

Introdução aos métodos de estimativa de abundância

Leonardo Liberali Wedekin

LET – Laboratório de Ecologia Teórica

Instituto de Biociências - USP

Resumo

1. Importância de estimar a abundância
2. Princípios básicos da inferência estatística
3. Diferentes abordagens:
 - Índices de abundância
 - Métodos com detecção imperfeita
 - Amostragem de distâncias
 - Marcação-recaptura
 - Modelos de ocorrência
4. Como escolher o método?

1. Importância de estimar a abundância

Ecologia é o estudo científico das interações que determinam a **distribuição** e **abundância** dos organismos (Krebs, 2001).

1. Importância de estimar a abundância

Ciências aplicadas:

- ✓ Biologia da conservação
- ✓ Risco de extinção
- ✓ Invasões biológicas
- ✓ Exploração de populações

1. Importância de estimar a abundância

The screenshot displays the IUCN Red List of Threatened Species website interface. At the top, the header includes the IUCN Red List logo, the title "The IUCN Red List of Threatened Species™", the year "2008", and links for "Login", "Feedback", "FAQ", and "Terms of use". A navigation bar contains links for "About", "Initiatives", "News", "Photos", "Partners", "Sponsors", and "Technical Documents". A search bar prompts users to "Enter Red List search term(s)" with a "GO" button and a link to "OTHER SEARCH OPTIONS". A circular badge on the right encourages users to "HELP SAVE SPECIES NOW!".

Below the header, the breadcrumb trail reads "Home » Search » Search Results". On the left, a sidebar titled "Explore or refine your search below:" lists categories: Keywords, Taxonomy, Location, Systems, Habitats, Threats, Assessment, and History. The main content area shows "Results 1 to 1 of 1" for the search term "Sotalia fluviatilis (Guianian River Dolphin)". The species status is listed as "Data Deficient" (version 3.1) with a population trend of "unknown". A large blue arrow points from the search results to the species entry box.

On the right, a "Current search:" box shows the search terms: "Sotalia", Exact phrase, The entire database. It includes links to "Save / Export Search" and "Show taxa: Species".

Below the species entry, the "Citation:" section provides the reference: "IUCN 2008. 2008 IUCN Red List of Threatened Species. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 13 April 2009." The "Disclaimer:" states: "To make use of this information, please check the Copyright and Data Disclaimer." The "Feedback:" section invites users to report errors or suggestions: "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."

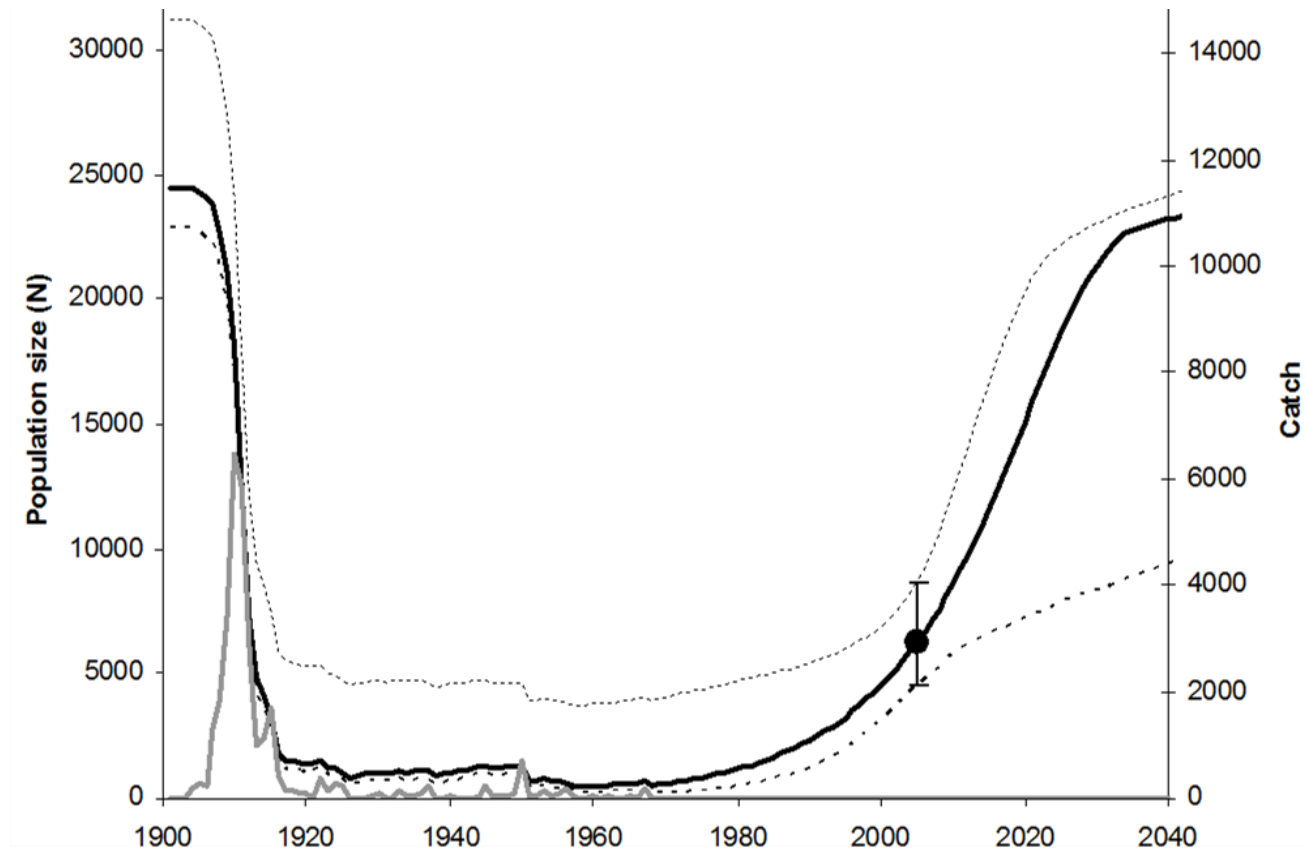
1. Importância de estimar a abundância

Monitoramento é a 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.

1. Importância de estimar a abundância

Baleia-jubarte



(Zerbini *et al.*, 2011)

1. Importância de estimar a abundância

Análise de Viabilidade Populacional (PVA)



VORTEX

**A Stochastic Simulation
of the Extinction Process**

1. Importância de estimar a abundância

Invasões biológicas

Lion fish



1. Importância de estimar a abundância

Exploração de populações



1. Importância de estimar a abundância

$$N_{t+1} = N_t + B + I - D - E$$

Onde:

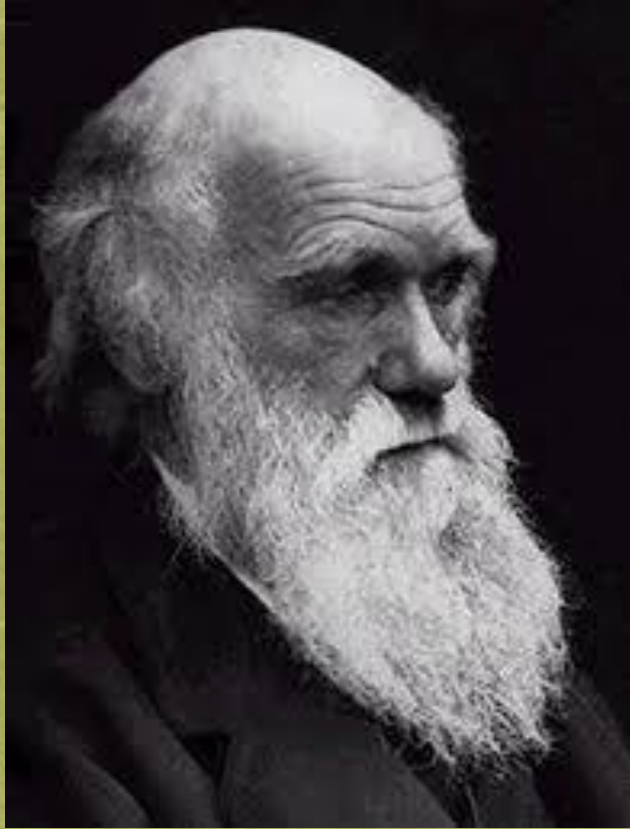
B = birth / nascimentos

I = imigração

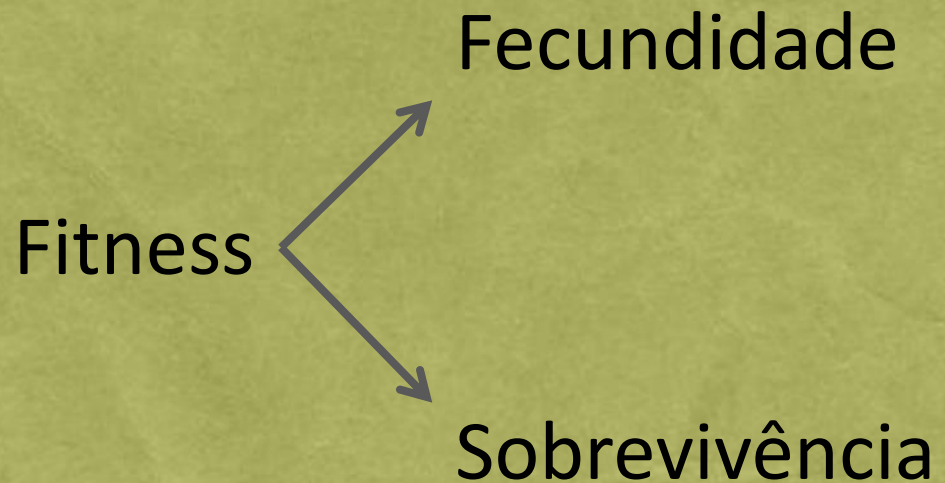
D = death / mortes

E = emigração

1. Importância de estimar a abundância



Charles Darwin
(1802-1882)



2. Princípios da inferência estatística

- ***Censo***: contagem completa.
- ***Amostragem***: contagem incompleta e estimativa por inferência

2. Princípios da inferência estatística

n amostras



fórmula (estimador)

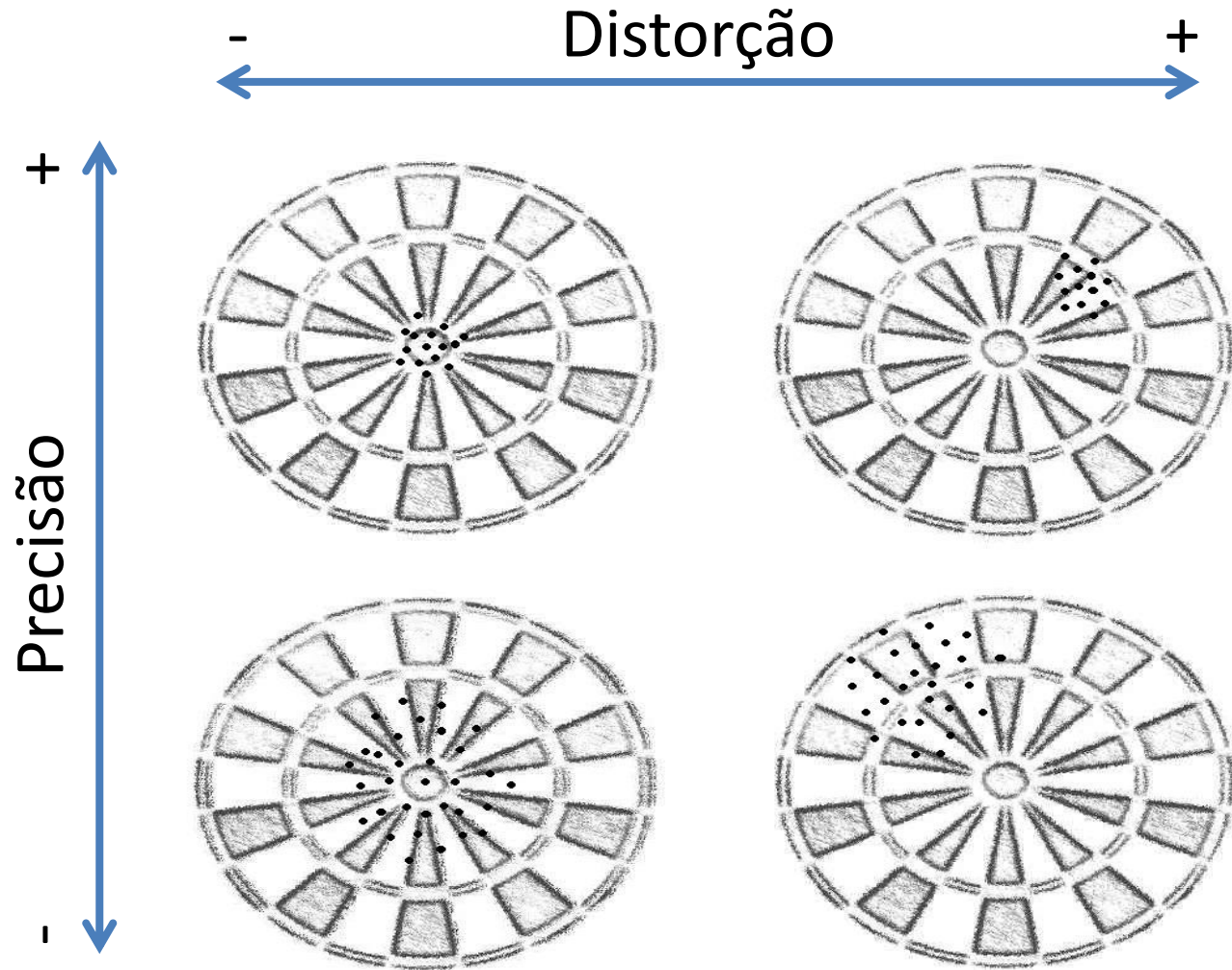


Estimativa pontual...

\hat{N}

...de uma verdade desconhecida.

