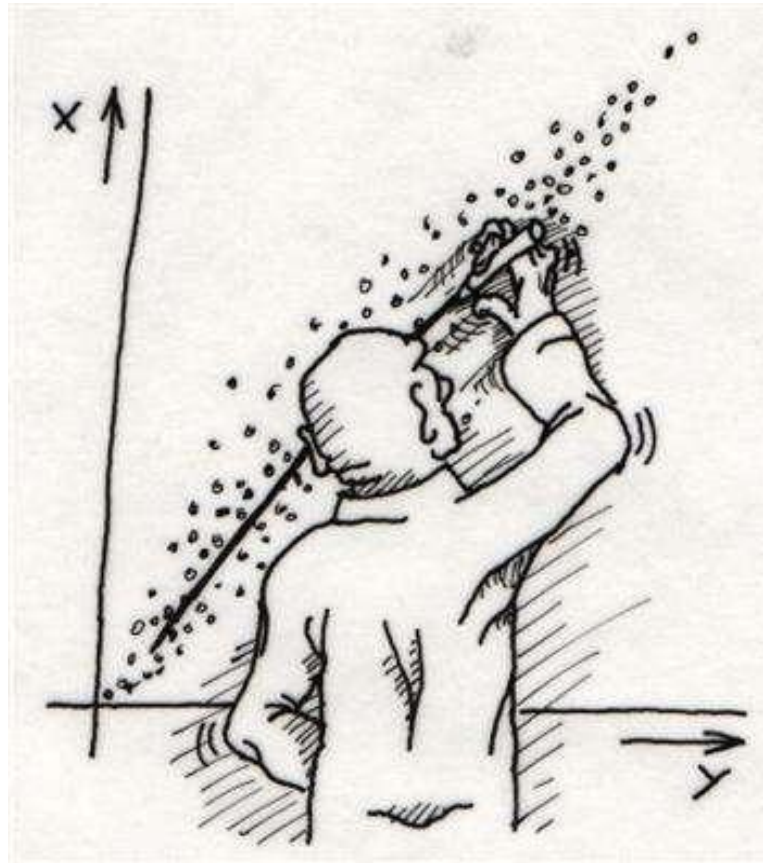


Modelos estatísticos em ecologia populacional



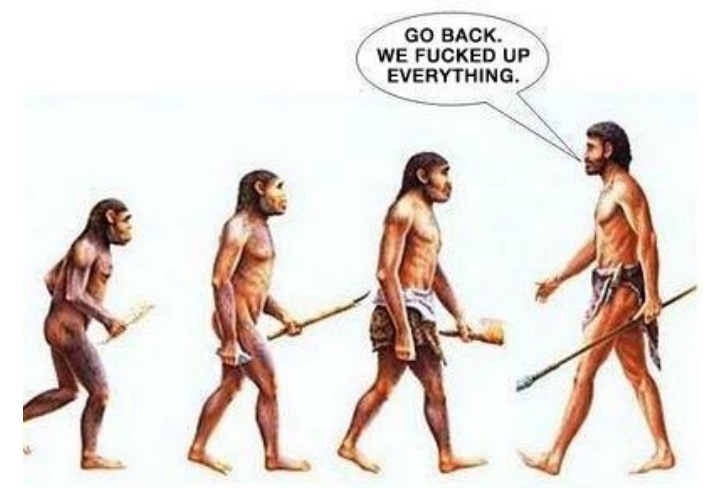
Resumo

1. Motivações e conceitos básicos
 - Aplicadas e teóricas
 - Definições importantes
2. Inferência estatística
 - Revisão sobre amostragem
 - Uso e seleção de modelos
3. Detecção imperfeita
4. O modelo linear e suas extensões
 - Regressão linear
 - Extensões: GLM e GAM
 - Modelos fatoriais

1. Motivações e conceitos básicos

Ciências aplicadas:

- Conservação da biodiversidade
 - Risco de extinção
 - Invasões biológicas
 - Reintrodução de espécies
- Manejo de pragas



Extinção recente do Golfinho do Rio Yangtze

Lipotes vexillifer †
Guo (2006)



Status de conservação

[Home](#) » [Search](#) » Search Results

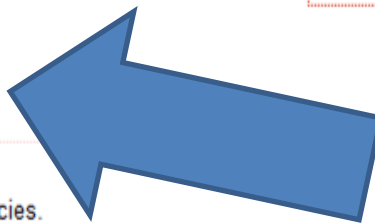
- Explore or refine your search below:
- Keywords
 - Taxonomy
 - Location
 - Systems
 - Habitats
 - Threats
 - Assessment
 - History

Results 1 to 1 of 1

Current search:
[Save / Export Search](#)

Search terms
 Show taxa:
 Species
 Keyword search:
 "Sotalia", Exact phrase,
 The entire database

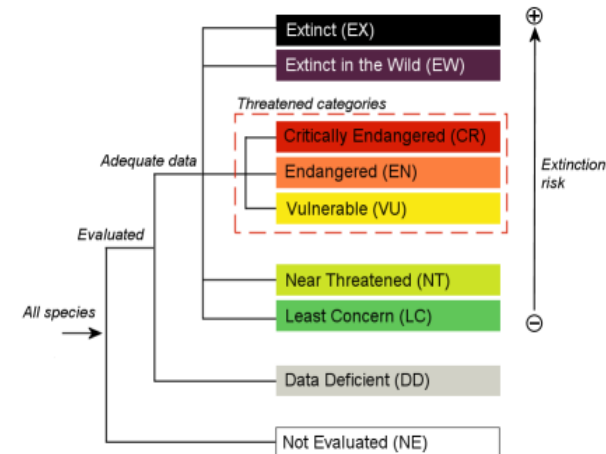
Sotalia fluviatilis (Guianian River Dolphin)
 Status: Data Deficient [ver 3.1](#)
 Pop. trend: unknown



Citation: IUCN 2008. 2008 IUCN Red List of Threatened Species. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 13 April 2009.

Disclaimer: To make use of this information, please check the Copyright and Data Disclaimer.

Feedback: If you see any errors or have any questions or suggestions on what is shown on this page, please fill in the feedback form so that we can correct or extend the information provided

