

# **Evolução das Linguagens Faladas**

*INCT-SC, 25/03/2009*

Paulo Murilo Castro de Oliveira

pmco@if.uff.br

Instituto de Física, Universidade Federal Fluminense

# Dois livros imperdíveis

# Dois livros imperdíveis

Genes, Peuples et Langues

Luigi Luca Cavalli-Sforza

Odile Jacob, Paris (1996)

# Dois livros imperdíveis

Genes, Peuples et Langues

Luigi Luca Cavalli-Sforza

Odile Jacob, Paris (1996)

Chi Siamo. La Storia della Diversità Umana

Luigi Luca e Francesco Cavalli-Sforza

Arnoldo Modadori, Milano (1993)

# Extraído de um deles

# Extraído de um deles

Durante a expansão do homem moderno, novas regiões e novos continentes foram ocupados aos poucos por grupos que, separando-se de sua comunidade original, se instalavam mais longe;

# Extraído de um deles

Durante a expansão do homem moderno, novas regiões e novos continentes foram ocupados aos poucos por grupos que, separando-se de sua comunidade original, se instalavam mais longe; depois, outros grupos se desgarravam de novo, continuando em direção a novos locais.

# Extraído de um deles

Durante a expansão do homem moderno, novas regiões e novos continentes foram ocupados aos poucos por grupos que, separando-se de sua comunidade original, se instalavam mais longe; depois, outros grupos se desgarravam de novo, continuando em direção a novos locais. Através destas divisões e deslocamentos em série, o homem moderno acabou em regiões tão distantes que manter relações com as origens se tornou difícil ou impossível.



# Extraído de um deles

Durante a expansão do homem moderno, novas regiões e novos continentes foram ocupados aos poucos por grupos que, separando-se de sua comunidade original, se instalavam mais longe; depois, outros grupos se desgarravam de novo, continuando em direção a novos locais. Através destas divisões e deslocamentos em série, o homem moderno acabou em regiões tão distantes que manter relações com as origens se tornou difícil ou impossível. O isolamento de vários grupos assim formados gerou dois fenômenos: a formação de diferentes genéticas, e a formação de diferentes linguagens.

# Extraído de um deles

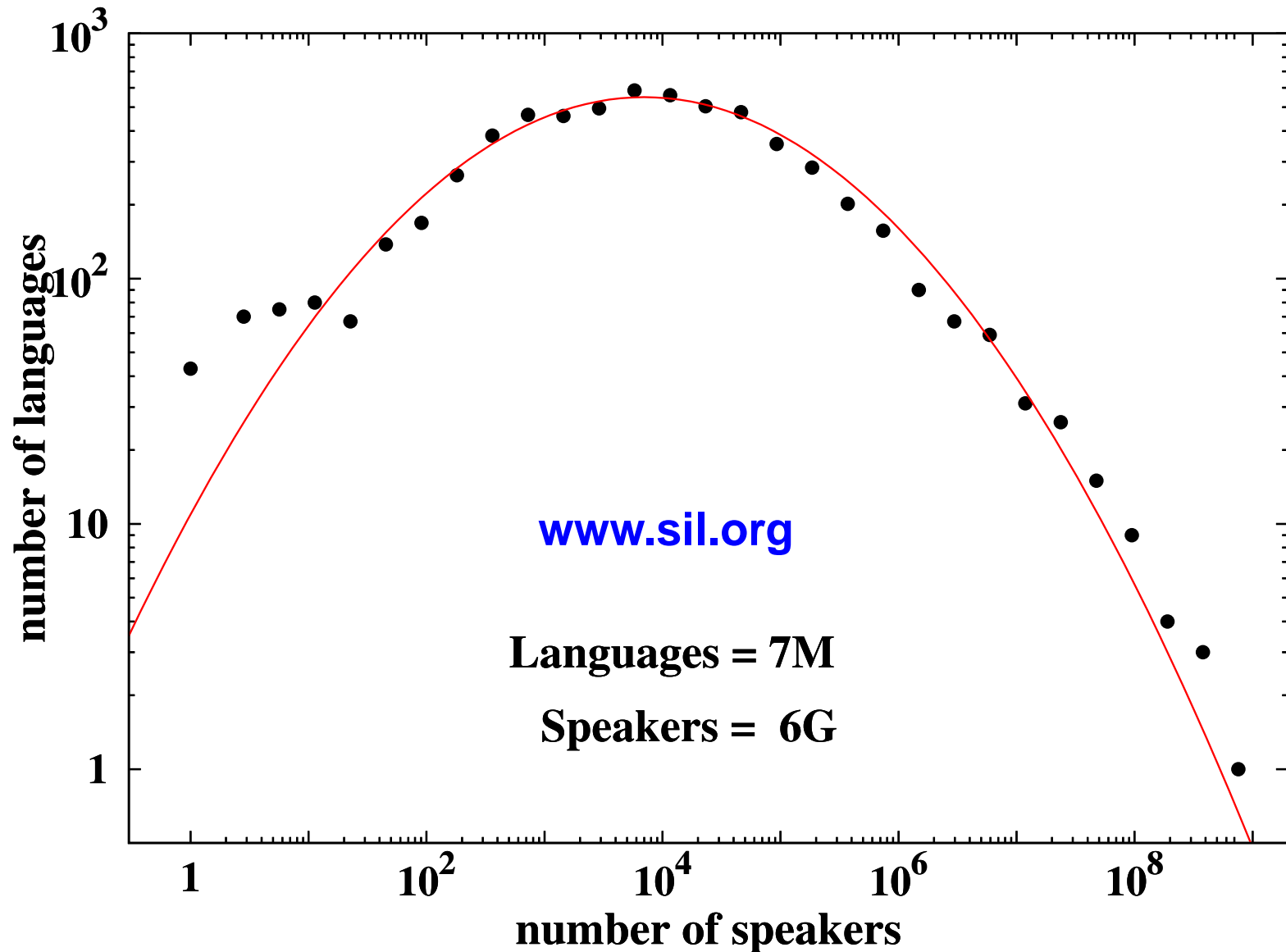
Durante a expansão do homem moderno, novas regiões e novos continentes foram ocupados aos poucos por grupos que, separando-se de sua comunidade original, se instalavam mais longe; depois, outros grupos se desgarravam de novo, continuando em direção a novos locais. Através destas divisões e deslocamentos em série, o homem moderno acabou em regiões tão distantes que manter relações com as origens se tornou difícil ou impossível. O isolamento de vários grupos assim formados gerou dois fenômenos: a formação de diferentes genéticas, e a formação de diferentes linguagens. Estes dois fenômenos seguiram cada um o seu caminho e dinâmica próprios;