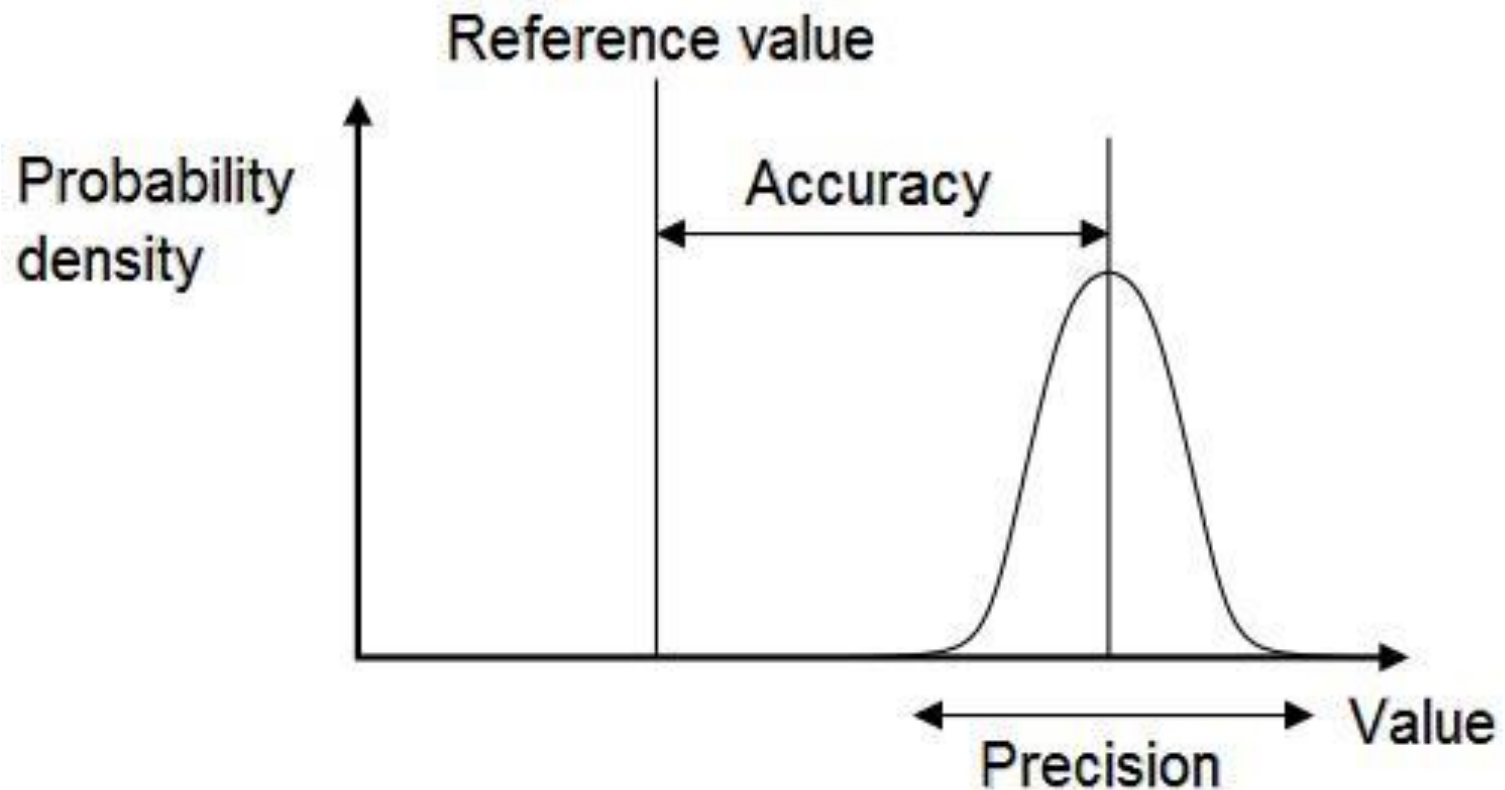
2. Princípios da inferência estatística



2. Princípios da inferência estatística

- ***Precisão***: segundo o método científico, 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 de uma estimativa.
- ***Distorção***: grau de proximidade da mensuração de uma quantidade em relação ao verdadeiro valor desta quantidade.

2. Princípios da inferência estatística



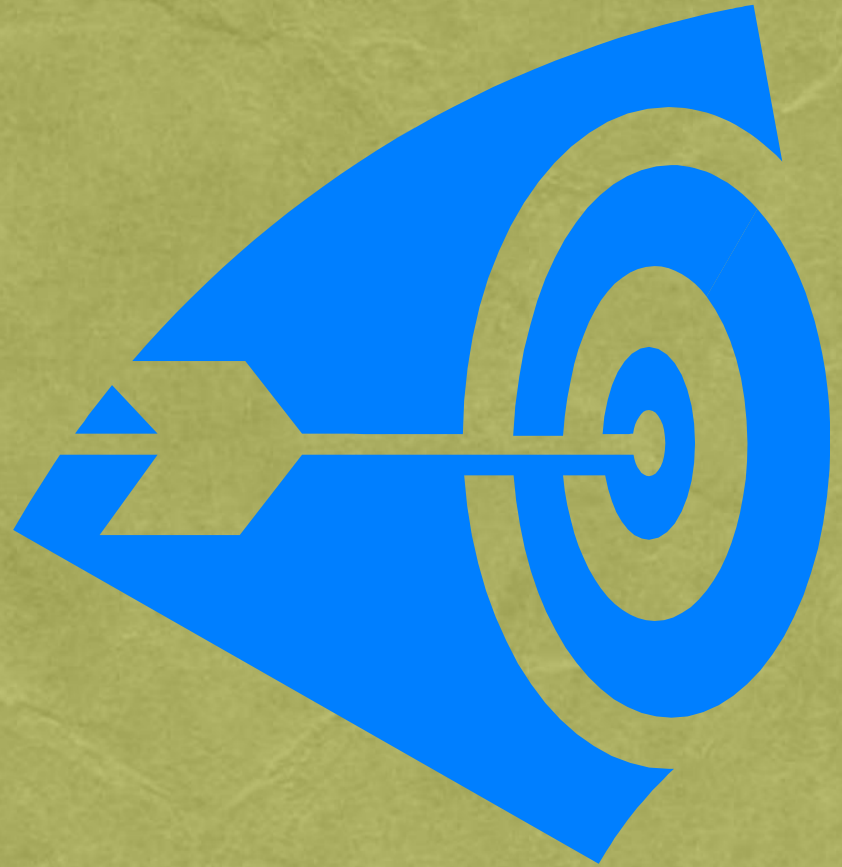
2. Princípios da inferência estatística

- ***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)
- ***Coeficiente de variação***: erro padrão / estimativa pontual.
Medida relativa, comparável entre estudos

2. Princípios da inferência estatística

Precisão aceitável

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



2. Princípios da inferência estatística

Componentes da variação

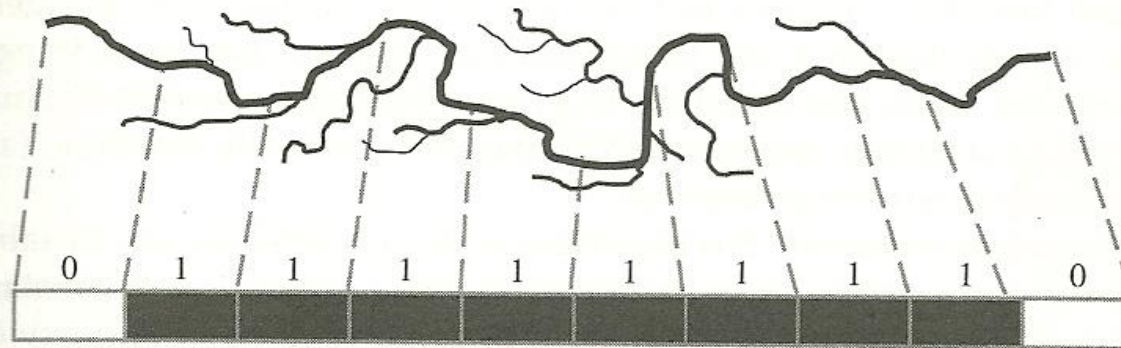
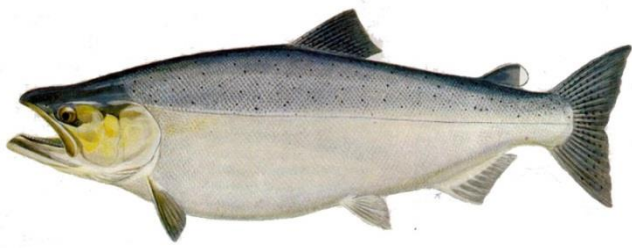
- **Variações naturais temporais e espaciais**
 - *Estocasticidade demográfica*
 - *Estocasticidade ambiental*
- **Variações amostrais:** observador, coleta de dados
- **Variação da estimação/modelo**

3. Diferentes abordagens para estimar a abundância

Quantas pessoas têm?



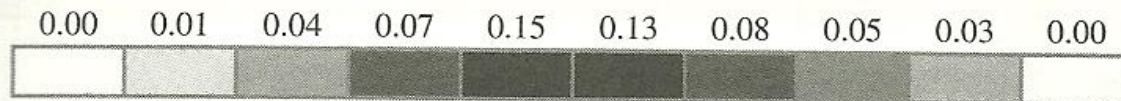




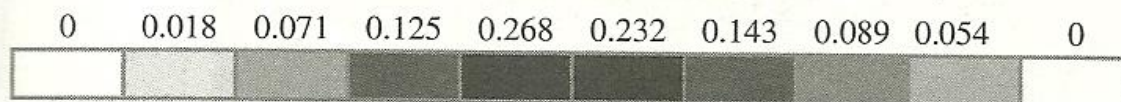
a. Occupancy



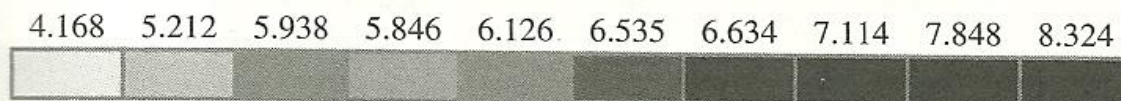
b. Abundance



c. Density



d. Relative abundance



e. Environmental covariate

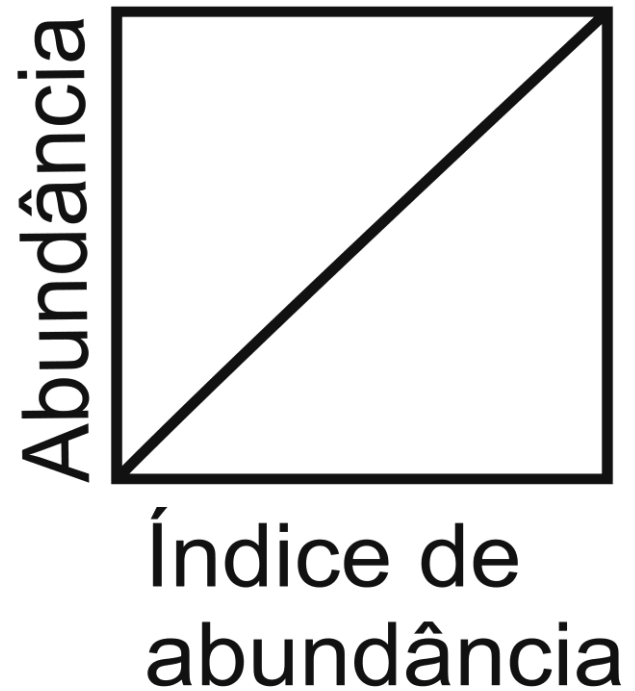
Índices de abundância

Taxa de encontro ou Captura por Unidade de Esforço (CPUE)

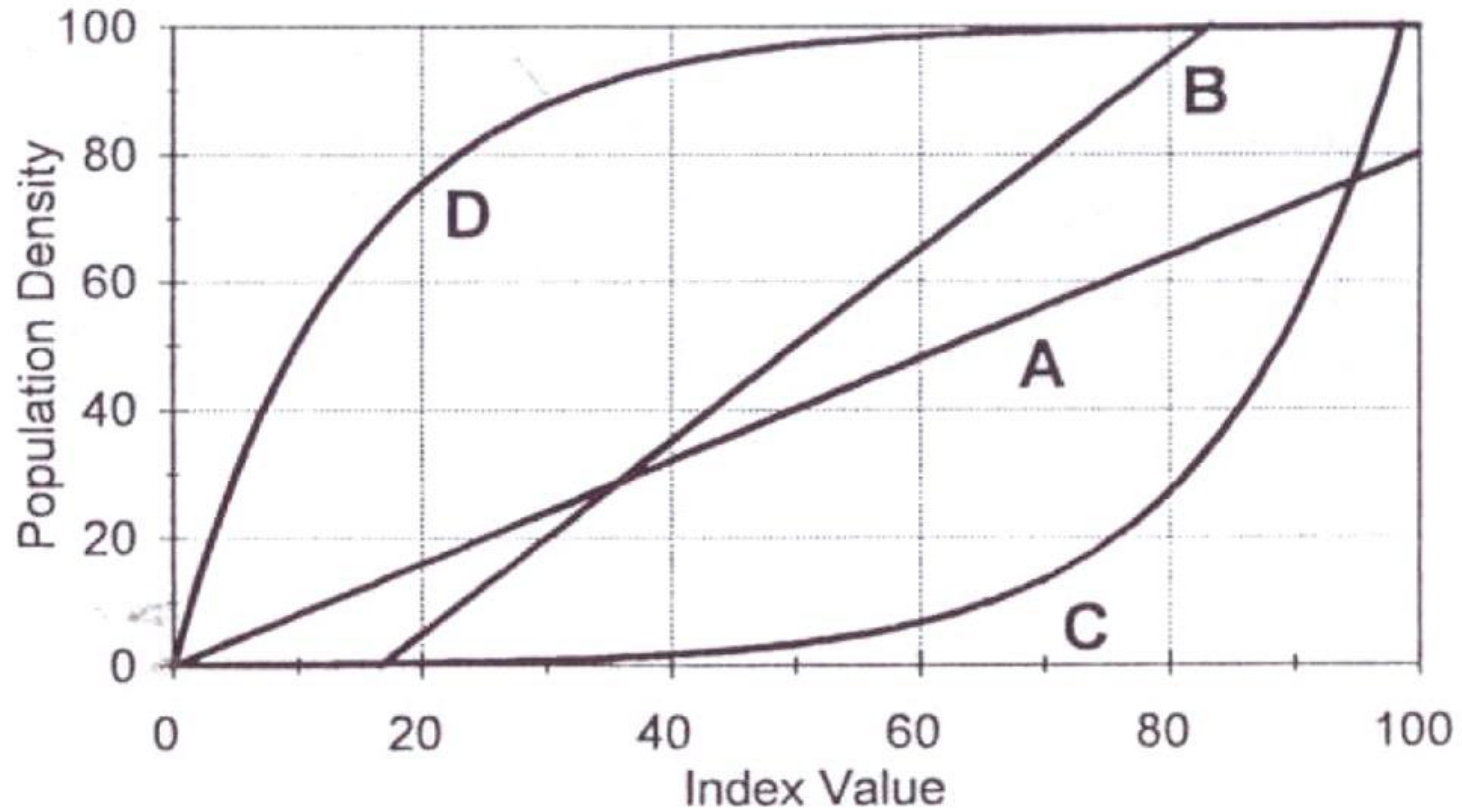
$\left. \begin{array}{l} \text{grupos} \\ \text{indivíduos} \\ \text{pegadas} \\ \text{etc.} \end{array} \right\} \text{ por } \left\{ \begin{array}{l} \text{hora} \\ \text{quilômetro} \\ \text{etc.} \end{array} \right.$

Índices de abundância

Idealmente: relação linear
com intercepto = zero



Índices de abundância



Índices de abundância

O índice de abundância reflete, entre outros processos (Southwood & Henderson, 2000):

1. Mudanças no tamanho da população;
2. Mudanças comportamentais (p.ex., uso de habitat, detectabilidade) decorrentes de mudanças ambientais;
3. Mudanças na eficiência (detectabilidade), erros e/ou distorções sistemáticas decorrentes do método (p.ex., observadores, desenho amostral, condições ambientais).

Índices de abundância

Vantagens:

- Simplicidade;
- Baixo custo.

Desvantagens:

- Qualidade da informação (necessita calibragem para fornecer parâmetros mais robustos);
- Relação pouco confiável com parâmetros como abundância e densidade;
- Variância alta, elevado número de zeros (problemas na modelagem).