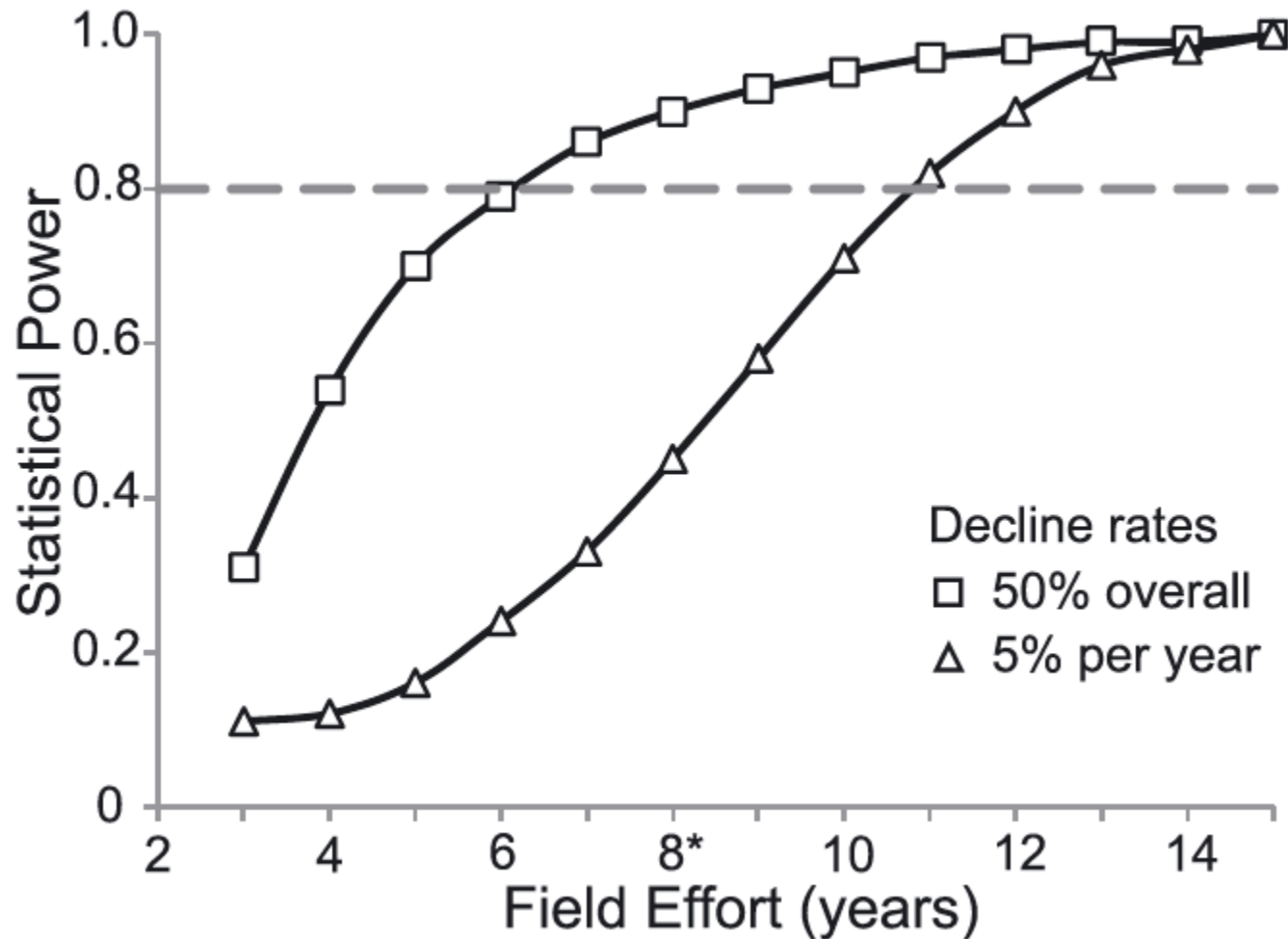


Monitoramento populacional

Mensuração repetida de algum parâmetro dentro de uma área definida em um determinado intervalo de tempo.

Monitoramento populacional tem o objetivo de detectar alguma mudança em atributos da população de uma espécie (p.ex. densidade, abundância, presença/ausência).

Análise de poder



Cantor *et al.* (2012)

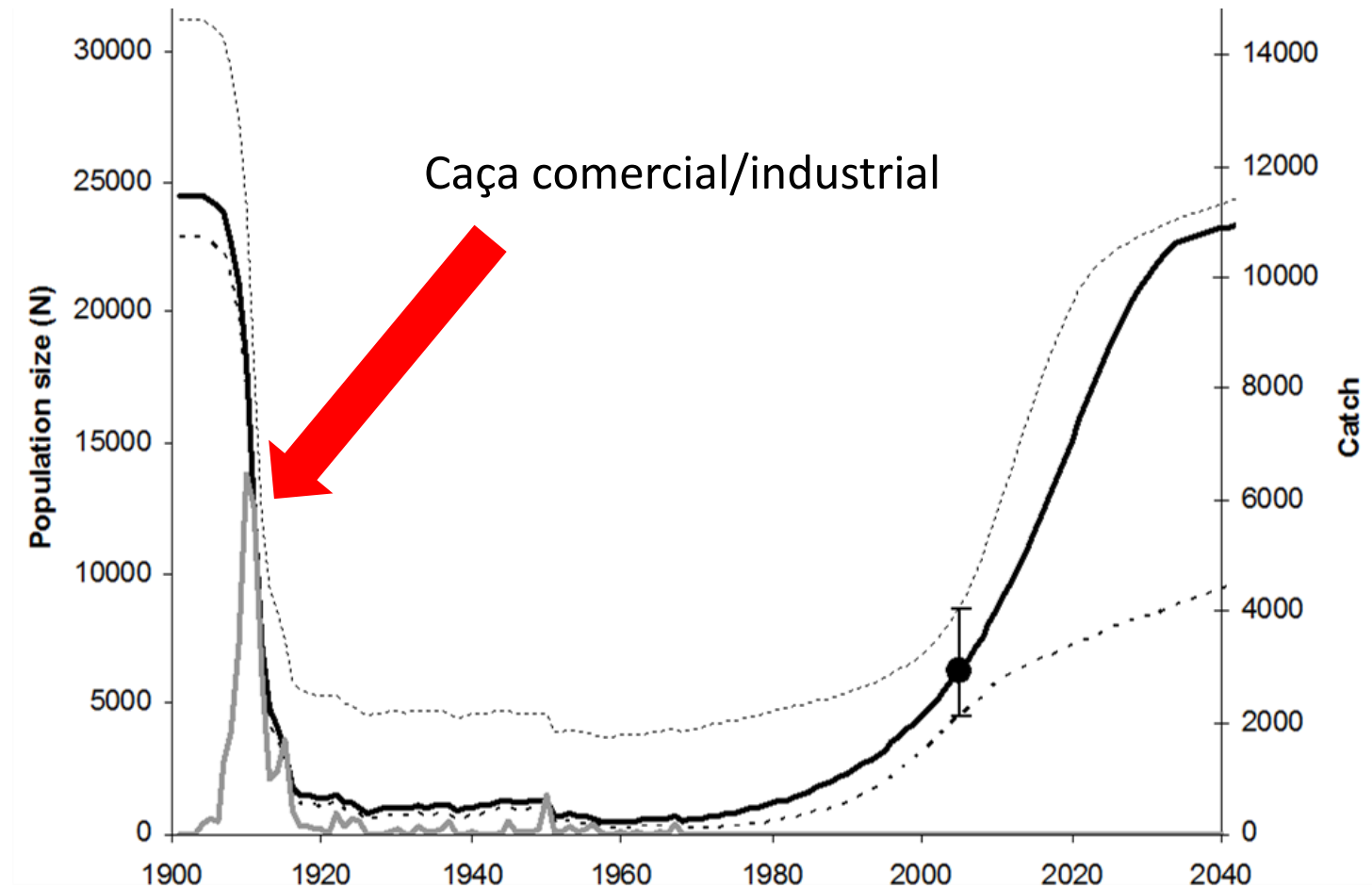
Dinâmica de populações

$$N_{(i + 1)} = N_i + B + I - D - E$$

Onde:

- N_i = tamanho da população na ocasião i
- B = Births / nascimentos
- D = Deaths / mortes
- I = Imigração
- E = Emigração

Trajetória da população



Zerbini *et al.* (2011)

Risco de extinção

Análise de Viabilidade
Populacional (PVA)

Version 9.50



VORTEX

**A Stochastic Simulation
of the Extinction Process**

Invasões biológicas



Peixe Leão



Coral Sol

Pragas agrícolas



Princípios da ecologia de populações

- ▶ Uma população irá crescer (ou declinar) exponencialmente desde que o ambiente permaneça constante
- ▶ A população não pode crescer indefinidamente. Conforme aumenta a densidade, fatores limitantes desaceleram e cessam o crescimento.