# Extraído de um deles

Durante a expansão do homem moderno, novas regiões e novos continentes foram ocupados aos poucos por grupos que, separando-se de sua comunidade original, se instalavam mais longe; depois, outros grupos se desgarravam de novo, continuando em direção a novos locais. Através destas divisões e deslocamentos em série, o homem moderno acabou em regiões tão distantes que manter relações com as origens se tornou difícil ou impossível. O isolamento de vários grupos assim formados gerou dois fenômenos: a formação de diferentes genéticas, e a formação de diferentes linguagens. Estes dois fenômenos seguiram cada um o seu caminho e dinâmica próprios; mas a história que se reconstitui a partir das línguas ou a partir da genética é a das separações, que são as causas da diferenciação, e esta história é a mesma.

# Barbara Grimes, Ethnologue (2000)

# Barbara Grimes, Ethnologue (2000)



# Porque log-normal?

# Porque log-normal?

Nos sistemas evolucionários, vários tipos de elementos co-evoluem, cada tipo se reproduz a partir de si mesmo

$$\frac{dN_i}{dt} = A N_i + \dots$$

# Porque log-normal?

Nos sistemas evolucionários, vários tipos de elementos co-evoluem, cada tipo se reproduz a partir de si mesmo

$$\frac{dN_i}{dt} = A N_i + \dots$$

Mas  $A$  não é constante, porque o comportamento de  $i$  depende das quantidades  $N_j$  dos outros elementos.



# Porque log-normal?

Nos sistemas evolucionários, vários tipos de elementos co-evoluem, cada tipo se reproduz a partir de si mesmo

$$\frac{dN_i}{dt} = A N_i + \dots$$

Mas  $A$  não é constante, porque o comportamento de  $i$  depende das quantidades  $N_j$  dos outros elementos.

Então,  $A$  flutua no tempo,  $A = \bar{A} + \eta(t)$ , ou

$$\frac{d \ln(N_i)}{dt} = \bar{A} + \eta(t) + \dots$$

# Porque log-normal?

Nos sistemas evolucionários, vários tipos de elementos co-evoluem, cada tipo se reproduz a partir de si mesmo

$$\frac{dN_i}{dt} = A N_i + \dots$$

Mas  $A$  não é constante, porque o comportamento de  $i$  depende das quantidades  $N_j$  dos outros elementos.

Então,  $A$  flutua no tempo,  $A = \bar{A} + \eta(t)$ , ou

$$\frac{d \ln(N_i)}{dt} = \bar{A} + \eta(t) + \dots$$

Esta equação é do tipo Langevin, cujo resultado é uma distribuição Gaussiana para  $\ln(N_i)$ .

# Famílias de línguas

# Famílias de línguas

Os biólogos classificam os seres vivos em hierarquias:

# Famílias de línguas

Os biólogos classificam os seres vivos em hierarquias:

- **Espécies** = grupos de indivíduos semelhantes (no caso sexuado, o critério consagrado é a possibilidade de reprodução de filhos férteis);

# Famílias de línguas

Os biólogos classificam os seres vivos em hierarquias:

- **Espécies** = grupos de indivíduos semelhantes (no caso sexuado, o critério consagrado é a possibilidade de reprodução de filhos férteis);
- **Gêneros** = grupos de **espécies** semelhantes;

# Famílias de línguas

Os biólogos classificam os seres vivos em hierarquias:

- **Espécies** = grupos de indivíduos semelhantes (no caso sexuado, o critério consagrado é a possibilidade de reprodução de filhos férteis);
- **Gêneros** = grupos de **espécies** semelhantes;
- **Famílias** = grupos de **gêneros** semelhantes;

# Famílias de línguas

Os biólogos classificam os seres vivos em hierarquias:

- **Espécies** = grupos de indivíduos semelhantes (no caso sexuado, o critério consagrado é a possibilidade de reprodução de filhos férteis);
- **Gêneros** = grupos de **espécies** semelhantes;
- **Famílias** = grupos de **gêneros** semelhantes;
- **Ordens** ..... **Reinos** (vegetal, animal, etc).