3. Diferentes abordagens para estimar a abundância

Três abordagens para obter abundância (Borchers *et al.*, 2002):

- 1) Número de detecções em função de alguma medida que descreve o processo de observação (*e.g.*, distâncias);
- 2) Número de detecções em função da remoção de indivíduos da população;
- 3) Proporção de animais recapturados depois de terem sido marcados em ocasiões anteriores;

O problema da detecção imperfeita

“Ausência de evidência
não significa evidência de
ausência”



Carl Sagan

O problema da detecção imperfeita

Falsos negativos

Dupla contagem

Falsos positivos

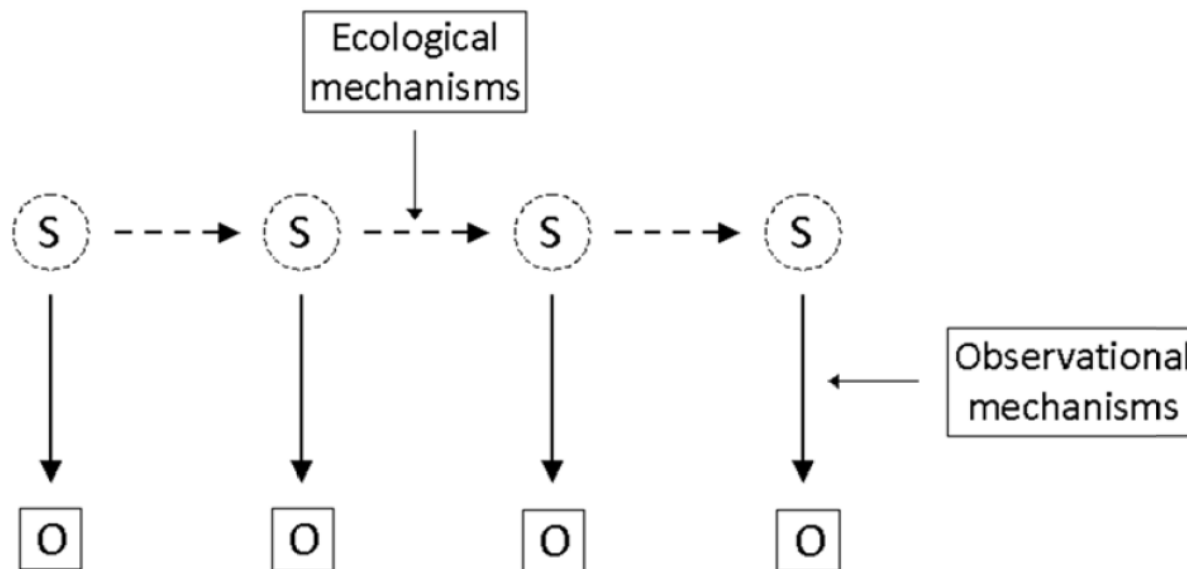
Erros de classificação



O problema da detecção imperfeita

Modelos hierárquicos

Separa a observação do processo:



(Kéry & Schaub, 2012)

O problema da detecção imperfeita

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

O problema da detecção imperfeita

Estimamos então a probabilidade de detecção, permitindo que uma proporção dos objetos fique indetectada.

$$\hat{N} = \frac{n}{p}$$

Amostragem de distâncias

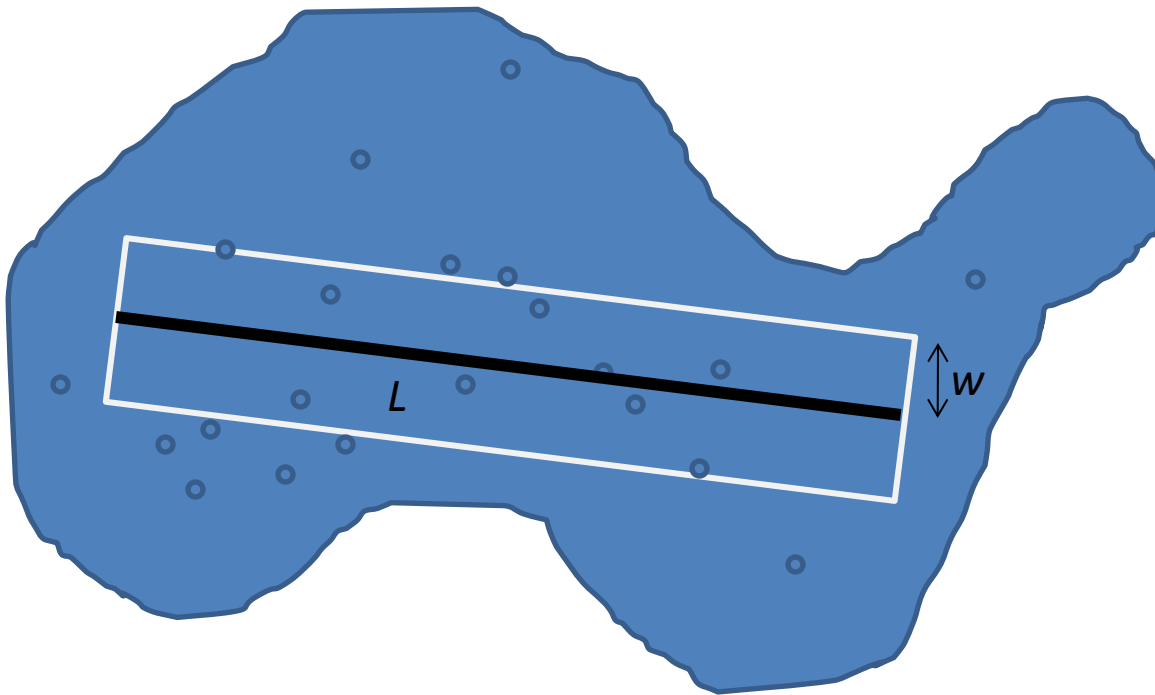
Estimativa de abundância

$$\hat{N} = \hat{D} \cdot A$$

Derivada da estimativa de densidade

Transecções em faixa

(Forbes, 1907)



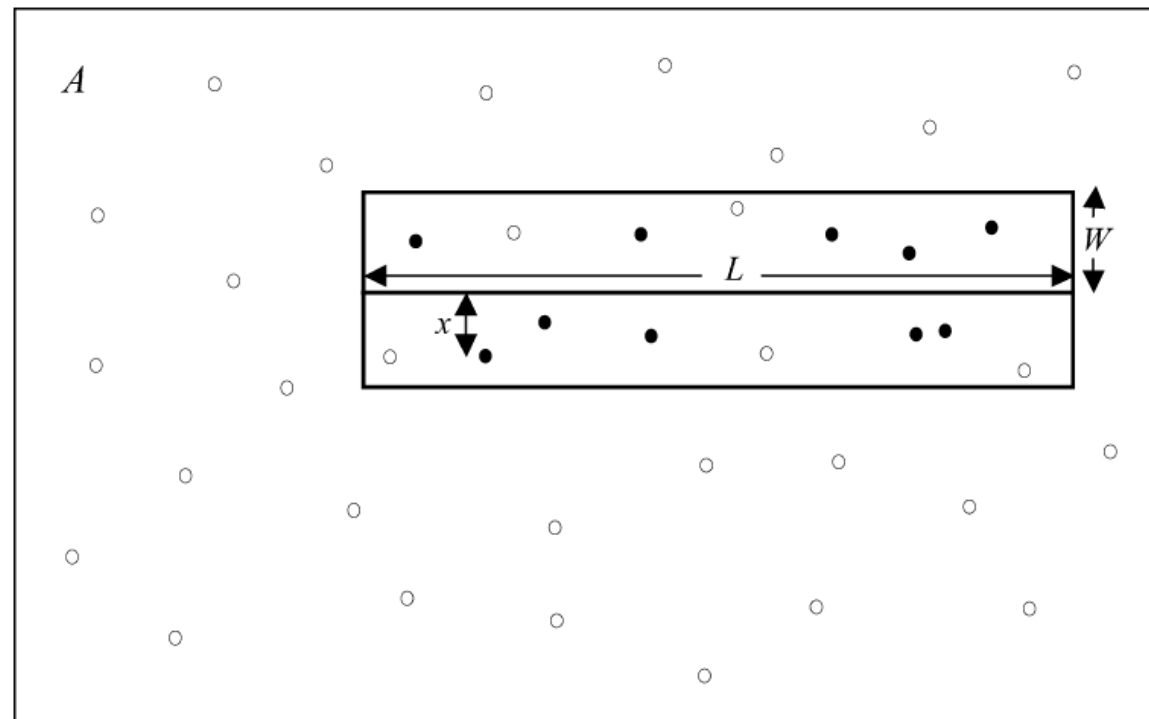
L = tamanho da linha
 w = largura da faixa amostrada

$$\hat{D} = \frac{n}{2wL}$$

Definição *a priori* de w , com premissa de que todos os animais dentro da faixa são detectados.

Amostragem de distâncias

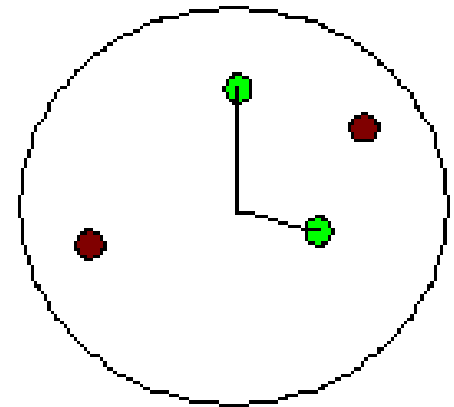
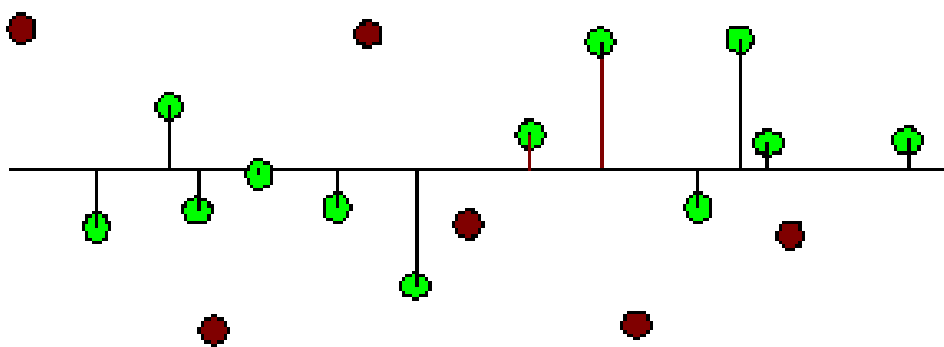
Transecções lineares com amostragem de distâncias
(Eberhardt, 1968; Gates *et al.*, 1968)



Marques & Buckland (2003)

Amostragem de distâncias

Linhas ou pontos



Amostragem de distâncias

Estimador de densidade

Temos então uma nova fórmula para estimar a densidade, corrigindo pela probabilidade de detecção:

$$\hat{D} = \frac{n}{2wL\hat{P}}$$

Amostragem de distâncias

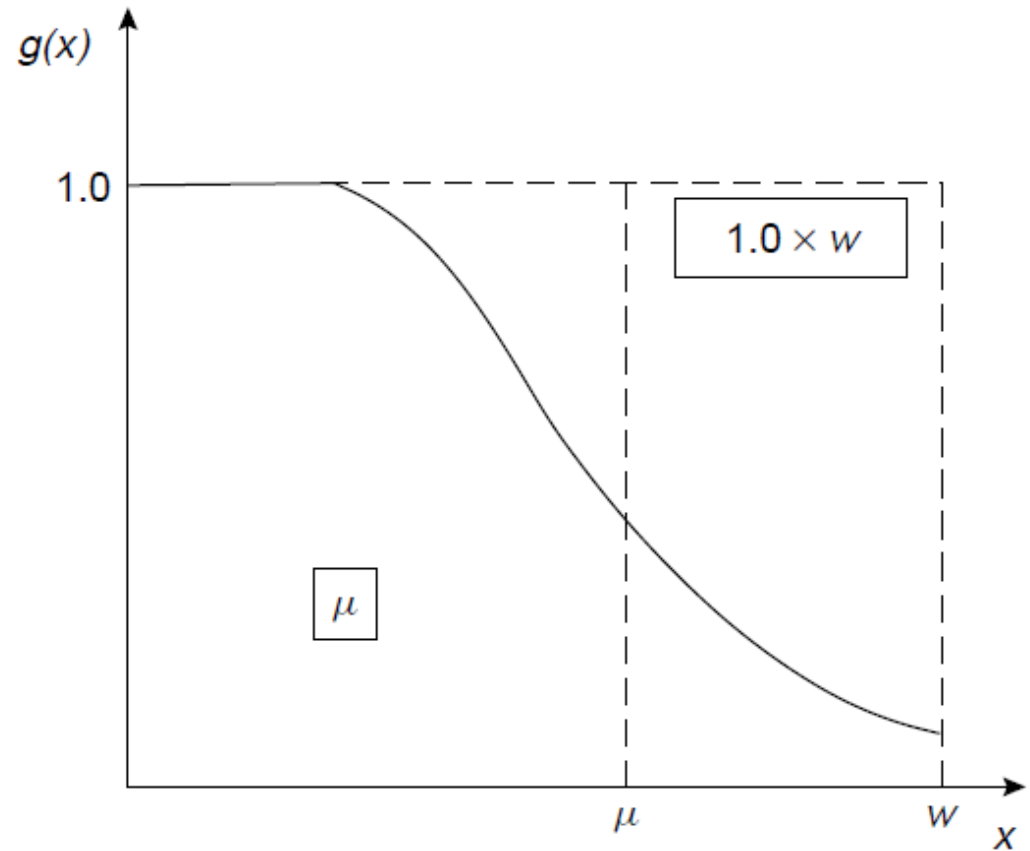
Quanto mais perto da linha de transecção, maior é a probabilidade de visualizar um animal ou grupo. Quanto mais longe, maior é a chance de não enxergá-lo.



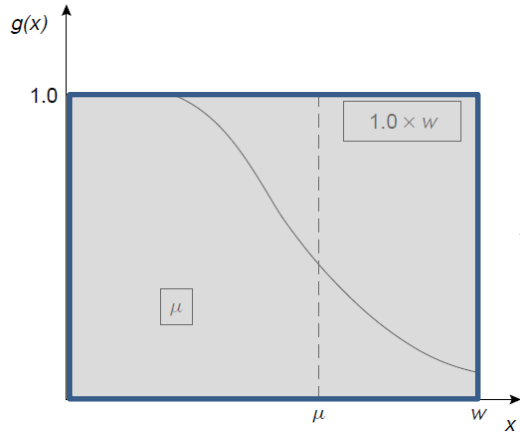
A probabilidade de detecção diminui com a distância.

Amostragem de distâncias

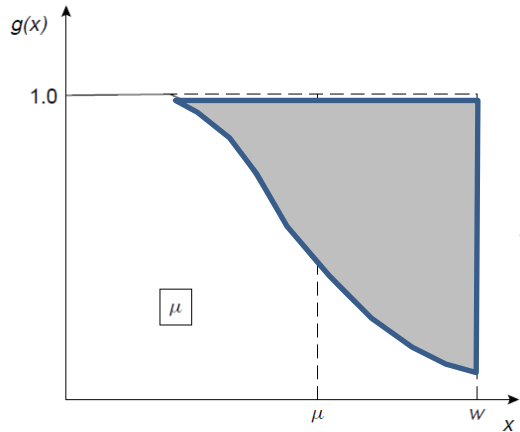
Uma **função de detecção** é ajustada às distâncias observadas, ou seja, teremos uma probabilidade de detecção para cada distância.