Turchin (2001)

Ecologia populacional

“... é dedicada ao estudo de indivíduos de uma mesma espécie, como eles compõem as populações em que vivem, e **como estas populações mudam ao longo do tempo**. Na ecologia populacional nós buscamos informações sobre **parâmetros demográficos chave**, tipicamente relacionados com a **mortalidade, movimentos e produtividade**... Nós estamos interessados também em tentar relacionar parâmetros demográficos com **influências externas**, como o aquecimento global, mudanças no habitat.”

King *et al.* (2010)

Mudanças climáticas

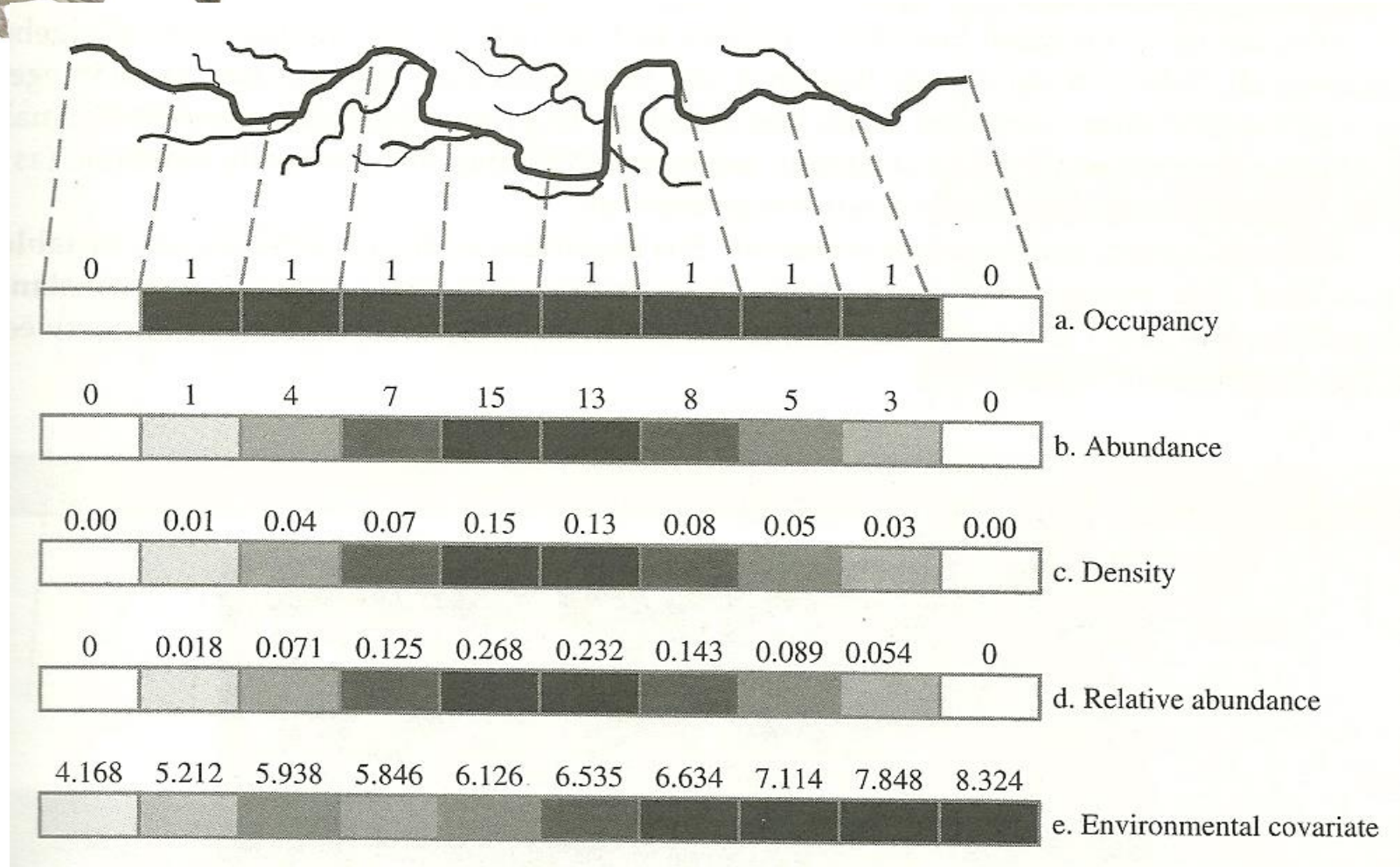
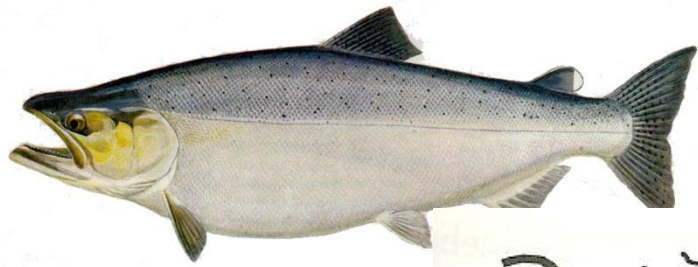


População

“Grupos de organismos da mesma espécie ocupando um espaço particular e um determinado período com potencial de reprodução entre os indivíduos.”

Krebs (2009)

- Limites da população podem ser naturais ou artificiais
- Frequentemente difícil de definir os limites
- Indivíduos podem deixar (emigrar) ou chegar (imigrar) da população



Matthiopoulos (2011)

Níveis de organização biológica:

meta-comunidades

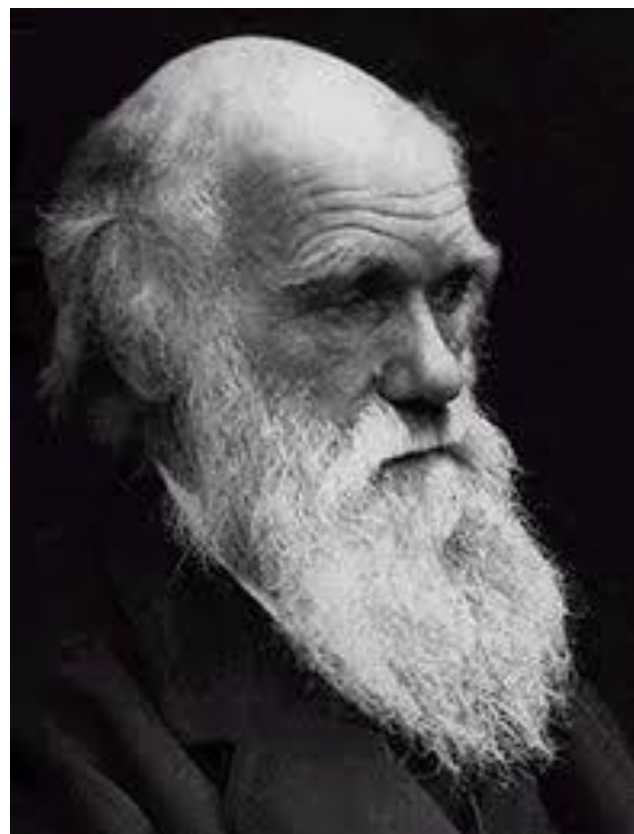
comunidades

meta-populações

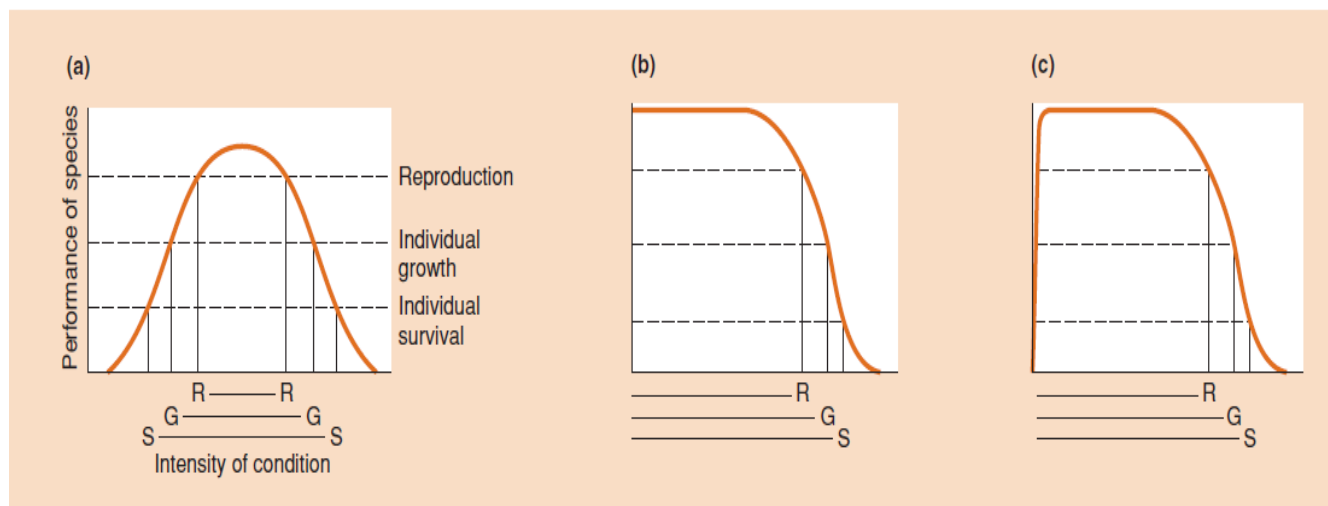
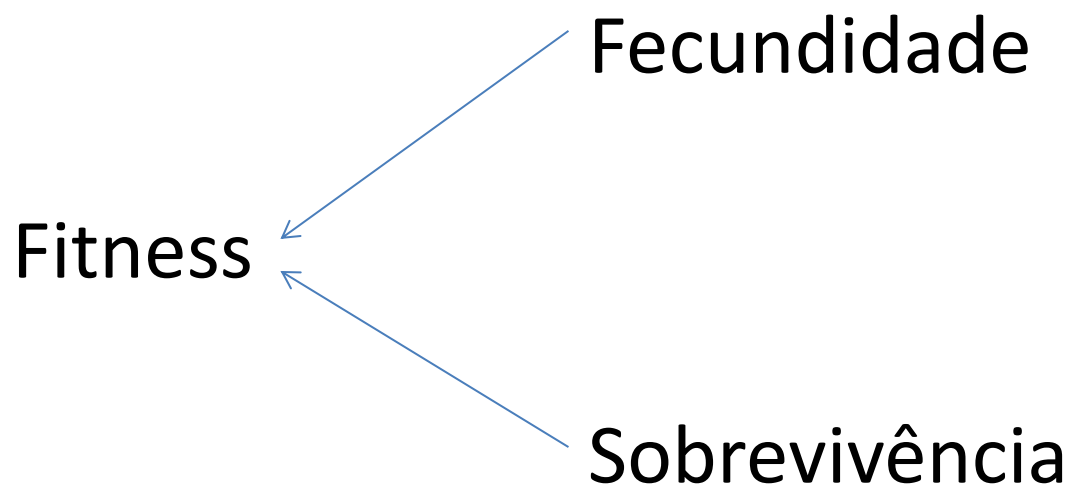
populações

Seleção natural





Charles Darwin
(1802-1882)



Begon *et al.* (2007)

2. Inferência estatística

Censo: contagem completa. Raramente se aplica a uma população animal.

Homem



Pinípedes



Levantamentos

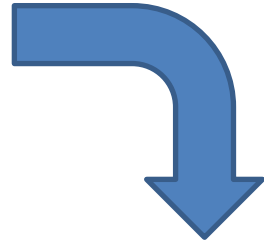
contagem incompleta (amostragem)



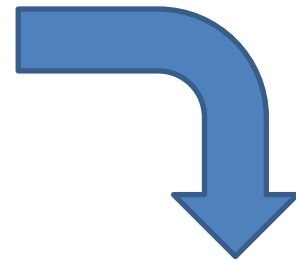
estimativa por inferência

Estimativa de um parâmetro

n amostras



fórmula (estimador)



Estimativa pontual...

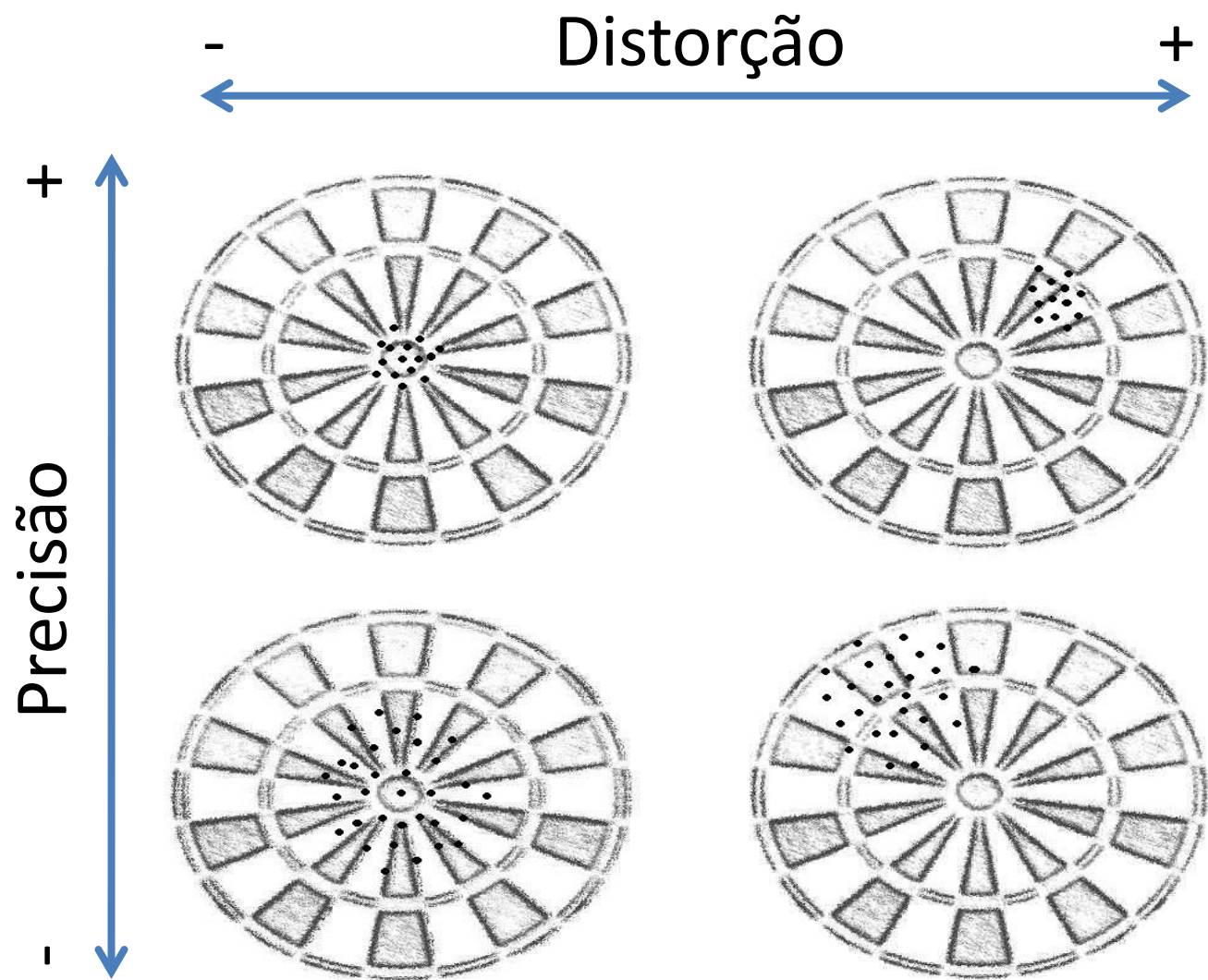
\hat{N}

...de uma verdade desconhecida.