# Famílias de línguas

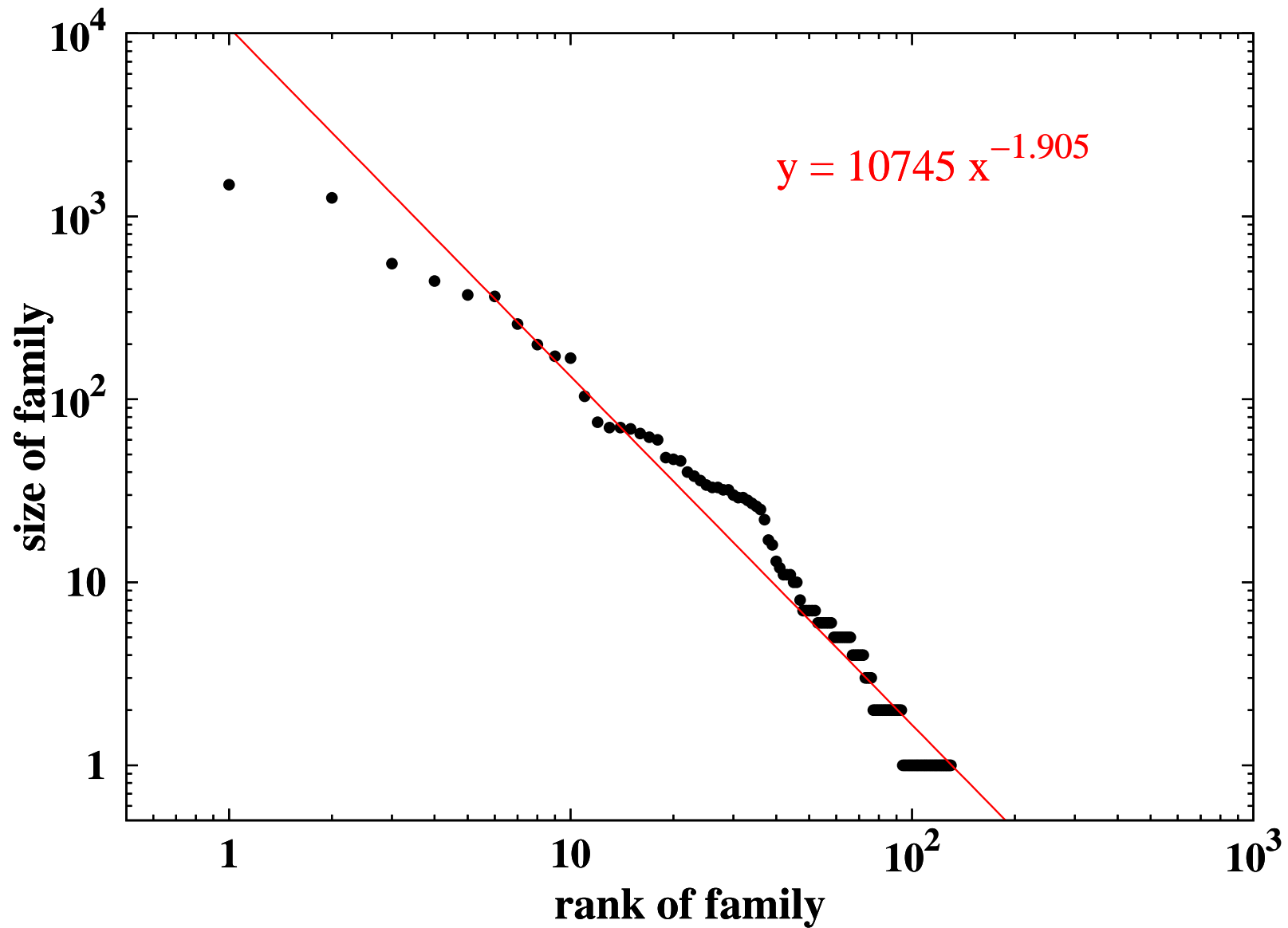
Os biólogos classificam os seres vivos em hierarquias:

- **Espécies** = grupos de indivíduos semelhantes (no caso sexuado, o critério consagrado é a possibilidade de reprodução de filhos férteis);
- **Gêneros** = grupos de **espécies** semelhantes;
- **Famílias** = grupos de **gêneros** semelhantes;
- Ordens ..... Reinos (vegetal, animal, etc).

Meu mais novo colaborador, o linguista Søren Wichmann (Max Planck Inst. for Evolutionary Anthropology, Leipzig) usou apenas duas hierarquias,

**línguas** e **famílias de línguas**.

**Søren Wichmann** *J. Linguistics* **41**, 117 (2005)



# Nosso problema

# Nosso problema

- Modelar a evolução das línguas a partir da língua mãe, as demais são criadas dinamicamente.

# Nosso problema

- Modelar a evolução das línguas a partir da língua mãe, as demais são criadas dinamicamente.
- Comparar a situação num dado instante da evolução com dois dados reais:

A distribuição por número de falantes (log-normal com desvio na região de pequenas populações);

A distribuição de famílias (lei de potência com expoente  $\approx -1.5$ ).

# Nosso problema

- Modelar a evolução das línguas a partir da língua mãe, as demais são criadas dinamicamente.

- Comparar a situação num dado instante da evolução com dois dados reais:

A distribuição por número de falantes (log-normal com desvio na região de pequenas populações);

A distribuição de famílias (lei de potência com expoente  $\approx -1.5$ ).

- Os linguistas tratam o problema da frente para trás: comparam as línguas atuais, definem as famílias e inferem as distribuições. Não há dinâmica.

# Nosso problema

- Modelar a evolução das línguas a partir da língua mãe, as demais são criadas dinamicamente.

- Comparar a situação num dado instante da evolução com dois dados reais:

A distribuição por número de falantes (log-normal com desvio na região de pequenas populações);

A distribuição de famílias (lei de potência com expoente  $\approx -1.5$ ).

- Os linguistas tratam o problema da frente para trás: comparam as línguas atuais, definem as famílias e inferem as distribuições. Não há dinâmica.
- Nós fazemos na ordem histórica: populações, línguas e famílias se definem ao longo da evolução dinâmica.