Amostragem de distâncias



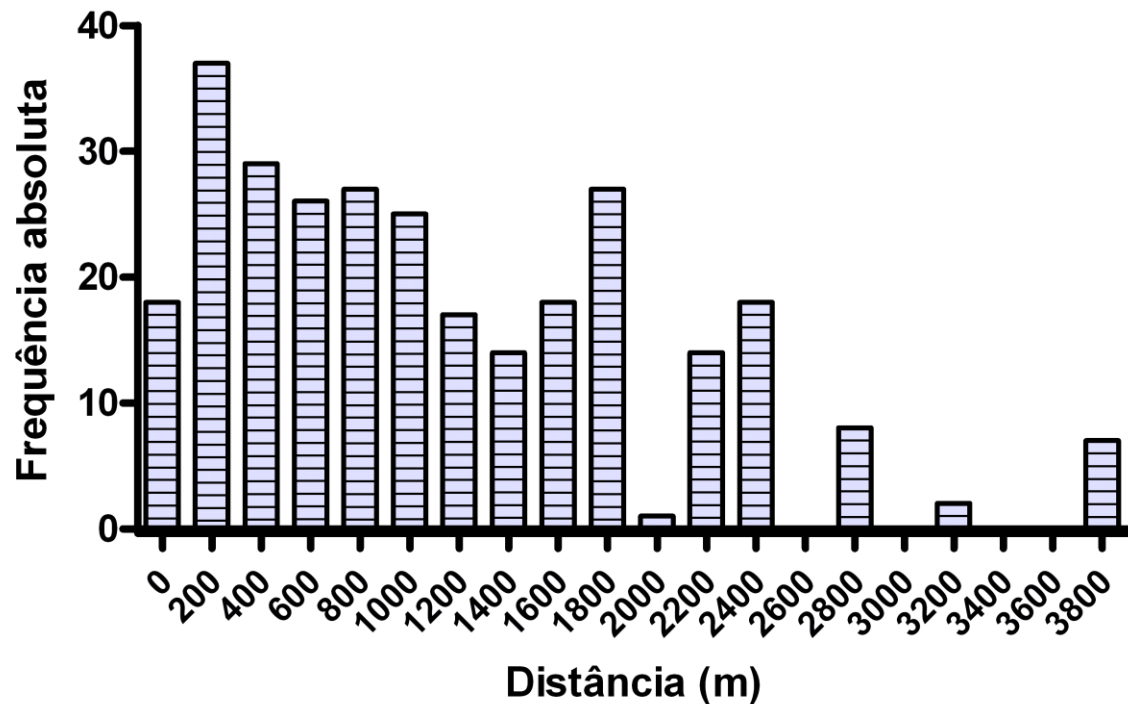
Na realidade os
animais estão lá



Nós que não
estamos vendo eles

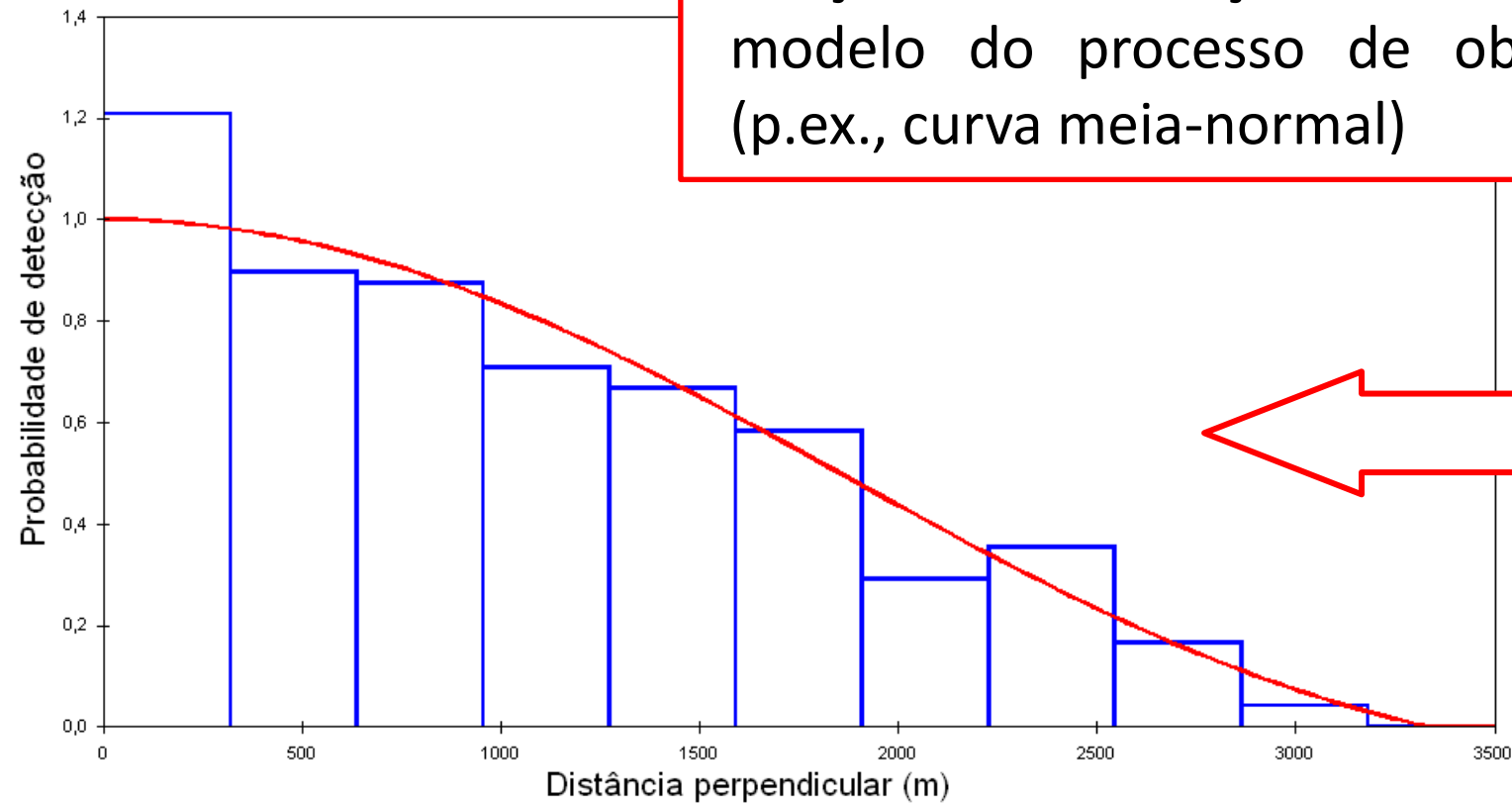
Amostragem de distâncias

Histograma das distâncias perpendiculares

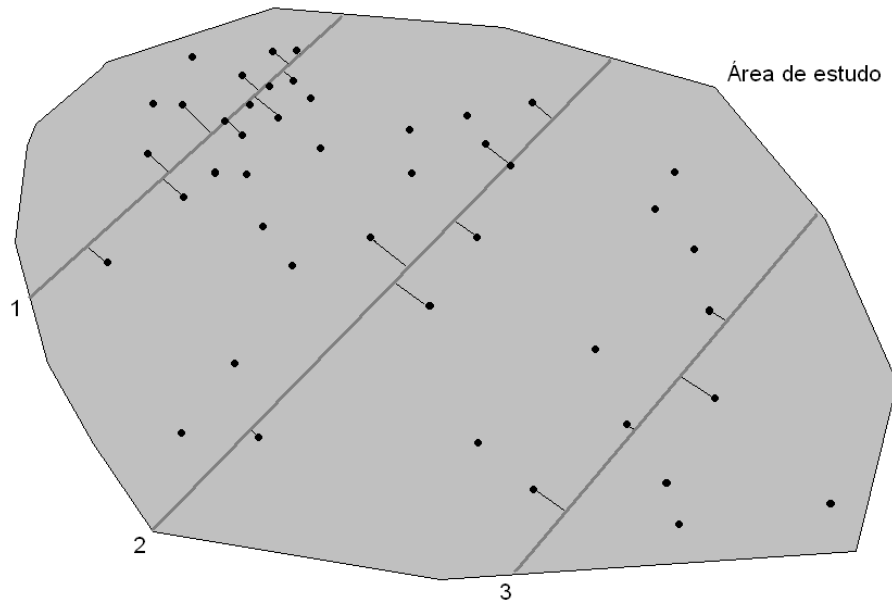


Amostragem de distâncias

Função de detecção deve ser um modelo do processo de observação (p.ex., curva meia-normal)



Amostragem de distâncias



A = tamanho da área de estudo

k = número de linhas

l_i = comprimento da linha de transecção i

L = comprimento total das linhas / somatório de l_i

w = comprimento da área amostrada

Amostragem de distâncias

Premissas

- 1) Os animais a uma distância zero da linha de transecção ou perto dela serão detectados; a função de detecção tem um “ombro”.

$$g(0) = 1$$

Amostragem de distâncias

Distorção por disponibilidade

vs.

Distorção por percepção

Amostragem de distâncias

Premissas

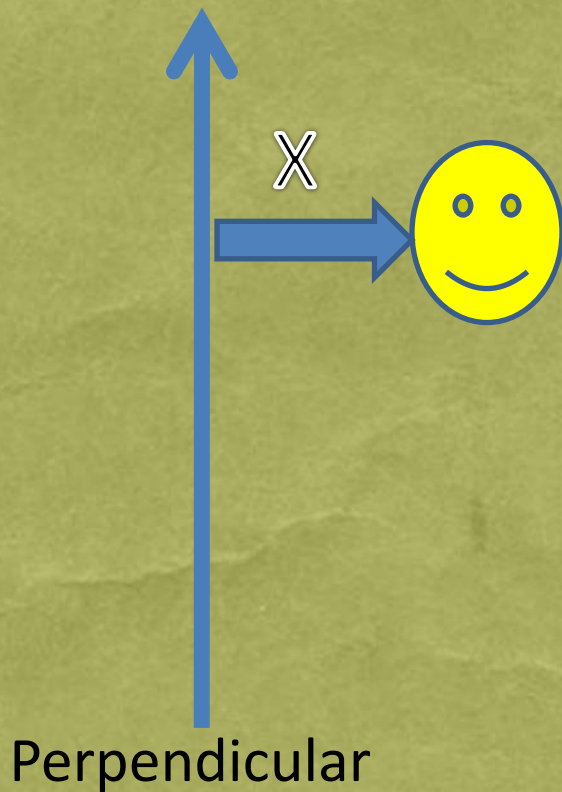
2) Os animais são detectados antes de responder à presença do observador,

ou

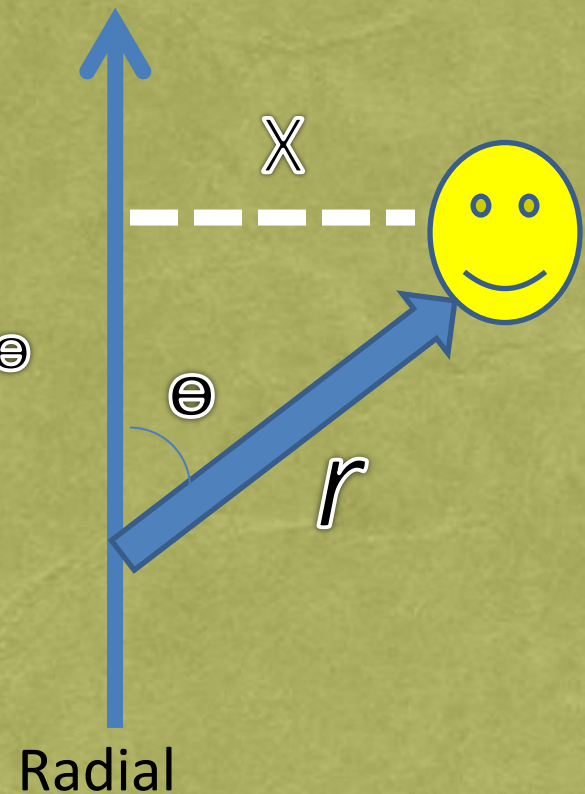
ausência de movimentos responsivos.

Amostragem de distâncias

3) Distâncias são medidas precisa/corretamente.



$$x = r \sin \theta$$



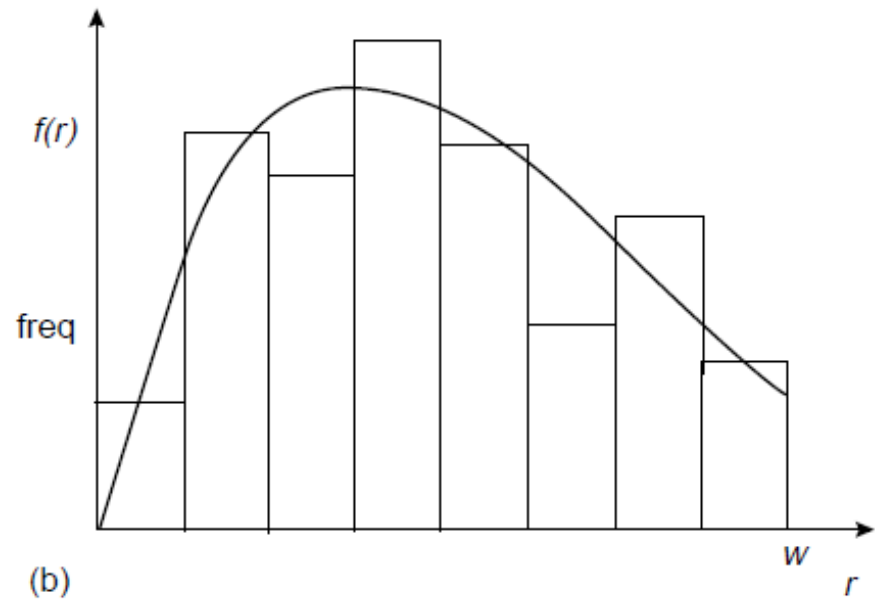
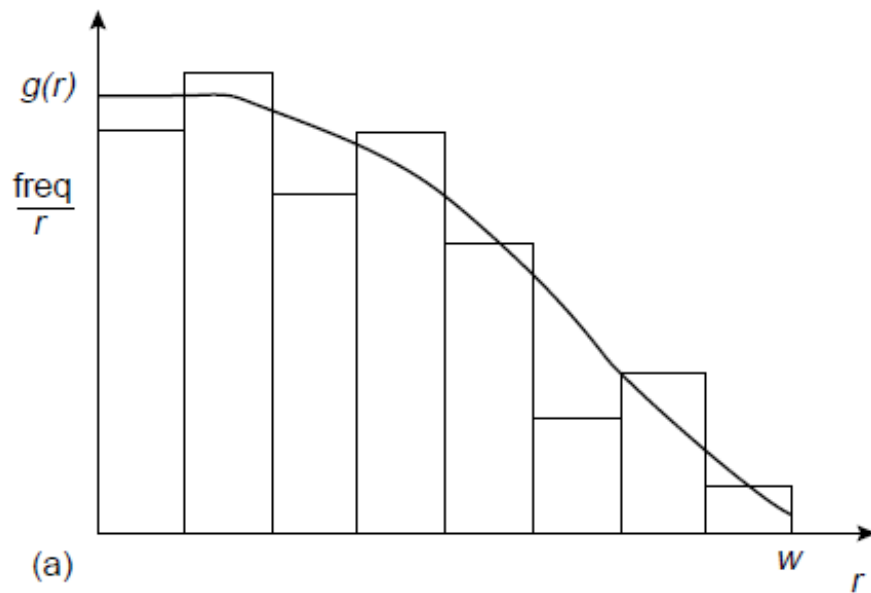
Amostragem de distâncias