▶ **Precisão:** é o grau na qual repetidas mensurações de um fenômeno sobre condições similares mostra os mesmos resultados.

- Pode ser definida como uma medida de erro ao redor da média de uma estimativa.

▶ **Distorção:** grau de proximidade da mensuração de uma quantidade em relação ao verdadeiro valor desta quantidade.

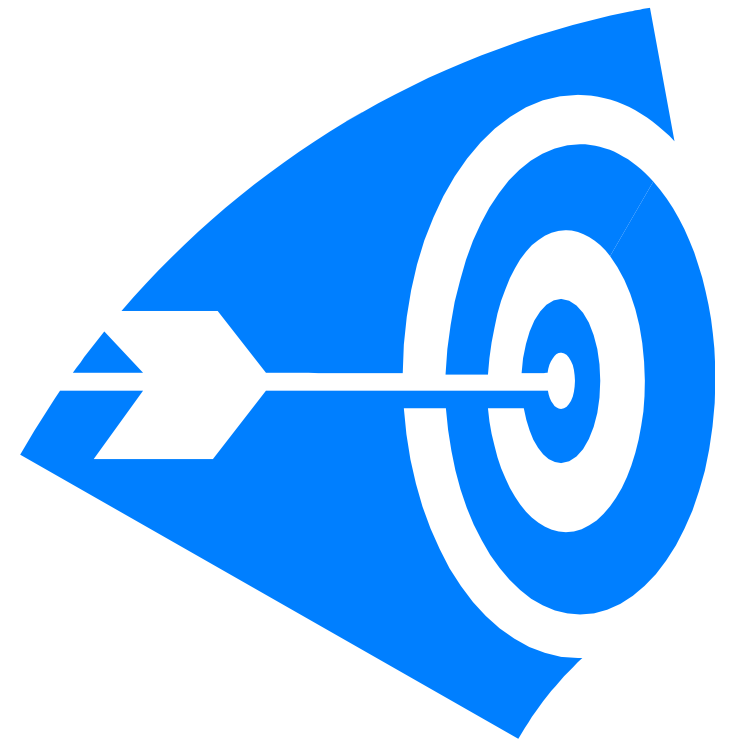


Medidas de precisão

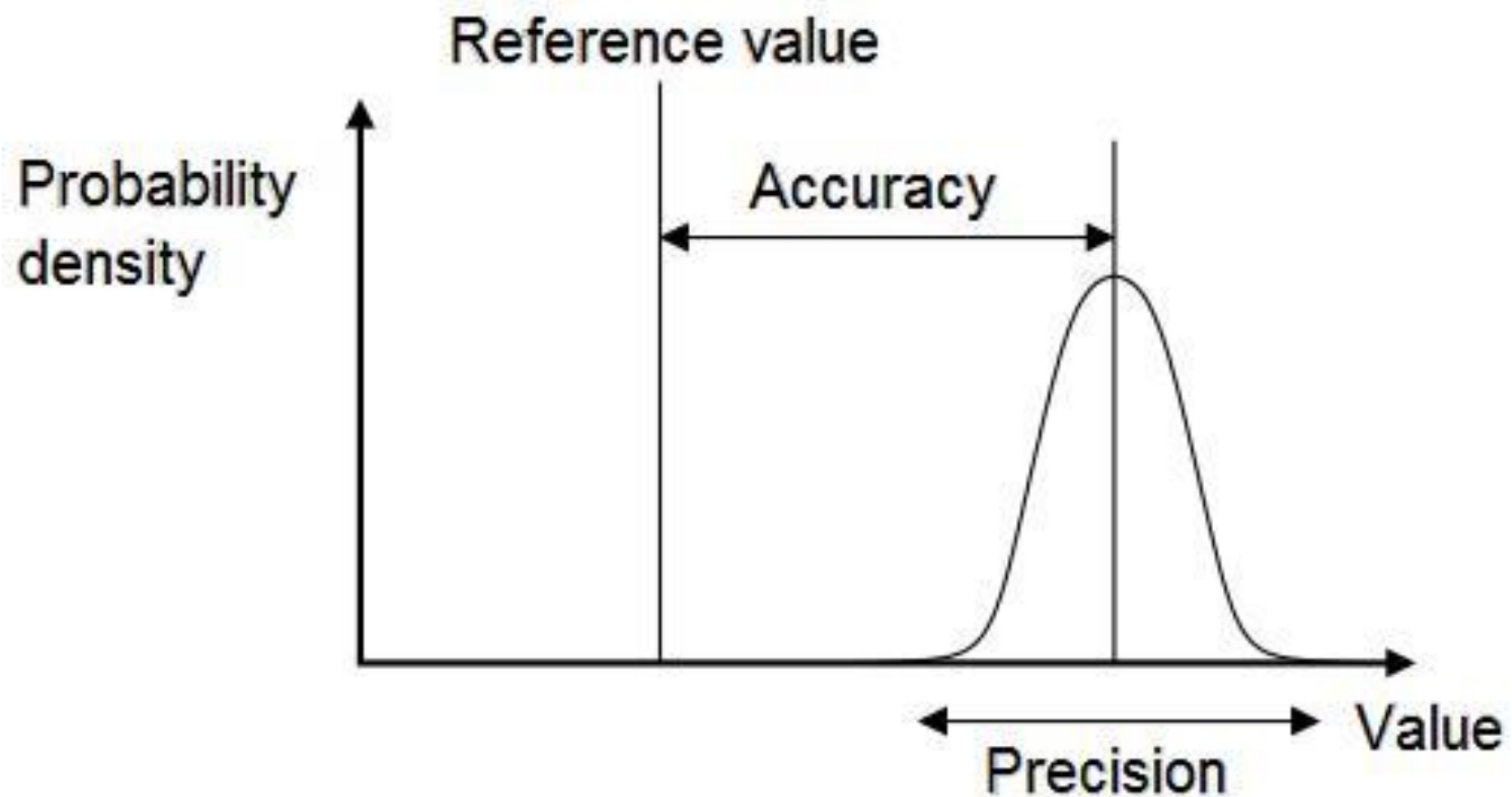
- ▶ **Variância:** medida de dispersão em torno de um valor esperado (estimativa) ou média
- ▶ **Erro padrão:** desvio padrão estimado
- ▶ **Intervalo de confiança:** limite inferior e superior com a chance de incluir o valor real em 95% das vezes (em amostras grandes)
- ▶ **Coefficiente de variação:** erro padrão / estimativa pontual. Medida relativa, comparável entre estudos.

Precisão aceitável

- ▶ Coeficiente de variação abaixo de 20-30%
- ▶ CV abaixo de 10% considerado muito bom.