# Publicações anteriores

# Publicações anteriores

- V.M. de Oliveira, M.A.F. Gomes e I.R. Tsang, *Physica A361*, 361 (2006)

V.M. de Oliveira, P.R.A. Campos, M.A.F. Gomes e I.R. Tsang, *Physica A368*, 257 (2006).

# Publicações anteriores

- V.M. de Oliveira, M.A.F. Gomes e I.R. Tsang, *Physica* **A361**, 361 (2006)

V.M. de Oliveira, P.R.A. Campos, M.A.F. Gomes e I.R. Tsang, *Physica* **A368**, 257 (2006).

- P.M.C. de Oliveira, D. Stauffer, F.W.S. Lima, A.O. Sousa, C. Schulze e S.M. Moss de Oliveira, *Physica* **A376**, 609 (2007) ([www.arXiv.org](http://www.arXiv.org) PHYSICS/0608204)

P.M.C. de Oliveira, D. Stauffer, S. Wichmann e S. Moss de Oliveira, *J. of Linguistics* **44**, 659 (2008) ([www.arXiv.org](http://www.arXiv.org) PHYSICS/0709.0868)

# Publicações anteriores

- V.M. de Oliveira, M.A.F. Gomes e I.R. Tsang, *Physica A361*, 361 (2006)

V.M. de Oliveira, P.R.A. Campos, M.A.F. Gomes e I.R. Tsang, *Physica A368*, 257 (2006).

- P.M.C. de Oliveira, D. Stauffer, F.W.S. Lima, A.O. Sousa, C. Schulze e S.M. Moss de Oliveira, *Physica A376*, 609 (2007) ([www.arXiv.org](http://www.arXiv.org) PHYSICS/0608204)

P.M.C. de Oliveira, D. Stauffer, S. Wichmann e S. Moss de Oliveira, *J. of Linguistics* 44, 659 (2008) ([www.arXiv.org](http://www.arXiv.org) PHYSICS/0709.0868)

Todos baseados na ocupação geográfica gradativa de um território inicialmente vazio.

# Trabalho atual

# Trabalho atual

- V. Schwämmle e P.M.C. de Oliveira, *Physica A* (2009) ([www.arXiv.org/abs/0811.2301](http://www.arXiv.org/abs/0811.2301))

S. Wichmann, P.M.C. de Oliveira, V. Vilupillai, A. Müller, D. Bakker e A. Grant, rejeitado na *Nature*, destino desconhecido.

# Trabalho atual

- V. Schwämmle e P.M.C. de Oliveira, *Physica A* (2009) ([www.arXiv.org/abs/0811.2301](http://www.arXiv.org/abs/0811.2301))  
S. Wichmann, P.M.C. de Oliveira, V. Vilupillai, A. Müller, D. Bakker e A. Grant, rejeitado na *Nature*, destino desconhecido.
- Não há mais geografia, só a árvore histórica das bifurcações de línguas e famílias. As línguas se modificam a uma taxa constante. A cada passo uma língua se bifurca em duas com certa probabilidade.

# Trabalho atual

- V. Schwämmle e P.M.C. de Oliveira, *Physica A* (2009) ([www.arXiv.org/abs/0811.2301](http://www.arXiv.org/abs/0811.2301))  
S. Wichmann, P.M.C. de Oliveira, V. Vilupillai, A. Müller, D. Bakker e A. Grant, rejeitado na *Nature*, destino desconhecido.
- Não há mais geografia, só a árvore histórica das bifurcações de línguas e famílias. As línguas se modificam a uma taxa constante. A cada passo uma língua se bifurca em duas com certa probabilidade.
- Apenas dois ingredientes são mantidos:
  - 1) redundância (estrutura da língua num espaço finito);
  - 2) definição de família (fundador).

explicação a seguir ...



# Redundância

# Redundância

- A estrutura de cada língua é resumida num conjunto de  $B$  características binárias (uma cadeia com  $B$  bits).

# Redundância

- A estrutura de cada língua é resumida num conjunto de  $B$  características binárias (uma cadeia com  $B$  bits).
- A cada passo de tempo, um bit aleatório de cada língua é invertido, e sua população cresce por um fator constante (taxas constantes de modificação das línguas e de crescimento das populações).

# Redundância

- A estrutura de cada língua é resumida num conjunto de  $B$  características binárias (uma cadeia com  $B$  bits).
- A cada passo de tempo, um bit aleatório de cada língua é invertido, e sua população cresce por um fator constante (taxas constantes de modificação das línguas e de crescimento das populações).
- A cada passo de tempo, com uma dada probabilidade, cada língua se bifurca em duas, a segunda difere da primeira por um bit aleatório invertido. Nesse caso, a população é dividida entre ambas aleatoriamente.