Outras premissas

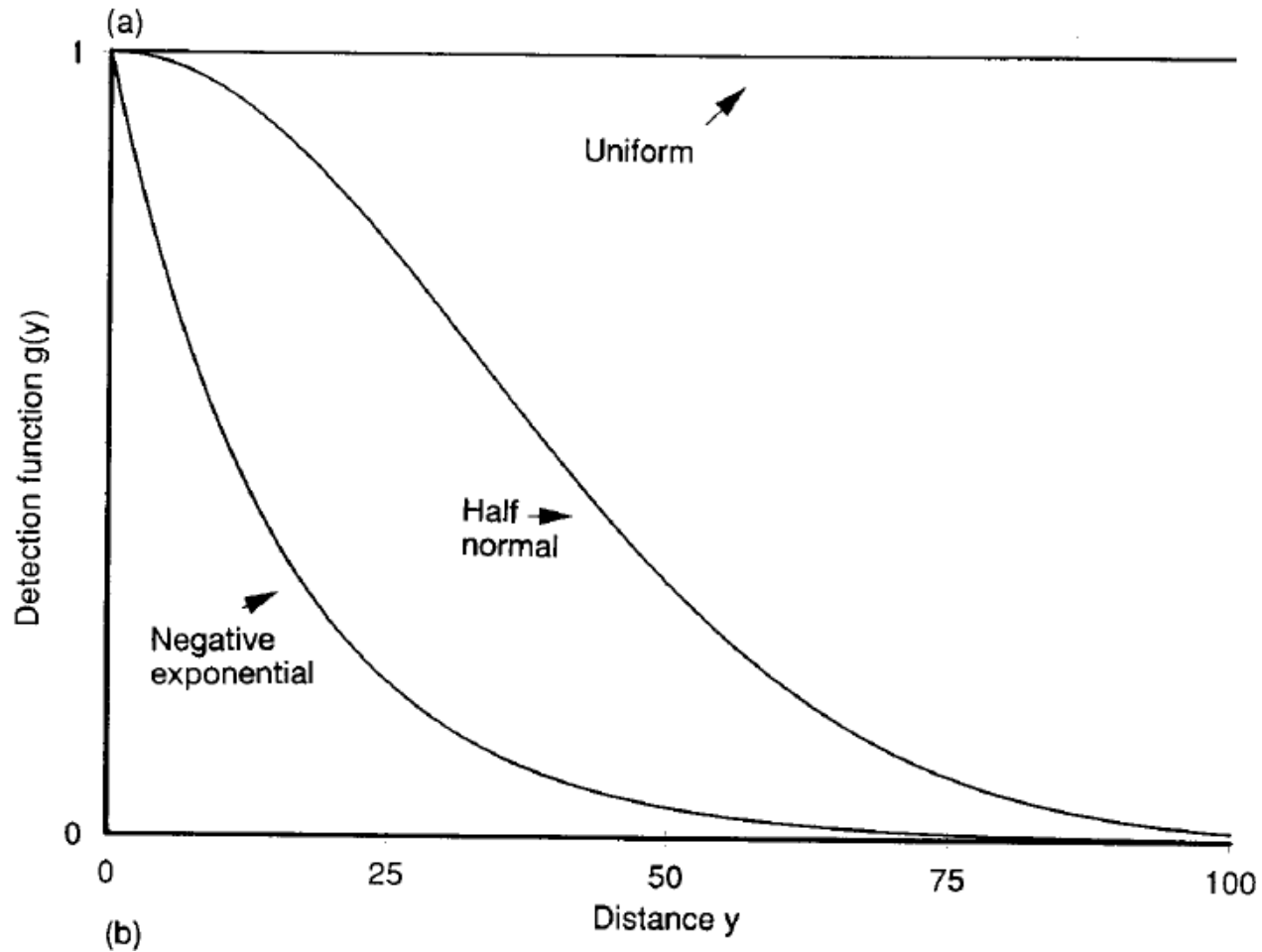
- Independência entre detecções;
- O mesmo objeto não pode ser detectado em mais de uma linha.

Amostragem de distâncias

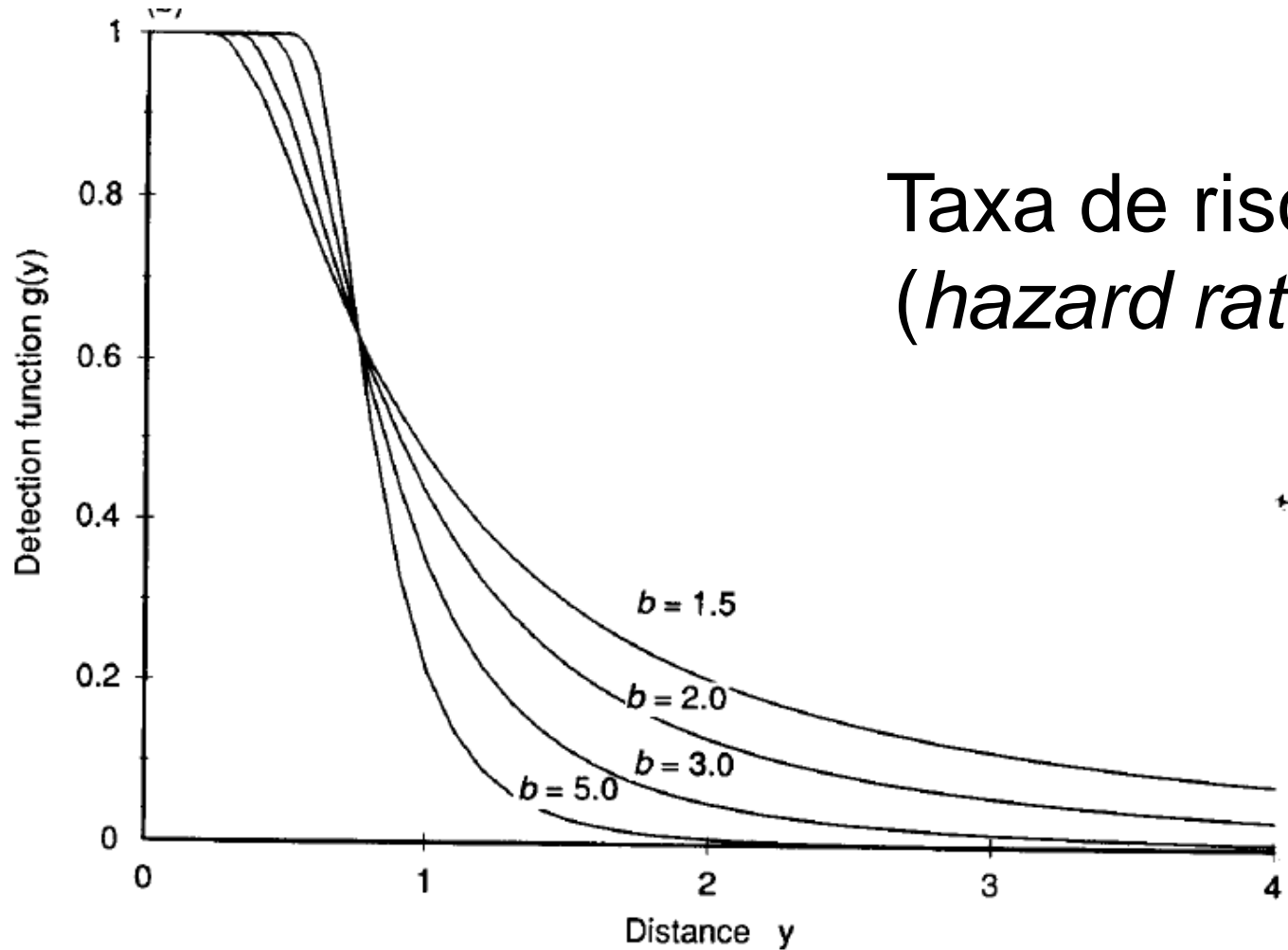
Funções de detecção



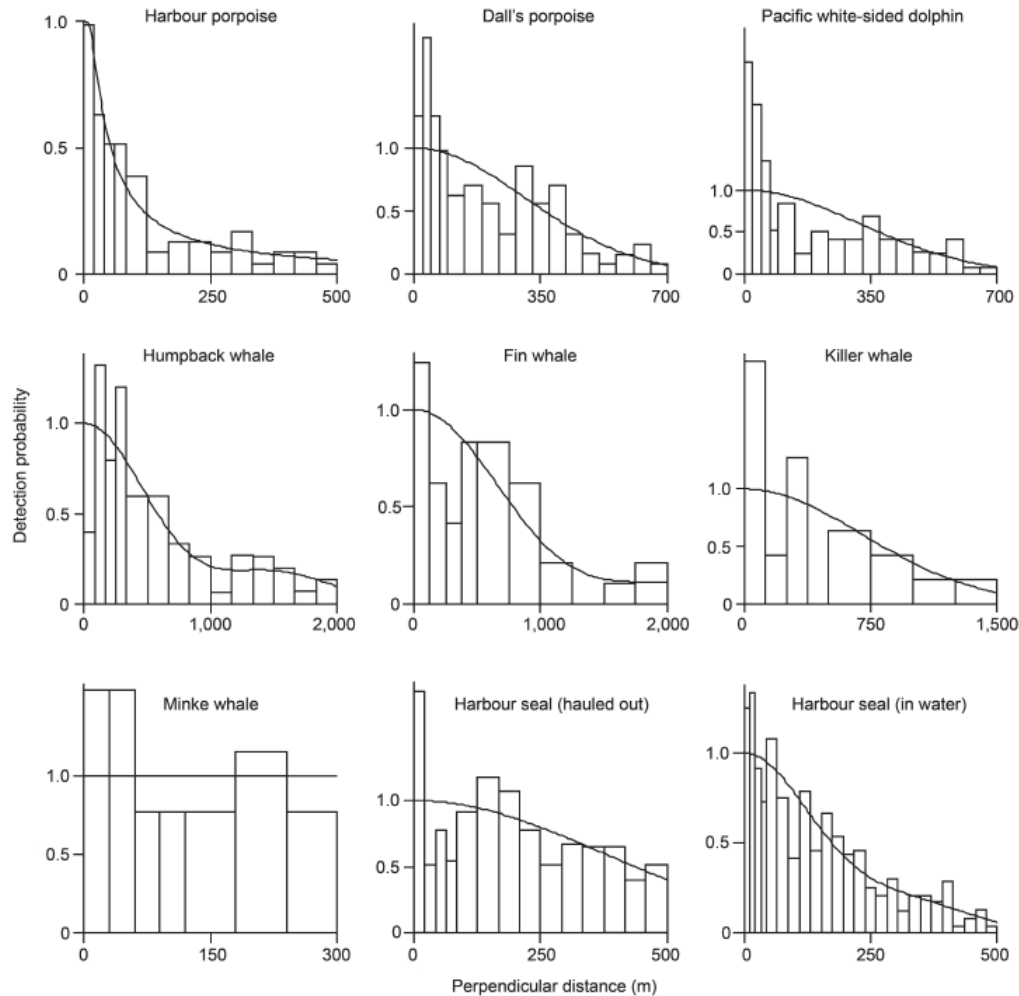
Amostragem de distâncias



Amostragem de distâncias



Amostragem de distâncias



Williams & Thomas (2007)

Amostragem de distâncias

Fatores que afetam a detectabilidade:

(Koopman, 1980)

Brilho, contraste, tamanho e forma, comportamento, mobilidade relativa e distância do observador.



Amostragem de distâncias

Covariáveis

- Taxa com que a detecção decresce em função da distância pode variar em função de alguma covariável;

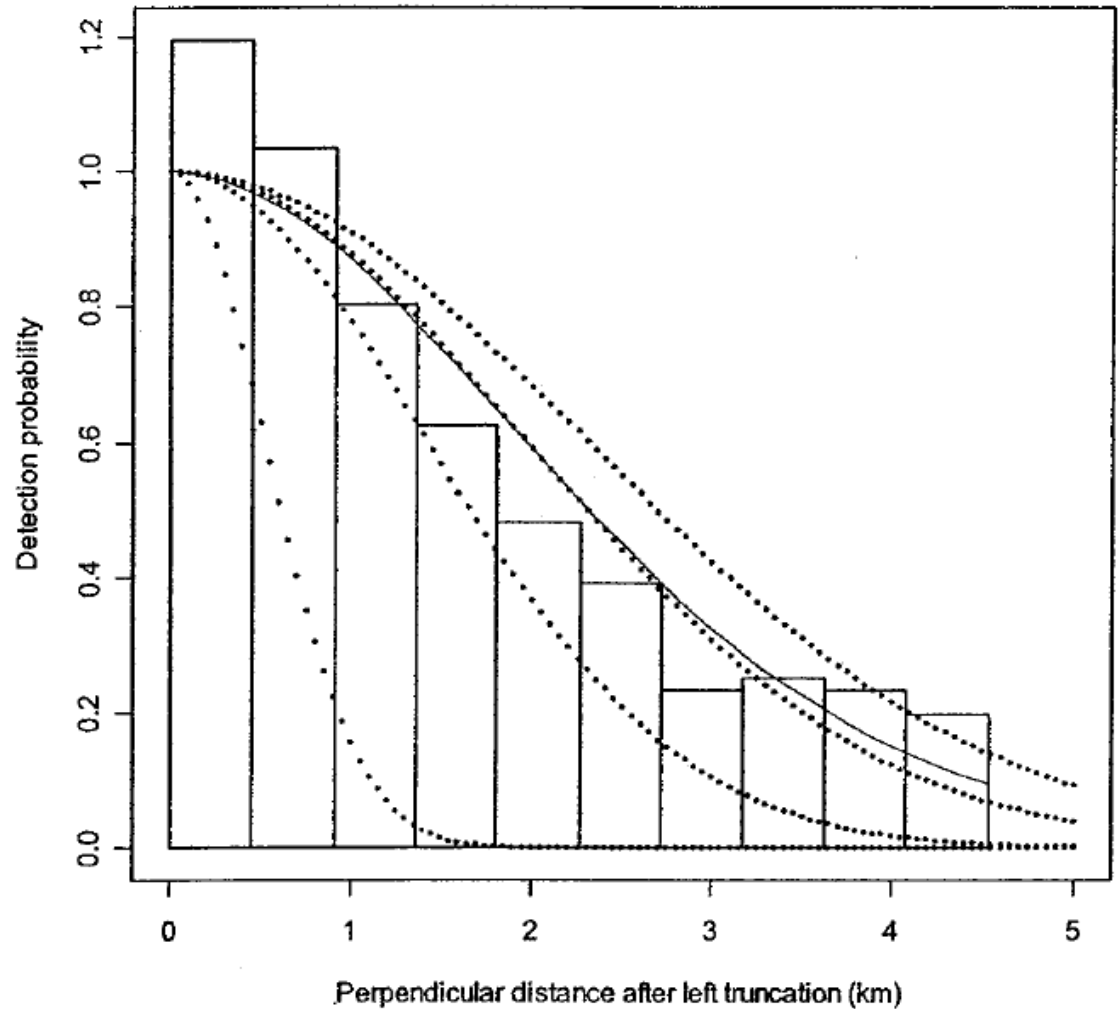
Amostragem de distâncias

- Tipo de vegetação;
- Reflexo do sol;
- Cobertura do céu;
- Estado do mar – escala Beaufort;
- Tamanho da ondulação;
- Direção e intensidade do vento;
- Evento/pista da detecção (*cue*);
- Observador;
- Profundidade;
- Etc...