Outra forma de enxergar



Componentes da variação

- ▶ **Variações naturais temporais e espaciais:** *process* ou *population variation*
- ▶ **Variações amostrais:** observador, coleta de dados
- ▶ **Variação da estimação/modelo**

Modelos na ecologia populacional

Objetivos de um modelo incluem:

- *Previsão*
- *Explicação*
- *Generalização*

“A natureza é um livro escrito em linguagem matemática”
Galileu Galilei



Importância dos modelos

“Toda inferência na ecologia é feita através de algum modelo. Para alguma observação fazer sentido, todo mundo precisa de um modelo, independente se o observador sabe disto ou não”

Kéry (2010)

Qual a função dos modelos?

“... o objetivo dos métodos estatísticos é a **redução dos dados**. Uma quantidade de dados, que geralmente pelo seu grande tamanho é impossível de entrar na mente, é para ser substituído por relativamente poucas quantidades que devem representar adequadamente o todo, ou que, em outras palavras, deve conter o máximo possível, ou idealmente toda a informação relevante contida nos dados originais”

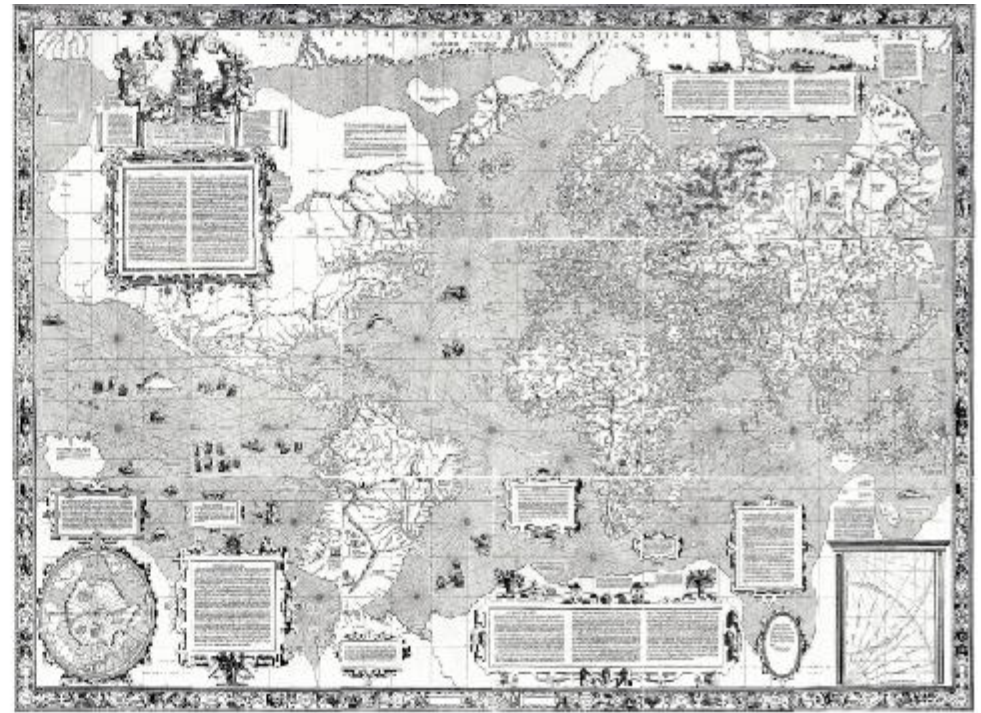
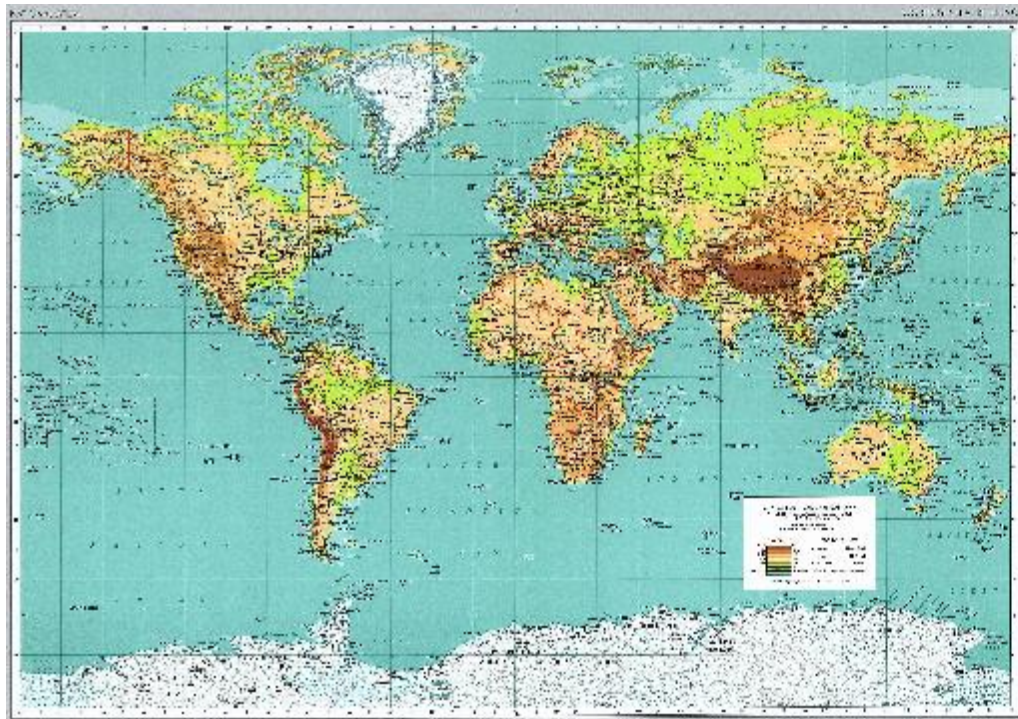
Fisher (1922)

“Todos os modelos são errados e alguns são úteis”



George Box (1919 -)

Modelos como mapas...



PORTANTO...

Modelos são aproximações, abstrações, generalizações ou reduções da realidade

Refletem aspectos chave de sistemas ecológicos de interesse

“A modelagem na ciência
permanece, no mínimo
parcialmente, uma arte.”

(McCullagh & Nelder, 1989)

PERGUNTA NECESSÁRIA

Qual modelo deve ser usado para melhor aproximar a realidade, baseado em dados de boa qualidade e relevantes para a questão?

(Burnham & Anderson, 2001; 2002)

TRÊS PRINCÍPIOS GERAIS GUIAM:

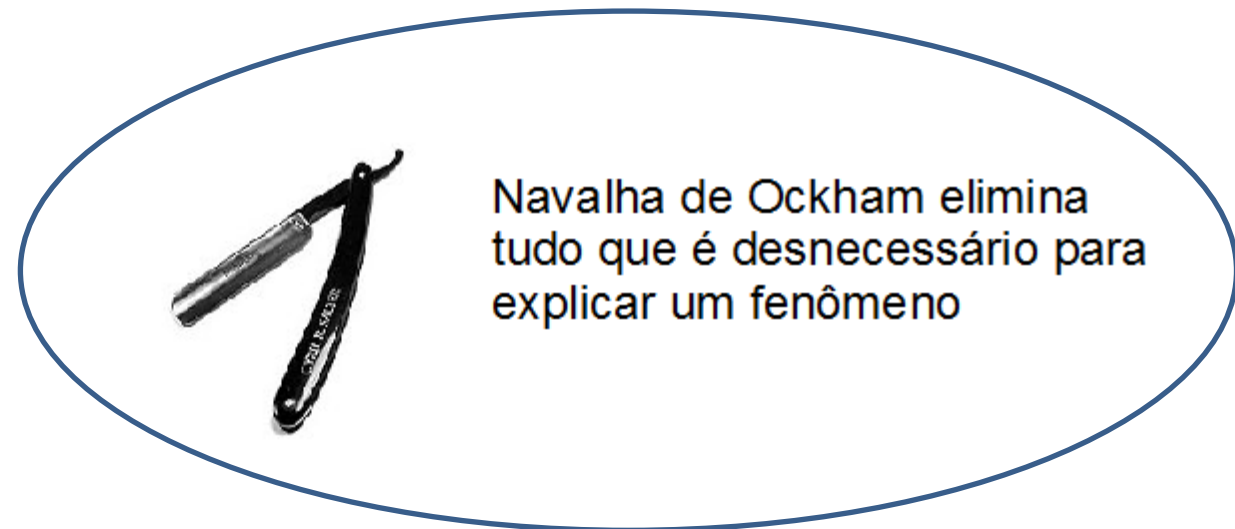
(Burnham & Anderson, 2001)