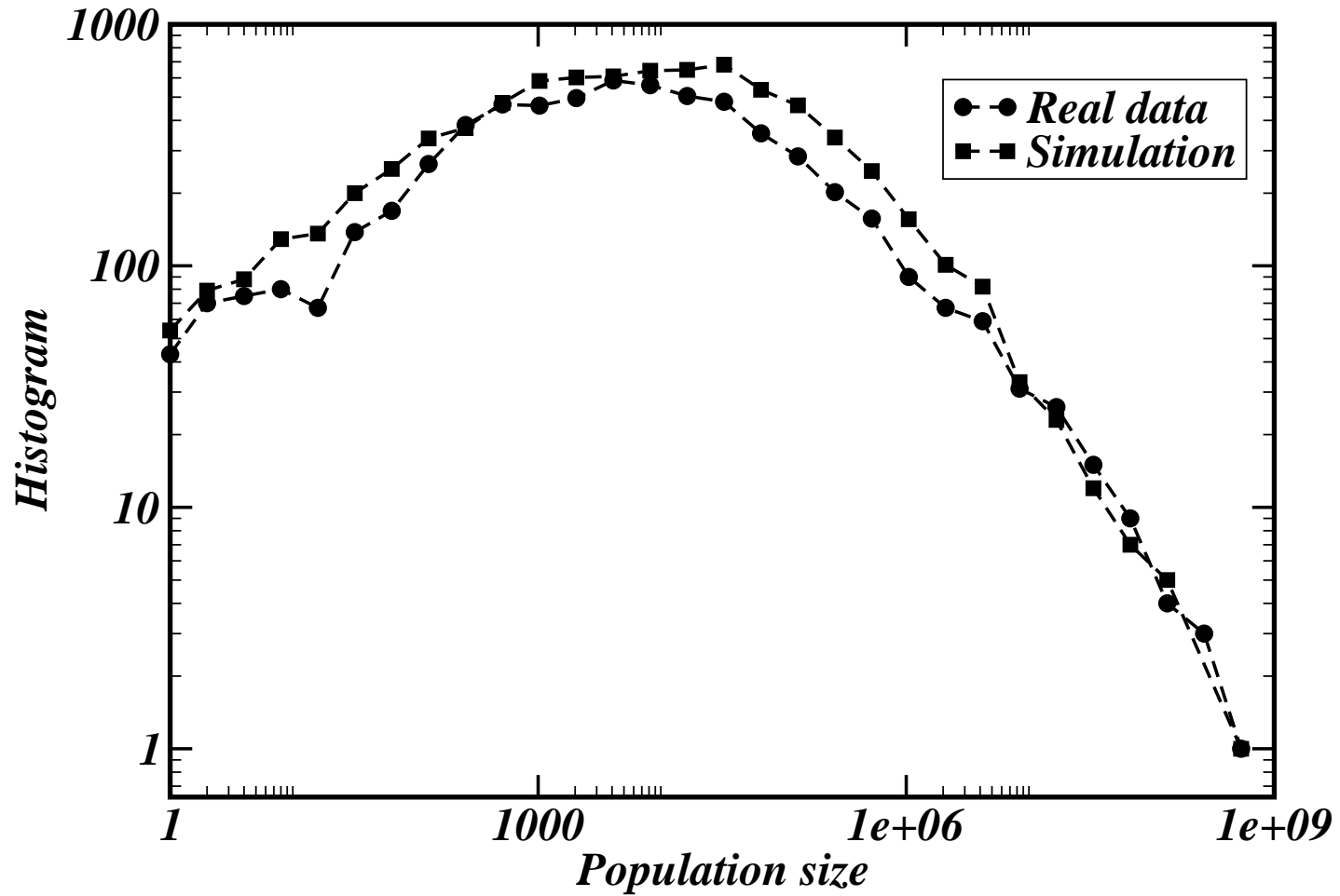
# Redundância

- A estrutura de cada língua é resumida num conjunto de  $B$  características binárias (uma cadeia com  $B$  bits).
- A cada passo de tempo, um bit aleatório de cada língua é invertido, e sua população cresce por um fator constante (taxas constantes de modificação das línguas e de crescimento das populações).
- A cada passo de tempo, com uma dada probabilidade, cada língua se bifurca em duas, a segunda difere da primeira por um bit aleatório invertido. Nesse caso, a população é dividida entre ambas aleatoriamente.

Re-invenção de línguas por diferentes caminhos históricos. Reproduz a anomalia observada na curva log-normal das populações. Corresponde à resolução finita dos linguistas.

# População

# População



# Fundação de famílias



# Fundação de famílias

- A língua mãe funda a família original.

# Fundação de famílias

- A língua mãe funda a família original.
- Qualquer língua pertencente à família original funda sua própria família com probabilidade  $1/2$  (ou outro valor qualquer).

# Fundação de famílias

- A língua mãe funda a família original.
- Qualquer língua pertencente à família original funda sua própria família com probabilidade  $1/2$  (ou outro valor qualquer).
- Línguas pertencentes a outras famílias que não a original não podem fundar suas próprias famílias (seria gênero, e não família).

# Fundação de famílias

- A língua mãe funda a família original.
- Qualquer língua pertencente à família original funda sua própria família com probabilidade  $1/2$  (ou outro valor qualquer).
- Línguas pertencentes a outras famílias que não a original não podem fundar suas próprias famílias (seria gênero, e não família).

Respeita a hierarquia de formação de famílias. Na primeira geração a probabilidade de fundação é  $1/2$ . Na segunda, é  $1/4$  em média, na terceira  $1/8$  em média, etc.