Amostragem de distâncias

Uma função de detecção para cada observador

Paxton *et al.* (2006)



Amostragem de distâncias

Outros modelos

- **Modelo de Royle *et al.* (2004):** separa melhor os processos de detecção e abundância, permitindo incorporar covariáveis que afetam a abundância nas unidades amostrais
- **Spatial Distance sampling:** especificação de um modelo para a densidade baseada em covariáveis ambientais. Permite gerar mapas de densidade mais detalhados.
- **Distance sampling com plataforma dupla:** integra a amostragem de distâncias com marcação-recaptura para lidar com possíveis distorções

Amostragem de distâncias

Softwares:

- **Distance**

<http://www.ruwpa.st-and.ac.uk/distance/>

- **Unmarked** (pacote R)

Marcação-recaptura



Marcação-recaptura

- Marcas naturais



Marcação-recaptura

- Marcas artificiais



Anilhas/tags



Marcação-recaptura

Histórico de capturas

1 para captura
0 para não captura

		Ocasião		
		1	2	3
Indivíduos	A	1	0	0
	B	1	1	1
	C	1	0	1
	D	0	1	1
	E	0	0	1
	F	0	0	1

Marcação-recaptura

Tipos de dados:

- Recapturas de animais vivos
- Recuperação de marcas em animais mortos
- Recapturas de animais vivos e de marcas em animais mortos
- Destino conhecido (*known fate*)

Marcação-recaptura

Informações em um histórico de capturas (Pollock, 1981):

- 1) Recaptura de animais marcados podem ser usadas para calcular a probabilidade de sobrevivência;
- 2) Comparação do número de animais marcados e não-marcados em cada ocasião de captura podem ser usadas para estimar a abundância.

Marcação-recaptura

População aberta

VS.

População fechada

(Abundância não muda com nascimentos, mortes, imigração e emigração)

Marcação-recaptura



Pierre Laplace
(1749-1827)

Primeiras aplicações



Marcação-recaptura

Estimador de Lincoln-Petersen

Duas ocasiões de captura:

$$\frac{m_2}{n_2} = \frac{n_1}{N} \quad \text{ou} \quad N = \frac{n_1 n_2}{m_2}$$

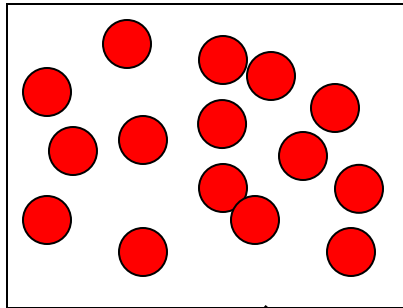
Onde:

n_1 = animais marcados na primeira ocasião

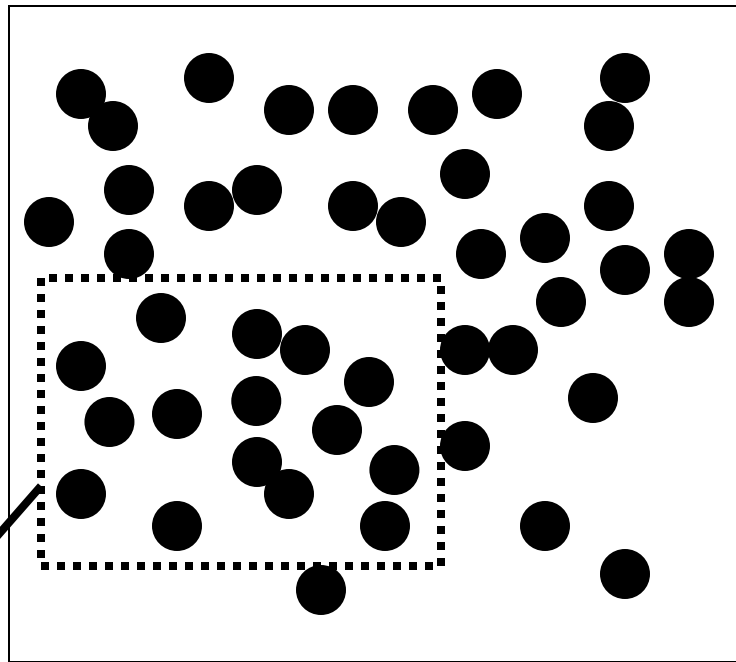
n_2 = animais marcados na segunda ocasião

m_2 = animais recapturados na segunda ocasião

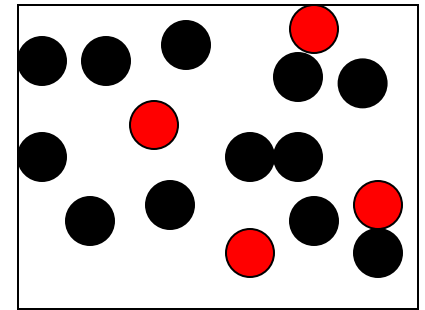
Ocasião 1:



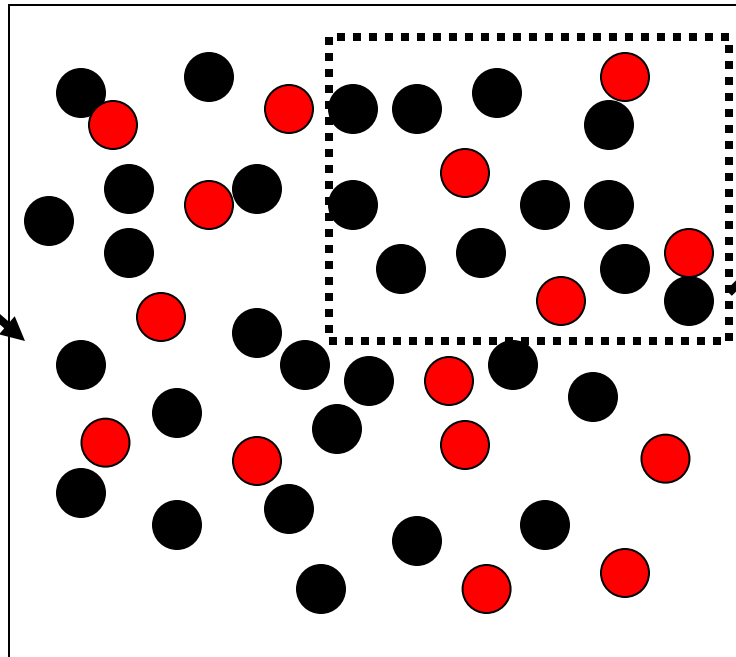
$$n_1 = 15$$



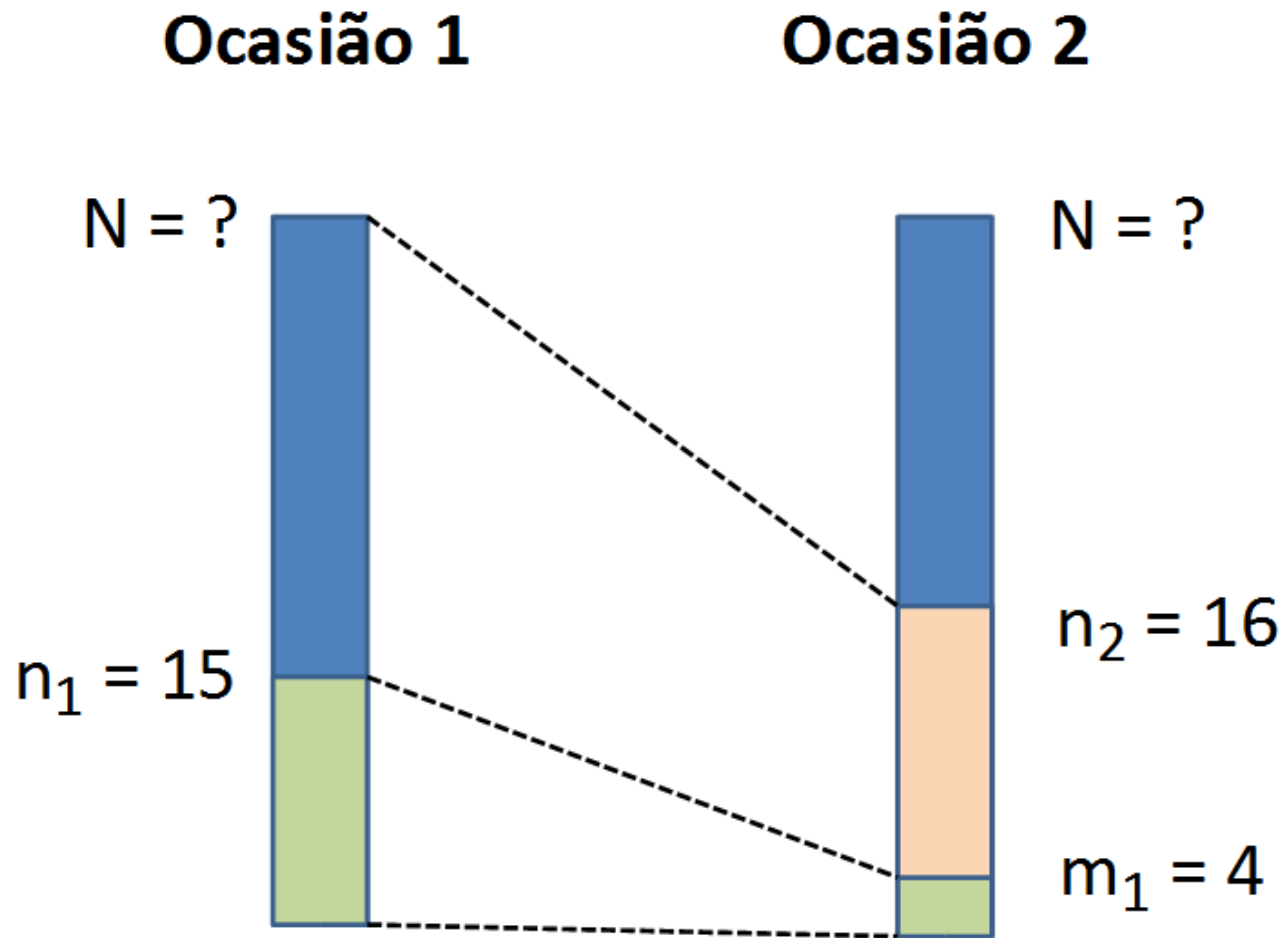
Ocasião 2:



$$n_2 = 16$$
$$m_2 = 4$$



Marcação-recaptura



Estimador de Chapman

$$N = [(n_1 + 1) (n_2 + 1) / (m_2 + 1)] - 1$$

Onde:

n_1 = animais marcados na primeira ocasião

n_2 = animais marcados na segunda ocasião

m_2 = animais recapturados na segunda ocasião

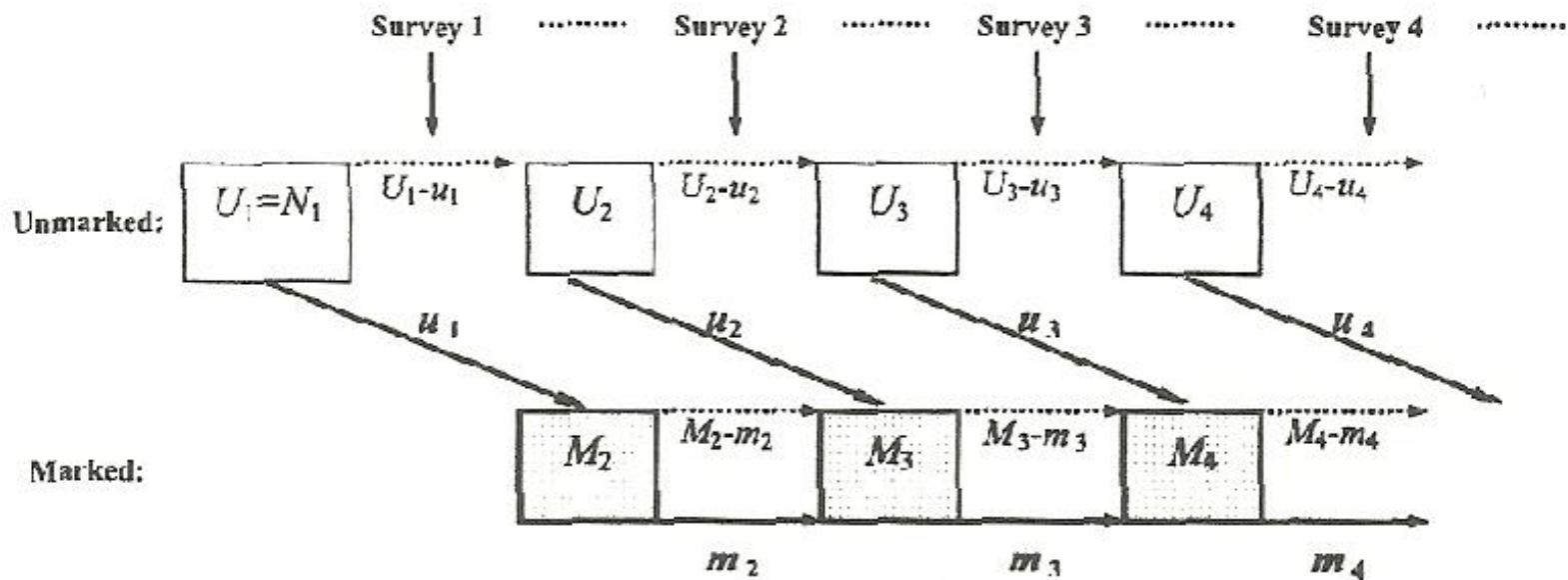
Marcação-recaptura

Premissas

- 1) A população é fechada;
- 2) Indivíduos têm a mesma probabilidade de serem capturados (capturabilidade igual);
- 3) Animais não perdem suas marcas, e estas marcas são registradas corretamente;
- 4) Animais agem independentemente.