- PARCIMÔNIA
- MÚLTIPLAS HIPÓTESES DE TRABALHO
- FORÇA DA EVIDÊNCIA

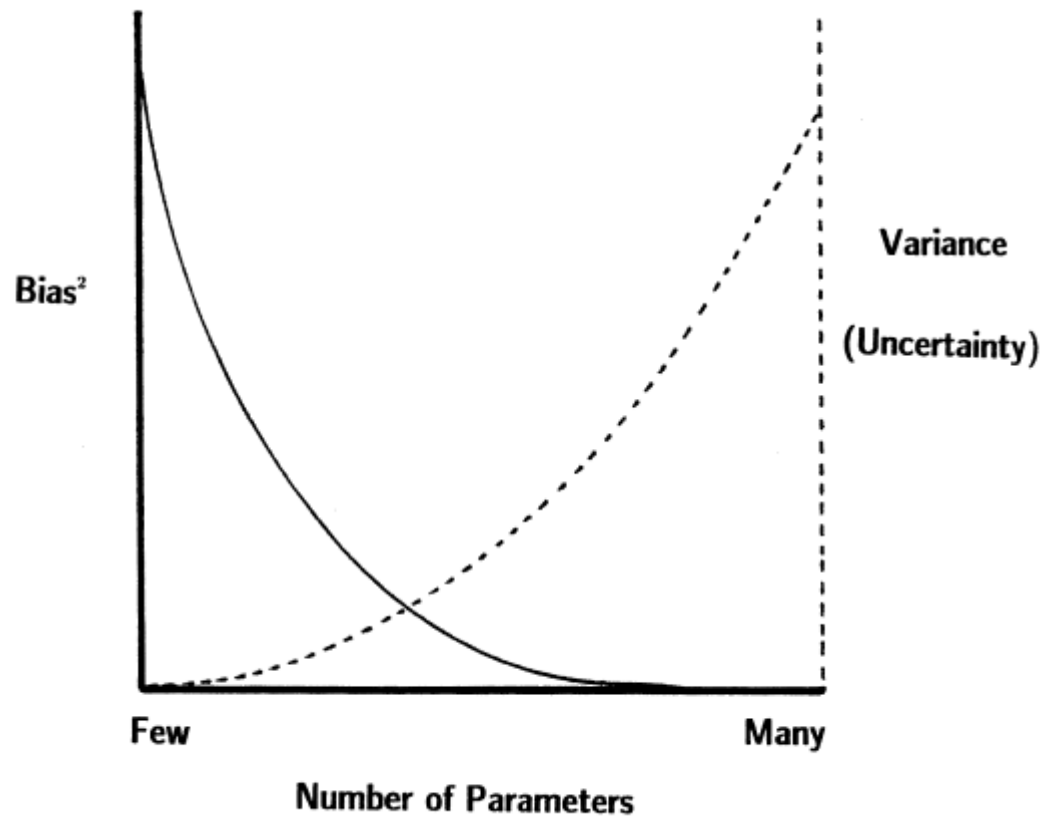
“quia frustra fit per plura quod potest fieri per pauciora”

“porque é em vão fazer com mais o que se pode fazer com menos”

William of Ockham, Inglaterra, Século XIV



MODELAGEM



Burnham & Anderson (2001)

Múltiplas hipóteses de trabalho

Ao invés de uma única hipótese de trabalho (como no teste de hipóteses), trabalha-se com múltiplas hipóteses ou modelos biologicamente plausíveis

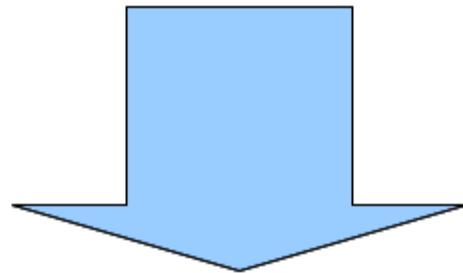
Força de evidência

Não existe dicotomia, mas diferentes forças de evidência para cada hipótese / modelo

Desenho amostral

- Amostras

- Quantas? Como? Quando? Onde? Quem?



Aumentar precisão,
diminuir distorção e
reduzir custo

Desenho amostral

“No amount of statistical magic will ever improve poorly collected data”

Mackenzie *et al.* (2006)

“Garbage in, garbage out”

3. Problema da detecção imperfeita

Detectabilidade

Espécies/indivíduos podem estar presentes em uma área mas não serem detectados

“Ausência de evidência não é evidência de ausência”
Carl Sagan



Detectabilidade

- ▶ Falsa ausência / falso negativo
- ▶ Dupla contagem
- ▶ Falsa presença / falso positivo
- ▶ Erros de classificação

▶ *Detectabilidade completa*

Indivíduos são completamente detectados no tempo, espaço e outras dimensões

▶ *Detectabilidade incompleta constante*

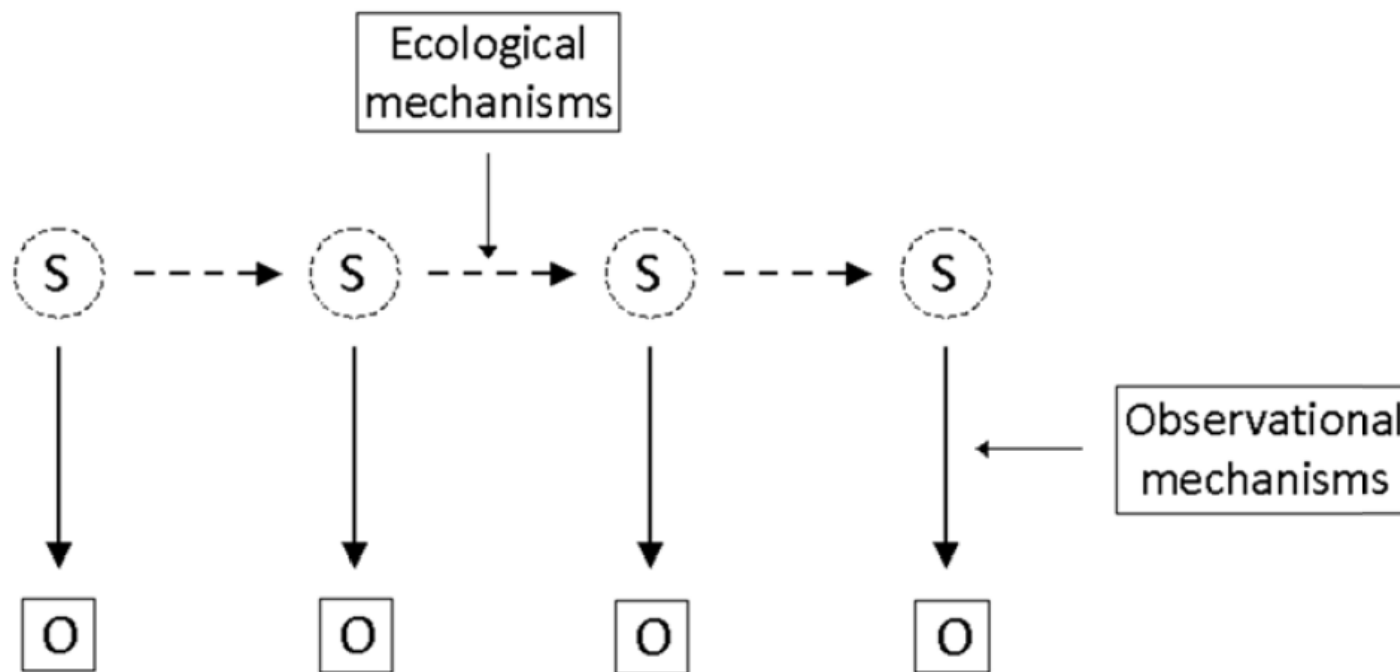
Contagens com distorção uniforme no tempo, espaço e outras dimensões