# Fundação de famílias

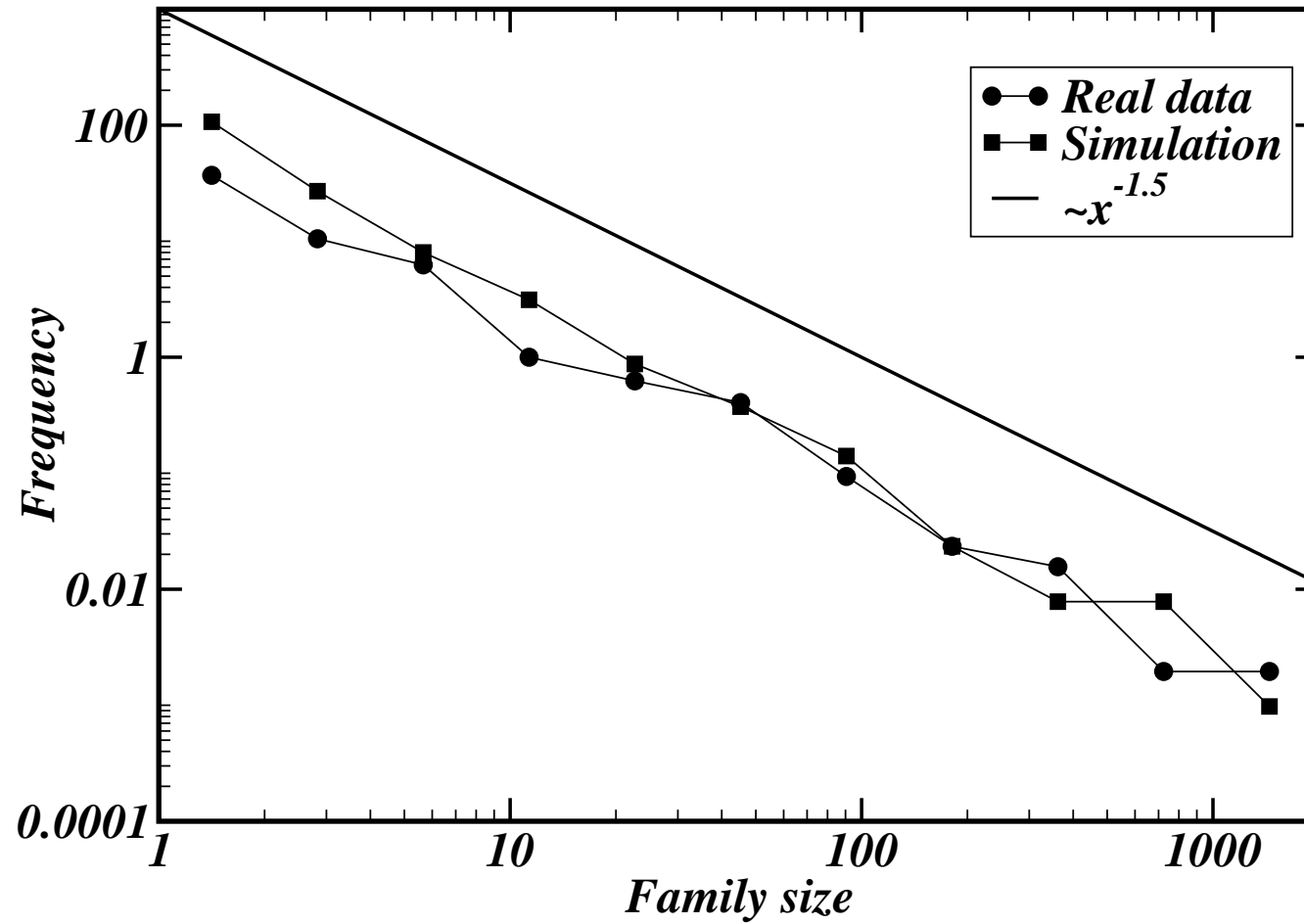
- A língua mãe funda a família original.
- Qualquer língua pertencente à família original funda sua própria família com probabilidade  $1/2$  (ou outro valor qualquer).
- Línguas pertencentes a outras famílias que não a original não podem fundar suas próprias famílias (seria gênero, e não família).

Respeita a hierarquia de formação de famílias. Na primeira geração a probabilidade de fundação é  $1/2$ . Na segunda, é  $1/4$  em média, na terceira  $1/8$  em média, etc.

Introduz memória de longo prazo: para que uma língua possa fundar nova família é preciso conhecer todos os seus ancestrais até a língua mãe.