Amostragem de distâncias

Múltiplas ocasiões



U_i = número de não-marcados no início da ocasião
 u_i = número de não-marcados capturados na ocasião
 M_i = número de animais marcados no início da ocasião
 m_i = número de marcados recapturados

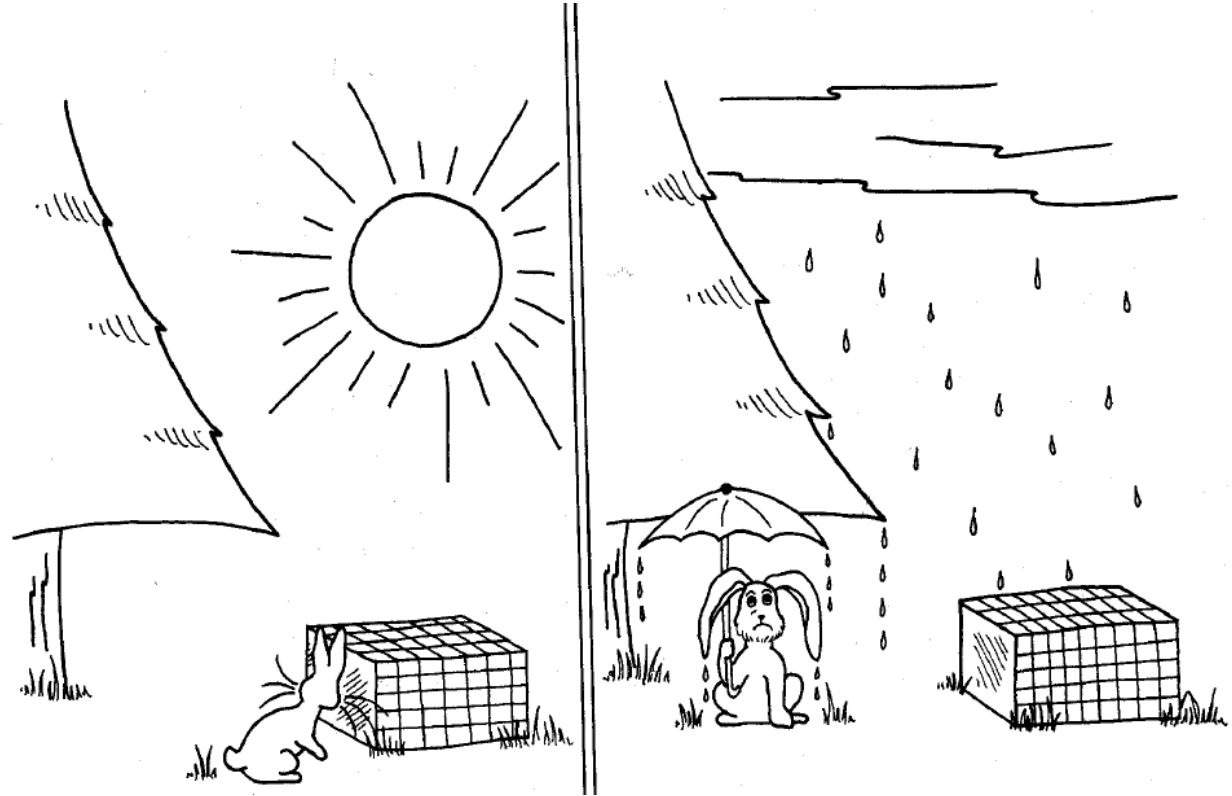
Três fontes de variação nas probabilidades de captura

(Otis *et al.*, 1978)

- Tempo
- Comportamento
- Heterogeneidade individual

Marcação-recaptura

Tempo

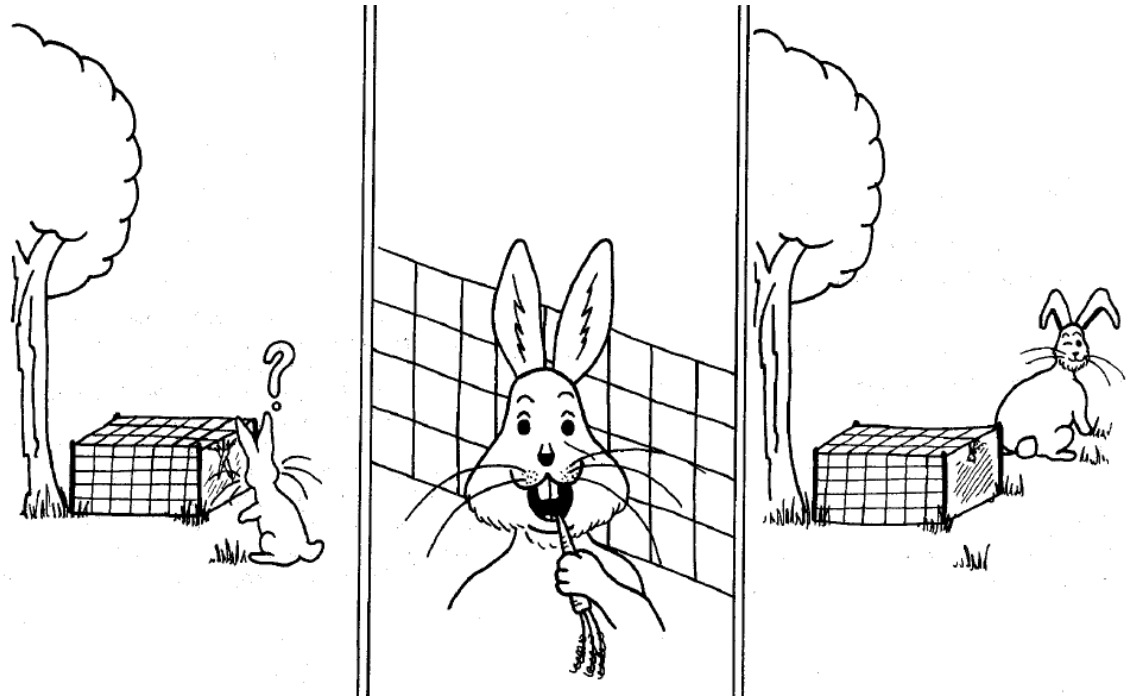


White *et al.* (1982)

Marcação-recaptura

Comportamento

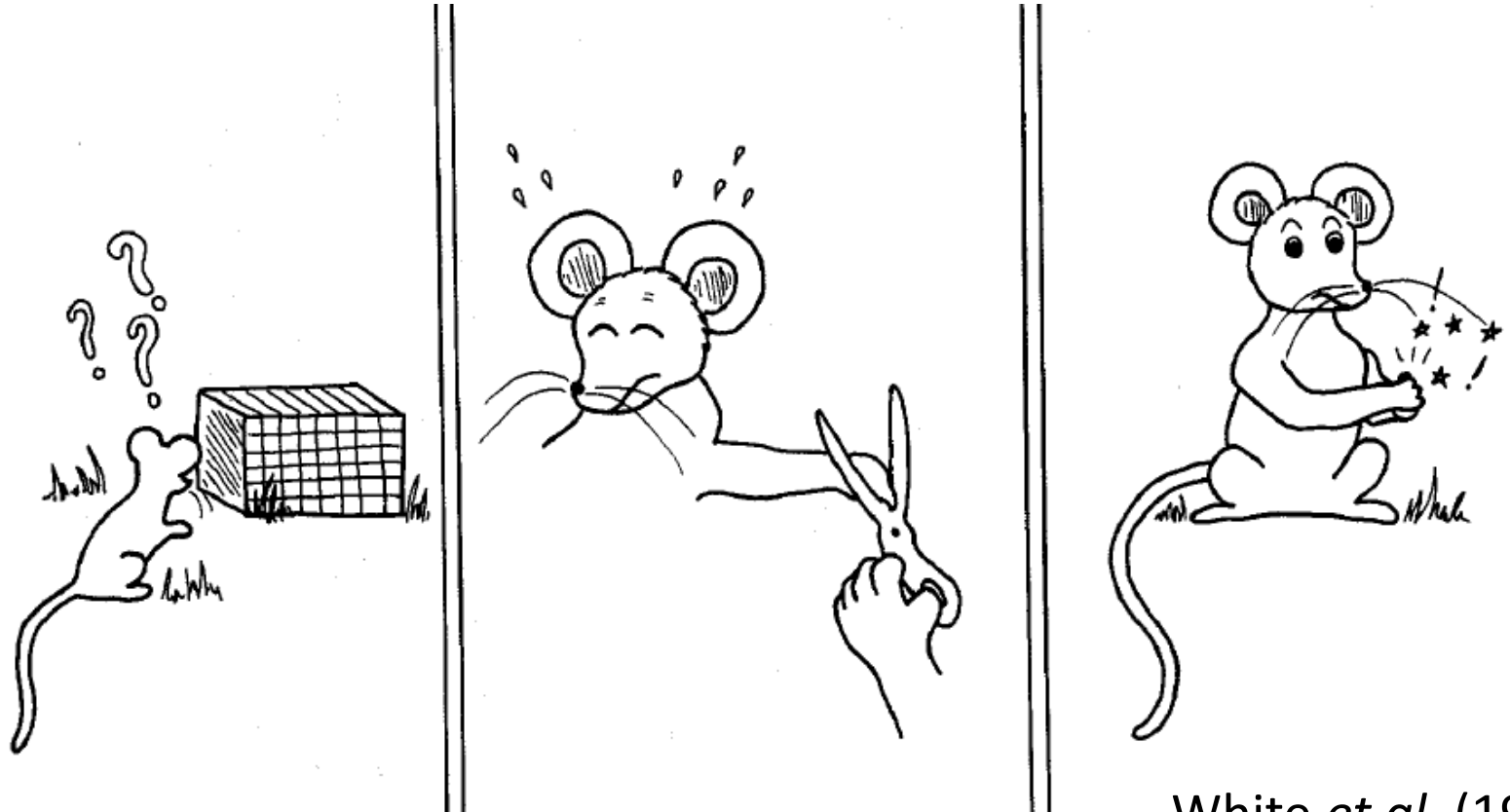
Trap-happy



White *et al.* (1982)

Marcação-recaptura

Trap-shy



White *et al.* (1982)

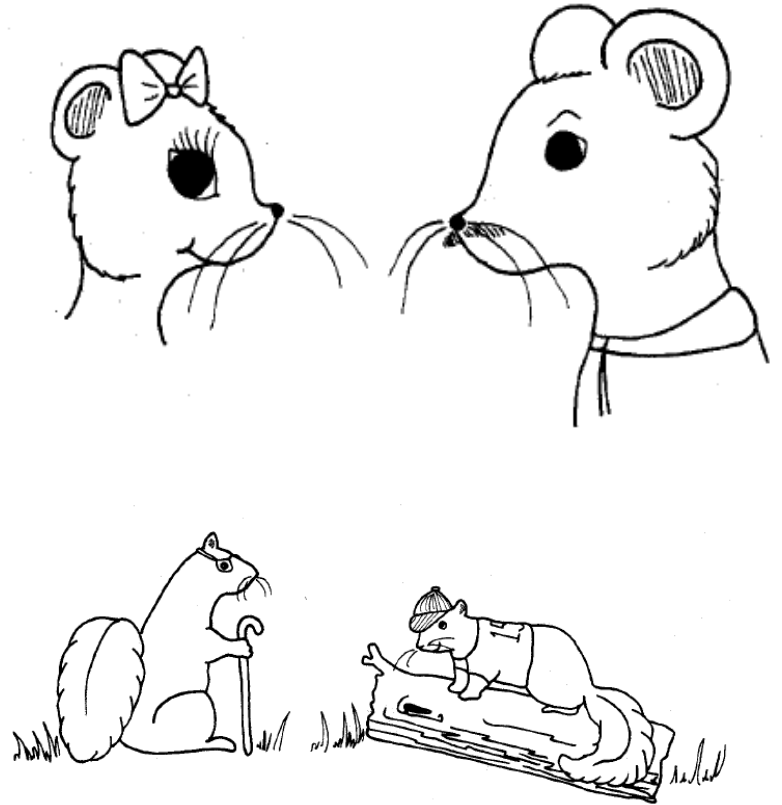
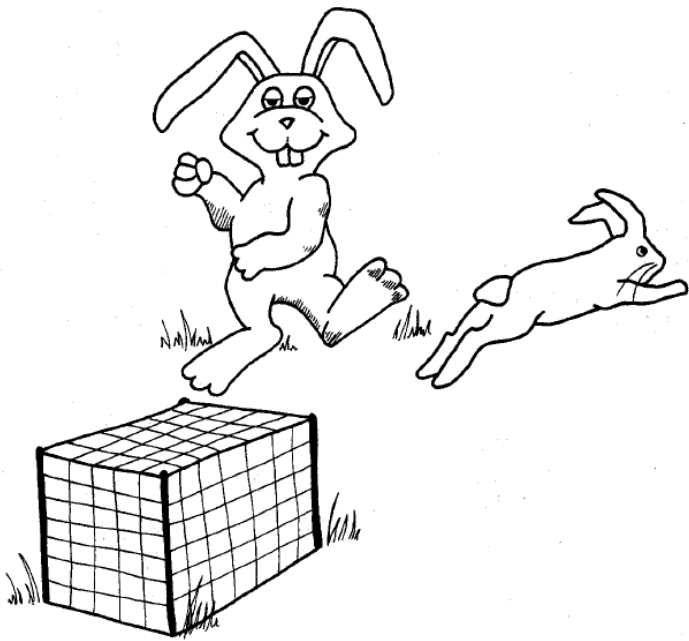
Heterogeneidade

Diferentes probabilidades de capturas entre indivíduos devido à características “intrínsecas” dos animais.

Heterogeneidade leva à subestimativa do tamanho da população.

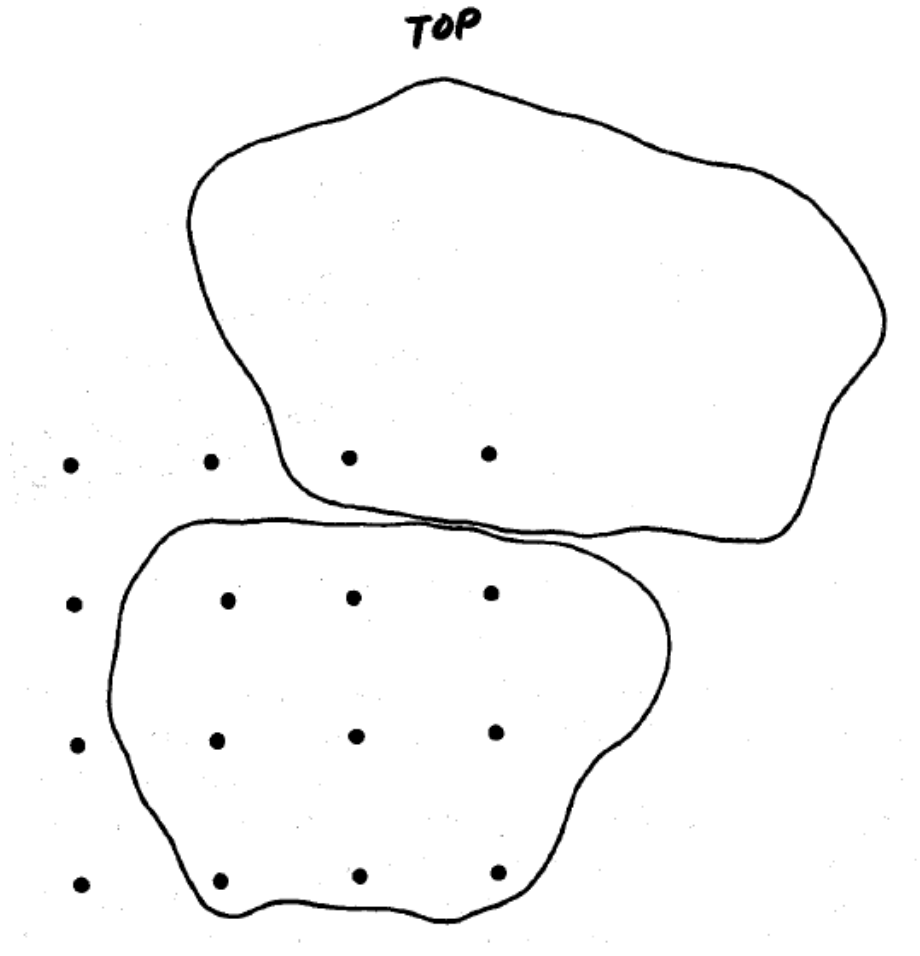
Marcação-recaptura

Heterogeneidade



White *et al.* (1982)

Marcação-recaptura



Edge effects

White *et al.* (1982)

Maldição de Link

(Link, 2003)



Mesmo com amostras grandes, o analista não conseguirá distinguir entre diferentes modelos com heterogeneidade, que podem resultar em diferentes inferências sobre o tamanho populacional.