▶ *Detectabilidade incompleta variável*

Contagens com distorção não-uniforme no tempo, espaço e outras dimensões

Modelos hierárquicos

Separando a observação do processo:



Kéry & Schaub (2012)

Modelagem Hierárquica

Dois componentes são descritos (Royle & Dorazio, 2008):

(a) modelo do parâmetro **ecológico** de interesse que descreve sua variação (temporal, espacial,...)

(b) modelo do processo de **observação** que contém uma descrição probabilística do mecanismo que produz o dado observável

Modelagem Hierárquica

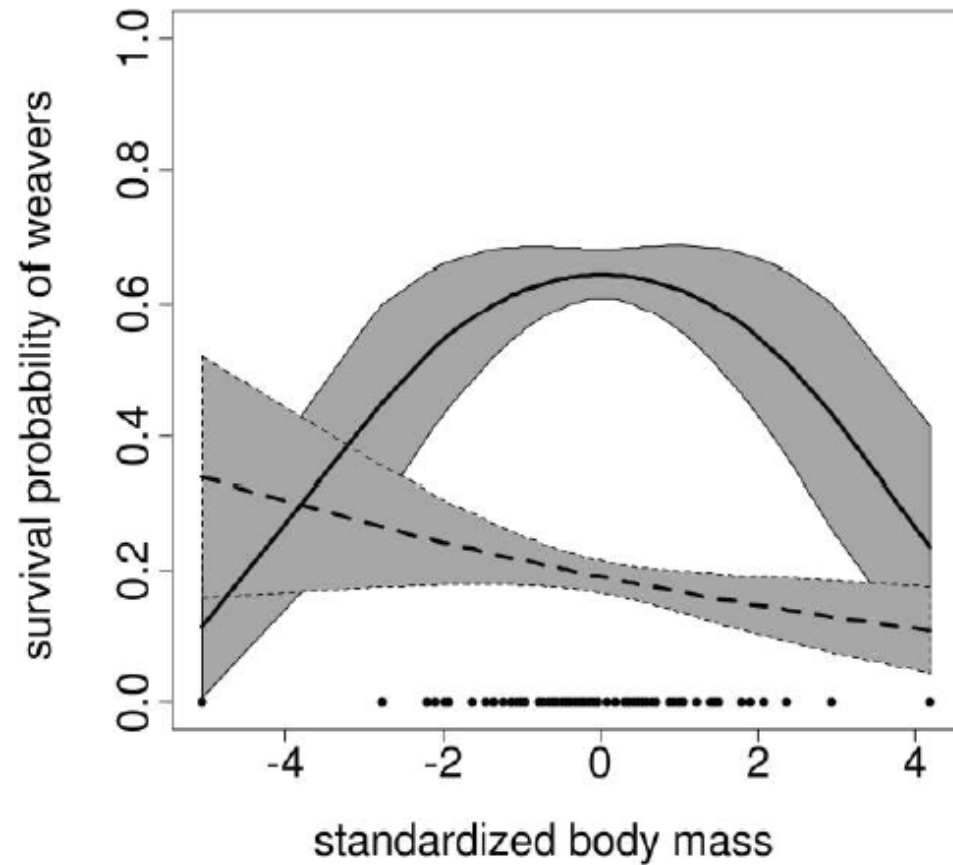
Hidden Markov Model (HMM)

State-space Model (SSM)

King (2014). Statistical Ecology. ***Annual Review of Statistics and Its Applications***, 2014.1: 401-426.

Detecção imperfeita

Philetairus socius



Gimenez *et al.* (2008)

4. Modelo linear e suas extensões

$$y = \alpha + \beta x$$

Modelo linear clássico

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon$$

Onde:

α = intercepto / onde a linha cruza o eixo y

β = coeficiente regressão / inclinação (+ ou -)

Y = variável resposta/dependente

X = variável explicatória/independente

ε = erro residual

Premissas

- Relação linear entre X e Y
- Erros com distribuição normal
- Variância constante
- Independência

Regressão múltipla

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_i X_i + \varepsilon$$

Onde:

β_0 = intercepto / onde a linha cruza o eixo y

β_i = coeficiente regressão / inclinação (+ ou -)

Y = variável resposta/dependente

X_i = variável explicatória/independente

ε = erro residual

Modelo linear generalizado (GLM)

$$E(Y) = f(\beta_0 + \beta_1 X)$$

Onde:

E = distribuição assumida da variável resposta (estrutura do erro)

$f(z)$ = função de ligação (*link function*)

$(\beta_0 + \beta_1 X)$ = componente linear

> Permite outras distribuições de erro relaxando premissas do modelo linear clássico e conferindo flexibilidade ao mesmo

Funções de ligação (*link function*)

- Variável resposta assume outras distribuições da família exponencial, como por exemplo:
 - Números positivos e inteiros (Poisson)
 - Resposta binária 0 ou 1 (Binomial)

Error	Canonical link
normal	<i>identity</i>
poisson	<i>log</i>
binomial	<i>logit</i>
Gamma	<i>reciprocal</i>

Modelo linear / ANOVA

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

Onde:

Y = variável resposta contínua

β_0 = intercepto

β_1 = inclinação da reta

x = variável código (*dummy*) = 0 ou 1

ε = erro residual

Notação em matriz

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} Y_{11} \\ Y_{12} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ Y_{1k} \\ Y_{21} \\ Y_{22} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ Y_{2k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ 1 & 0 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{12} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \varepsilon_{1k} \\ \varepsilon_{21} \\ \varepsilon_{22} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \varepsilon_{2k} \end{bmatrix} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

Matriz de desenho

Modelo aditivo generalizado (GAM)

- ▶ Extensão não paramétrica dos GLM;
- ▶ O que determina o formato da função são os dados e não funções ou distribuições específicas definidas *a priori*;
- ▶ Vários métodos de “suavização” (*smooth*) e grau de suavização (graus de liberdade).

Leituras adicionais

Burnham & Anderson (2002): livro sobre filosofia científica e método de **seleção de modelos e inferência multi-modelos**

Johnson & Omland (2004): artigo de revisão sobre a **seleção de modelos em ecologia e evolução**

Leituras adicionais

King (2014): artigo de revisão sobre os **modelos e abordagem estatística** usados para estudar a ecologia de populações animais. Ótimo resumo da disciplina!

Faraway (2006): livro sobre **modelos lineares e extensões**