# Famílias

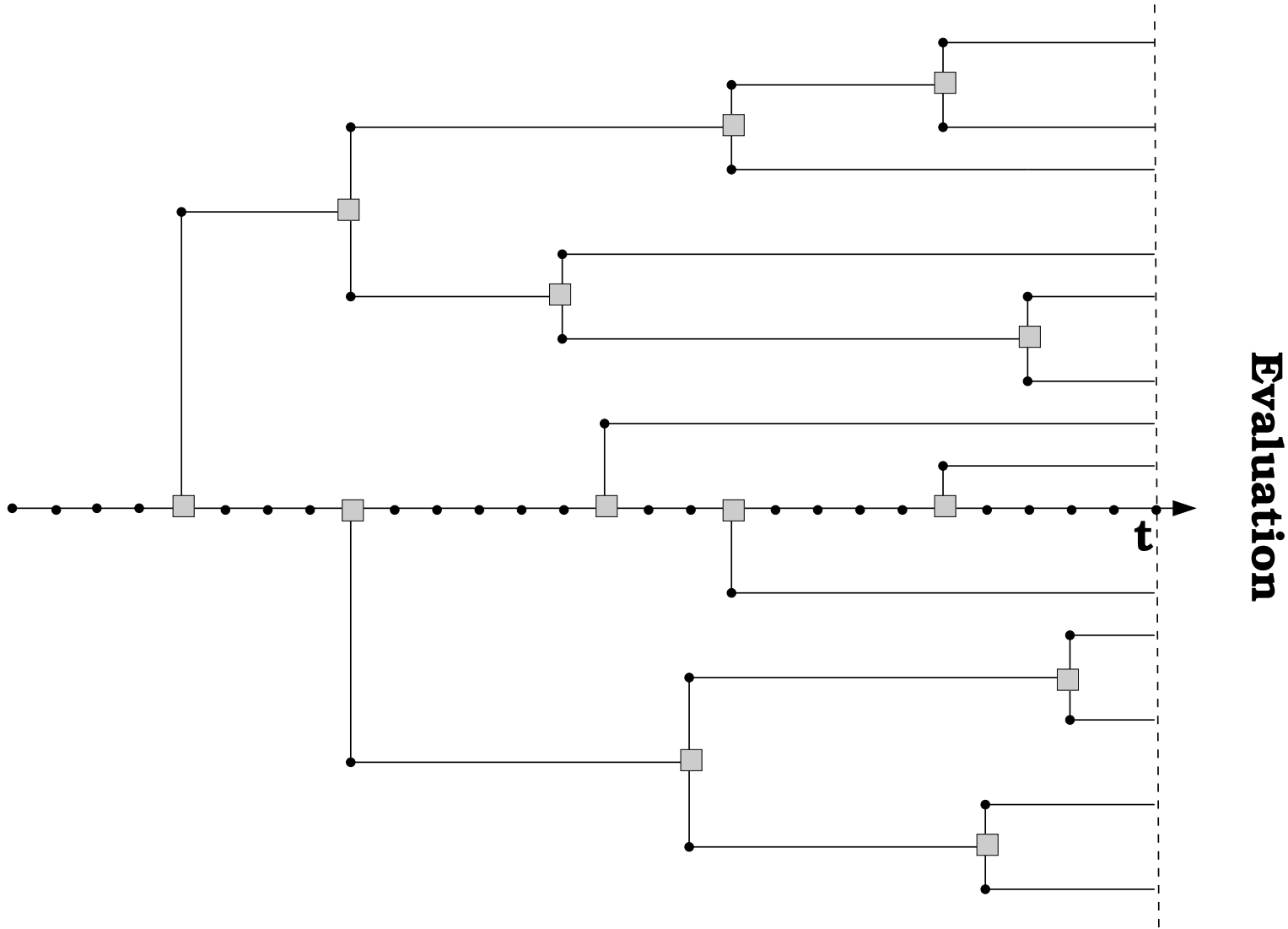
# Famílias



# Árvore esquemática



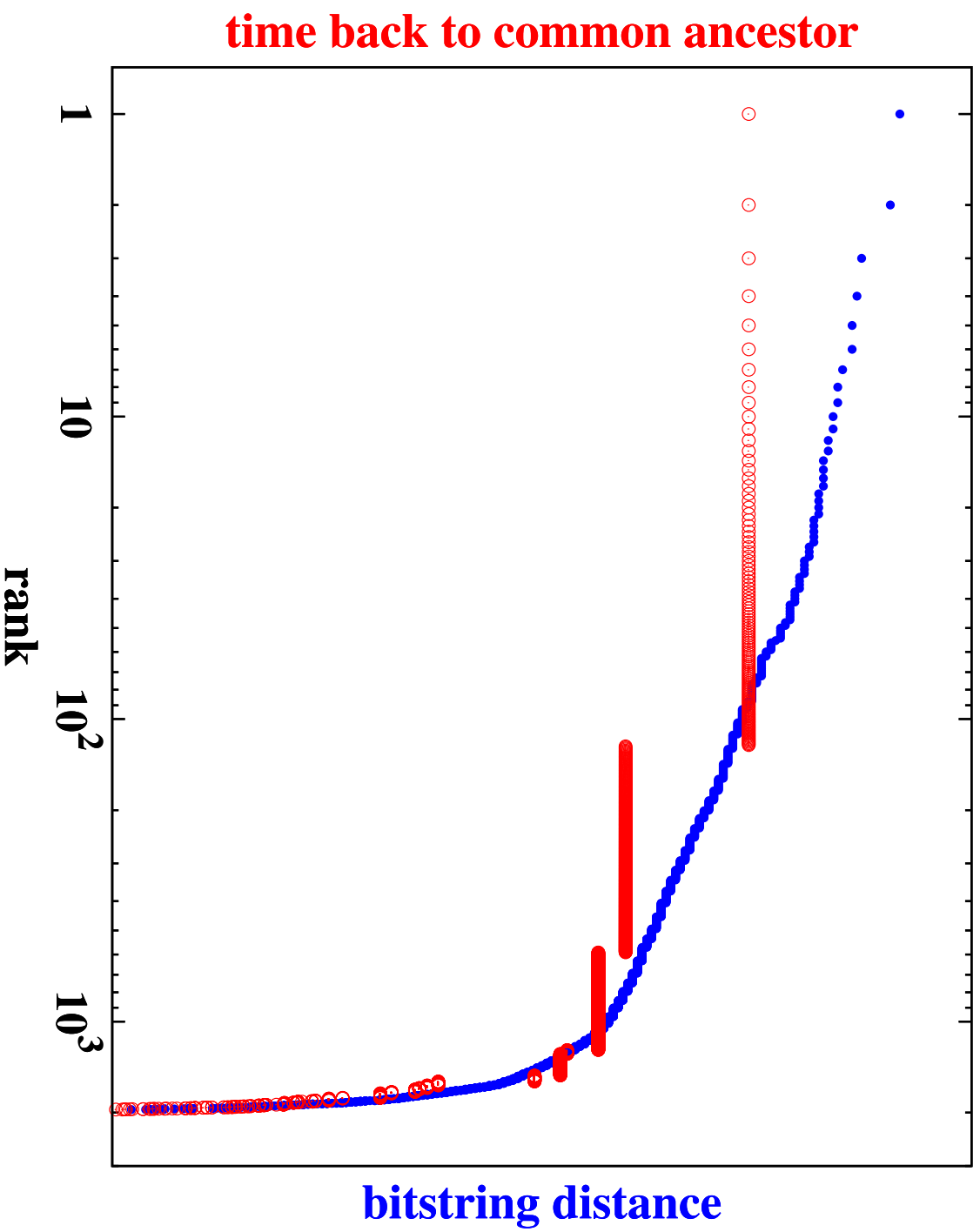
# Árvore esquemática



**Evaluation**

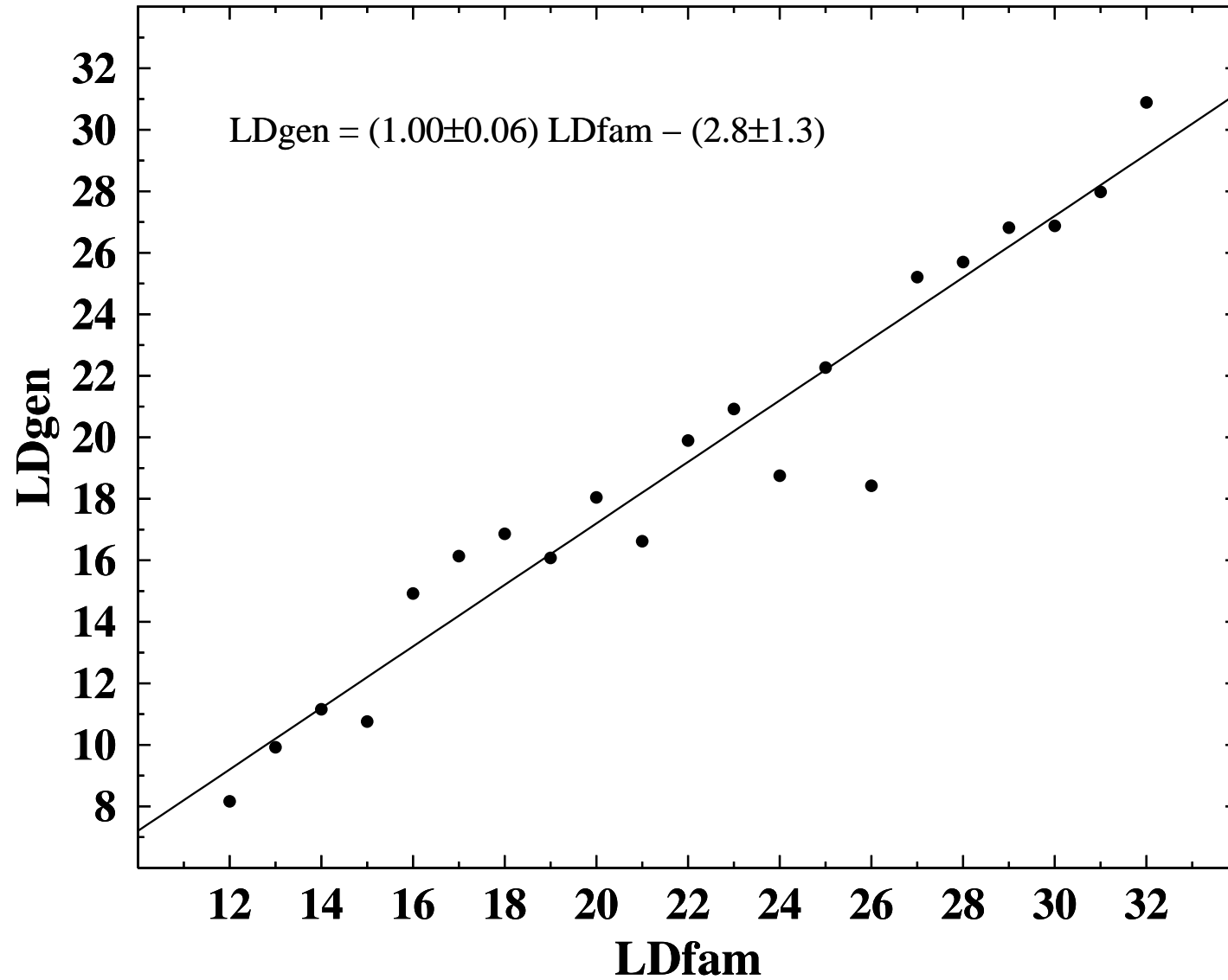
# Famílias e Gêneros

# Famílias e Gêneros



# Dados reais

# Dados reais



# Propaganda

# Propaganda

## *Computing Boolean Statistical Models*

P.M.C. de Oliveira

World Scientific, London New York Singapore, ISBN 981-02-0238-5 (1991)

## *Evolution, Money, War and Computers*

## *Non-Traditional Applications of Computational Statistical Physics*

S. Moss de Oliveira, P.M.C. de Oliveira and D. Stauffer

Teubner, Stuttgart Leipzig, ISBN 3-519-00279-5 (1999)

## *Biology, Sociology, Geology by Computational Physicists*

D. Stauffer, S. Moss de Oliveira, P.M.C. de Oliveira and Jorge Sá Martins

Elsevier, Amsterdam, ISBN 0-444-52146-1 (2006)

# O grupo da UFF



# O grupo da UFF

- Suzana Moss
- Jorge Sá Martins
- Thadeu Penna
- Marcio Argollo
- Jürgen Stilck
- Dietrich Stauffer (penetra de Köln)
- PMCO

# O grupo da UFF

- Suzana Moss  
Jorge Sá Martins  
Thadeu Penna  
Marcio Argollo  
Jürgen Stilck  
Dietrich Stauffer (penetra de Köln)  
PMCO
- Veit Schwämmle (Stuttgart)  
Eduardo Aguilar  
Klauko Mota  
Cinthya Chianca  
Nuno Crokidakis Peregrino  
C. Eduardo Galhardo  
Orahcio Felicio de Sousa

# O grupo da UFF

- Suzana Moss  
Jorge Sá Martins  
Thadeu Penna  
Marcio Argollo  
Jürgen Stilck  
Dietrich Stauffer (penetra de Köln)  
PMCO
- Veit Schwämmle (Stuttgart)  
Eduardo Aguilar  
Klauko Mota  
Cinthya Chianca  
Nuno Crokidakis Peregrino  
C. Eduardo Galhardo  
Orahcio Felicio de Sousa