Marcação-recaptura

Relaxando algumas premissas:

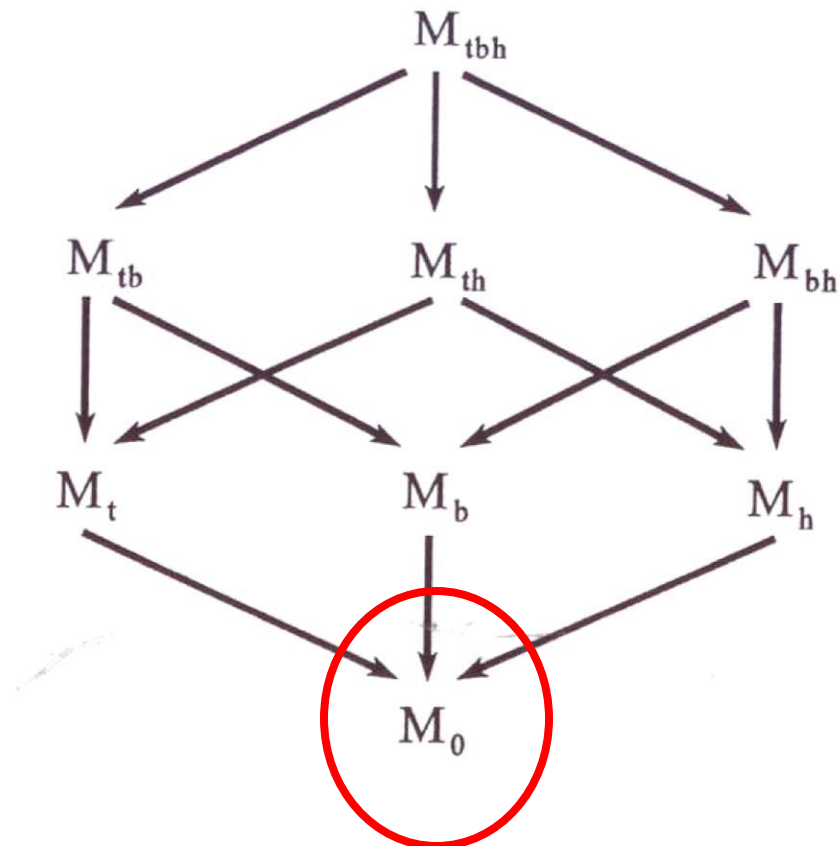
M_t = probabilidade de captura varia por ocasião de captura;

M_b = probabilidade de captura varia entre a captura e recaptura(s);

M_h = cada indivíduo tem sua própria probabilidade de captura que é constante nas ocasiões.

Marcação-recaptura

Otis *et al.* (1978)



MODELO NULO

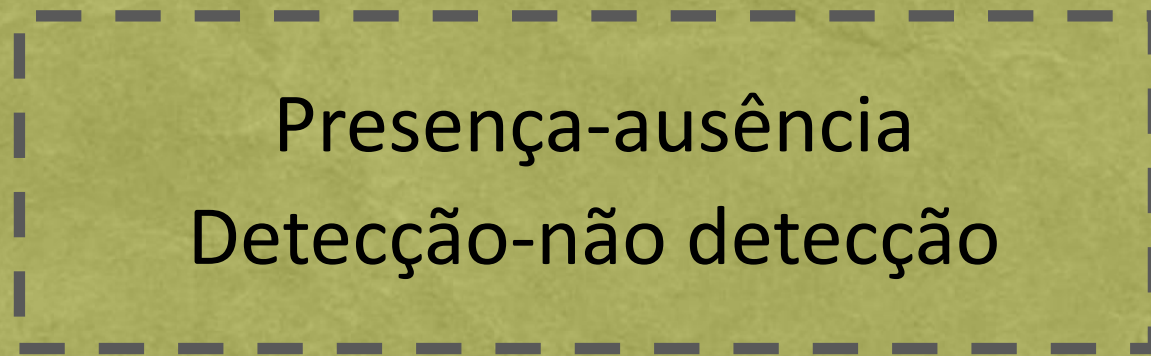
Marcação-recaptura

Softwares

- MARK
- Capture
- Rcapture
- Etc.*

* Ver revisão em Bunge (2013).

Modelos de ocorrência



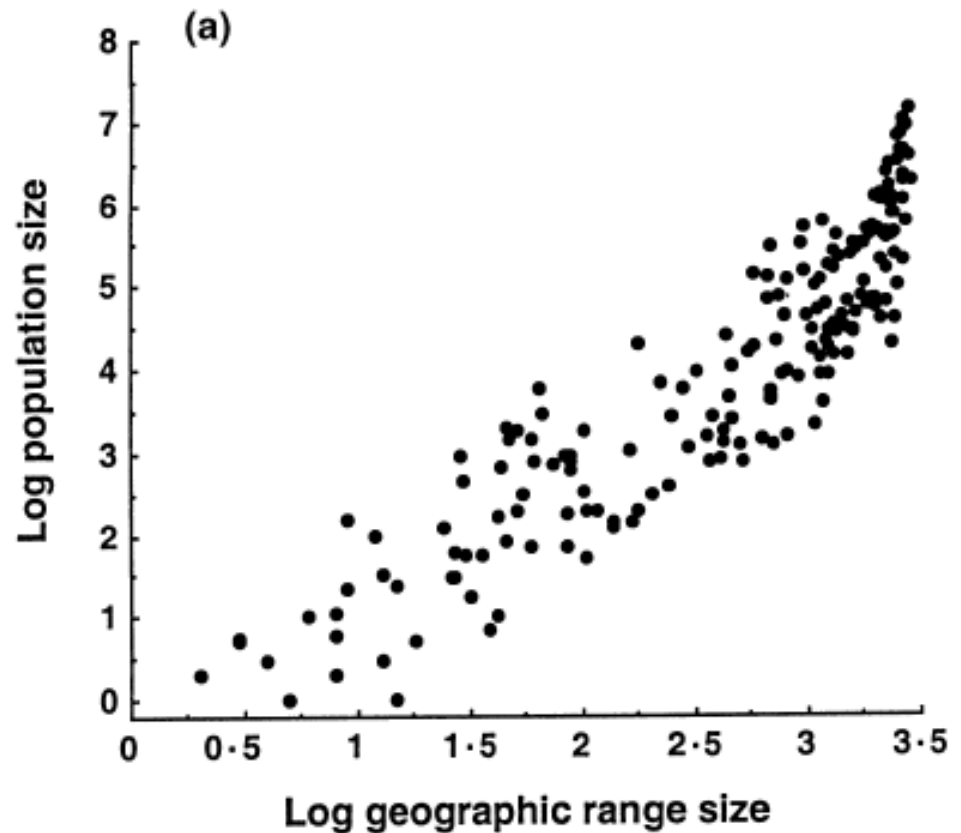
probabilidade de detecção menor que 1

Probabilidade de detecção condicionada à
probabilidade da presença da espécie em um
sítio

Modelos de ocorrência

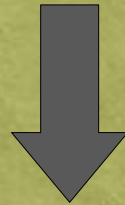
Relação entre abundância-ocupação

Quanto maior a abundância/densidade maior é a chance da espécie estar presente em um sítio (Gaston *et al.*, 2000)

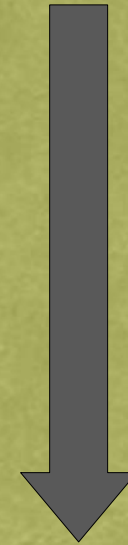


Modelos de ocorrência

“ K ” visitas a “ s ” sítios em uma estação



Unidades amostrais



Período fechado

Modelos de ocorrência

Modelo com uma estação

Mackenzie *et al.* (2002)

Parâmetros estimados:

Ψ = probabilidade da espécie estar presente em um sítio

p = probabilidade de detecção

Modelos de ocorrência

Histórico de detecções

0 – não detecção

1 – detecção

Sítio

Visitas

A

100101

B

011101

C

000100

D

100000

...

...

Modelos de ocorrência

Premissas

1) Ψ não muda com o tempo ou mudanças são aleatórias

*Período fechado é denominado de “estação”

Modelos de ocorrência

Premissas

2) Detecções são independentes

3) Probabilidade de detecção de um animal é constante entre sítios

4) Espécie não é detectada erroneamente quando ausente

Modelos de ocorrência

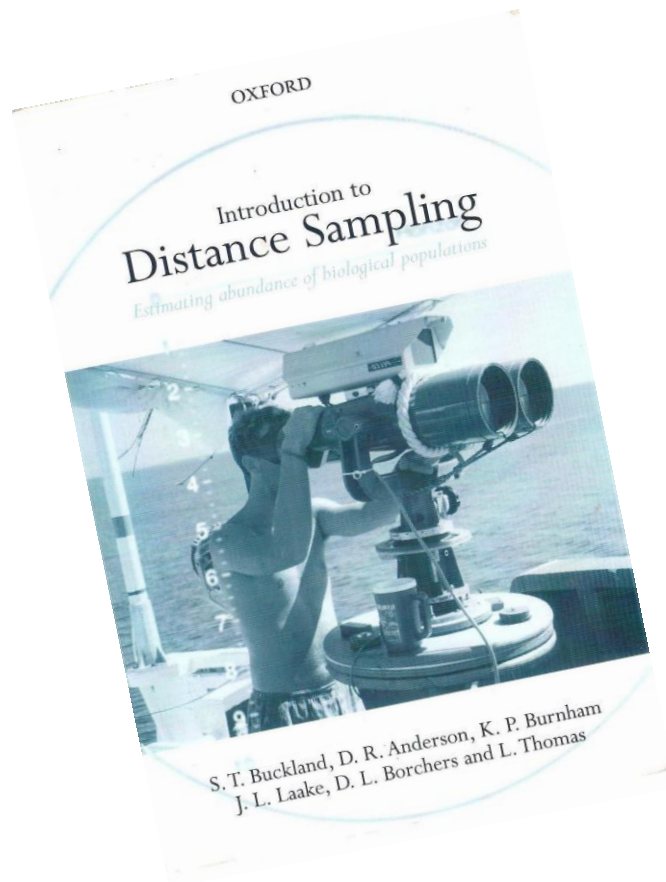
Softwares

- MARK
- Presence
- Pacote unmarked (R)

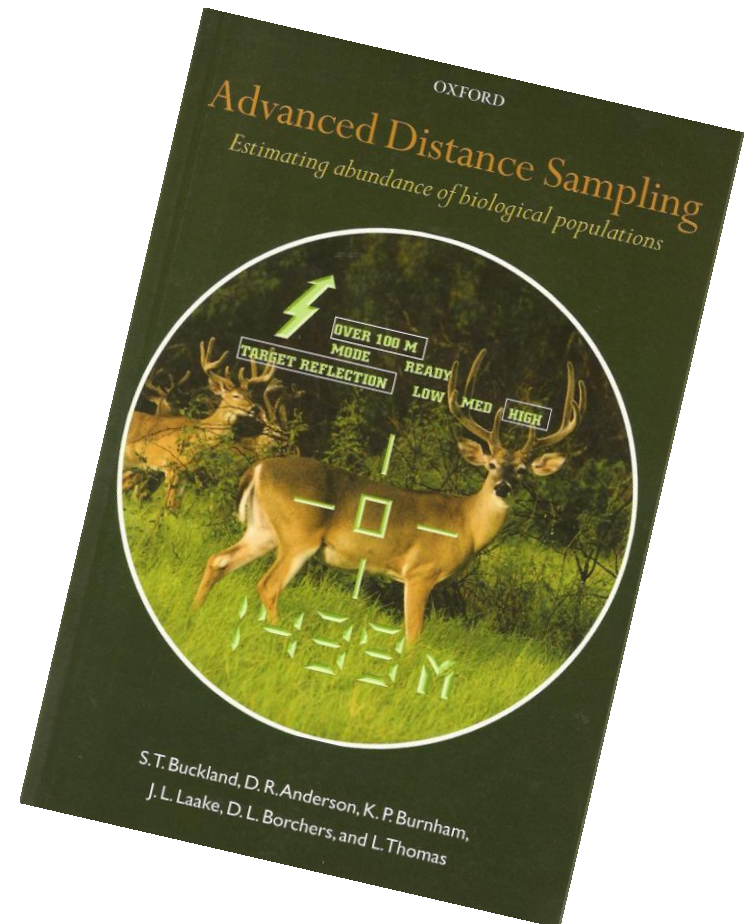
4. Como escolher o método?

- É possível identificar individualmente?
- É possível coletar as distâncias?
- Quais técnicas são utilizadas para a espécie?

Leituras recomendadas



Buckland *et al.* (2001)

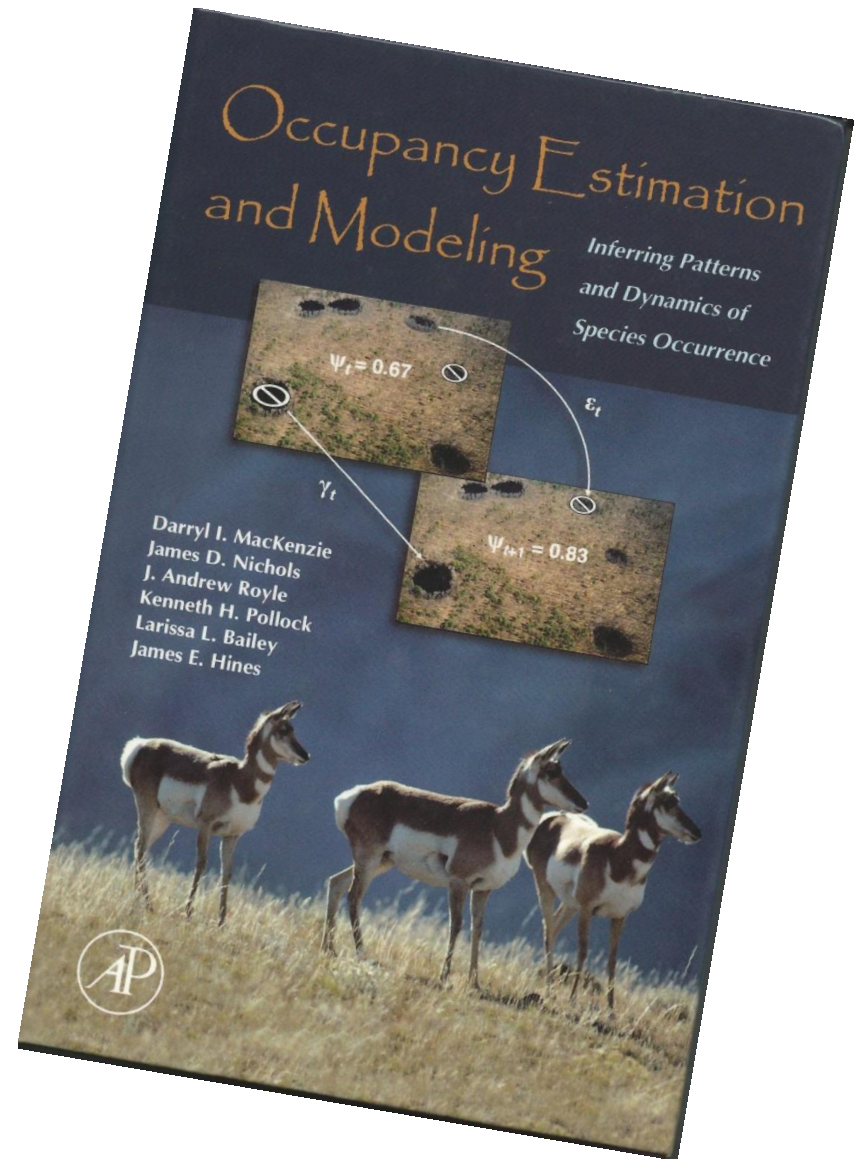


Buckland *et al.* (2004)

Amstrup *et al.* (2005) para uma revisão de métodos

Otis *et al.* (1978): texto clássico sobre estimação de populações através de modelos de população fechada

Cooch & White (2009): **capítulo 14** sobre modelos de população fechada



Mackenzie *et al.* (2006)