

# 8. Estimando a sobrevivência: Modelo de Cormack-Jolly-Seber



# Resumo

## 1. Cormack-Jolly-Seber

Parâmetros

Premissas

## 2. Testes GOF

Testes 2 e 3

## 3. Outros efeitos

Grupos

Coortes

Idade

# População aberta

Abundância muda com nascimentos, mortes, imigração e emigração

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

**Onde:**

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

# Histórico de capturas

1 para captura  
0 para não captura

	Occ 1	Occ 2	Occ 3	Occ 4
ID 1	1	0	1	1
ID 2	1	0	1	0
ID 3	0	1	0	1
ID 4	0	1	1	1
ID 5	0	0	1	0
ID 6	1	1	0	1
ID 7	1	0	1	0
ID 8	0	0	1	0
ID 9	1	1	0	0
ID 10	0	1	1	1
ID 11	0	1	0	1
ID 12	1	0	0	1
ID 13	1	1	0	0
ID 14	0	0	1	0
ID 15	1	1	1	0
ID 16	1	0	0	1

## Duas classes de modelo:

- **Condiciona**: modelo de Cormack-Jolly-Seber (sobrevivência)
  - Condiciona aos indivíduos marcados pela primeira vez em cada ocasião de captura
- **Incondiciona**: modelo de Jolly-Seber (sobrevivência, abundância, recrutamento e taxa de crescimento populacional)
  - Considera histórico inteiro, assumindo que marcados e não-marcados têm a mesma chance de serem capturados

# Modelo de Cormack-Jolly-Seber

(Cormack, 1964; Jolly, 1965; Seber, 1965)

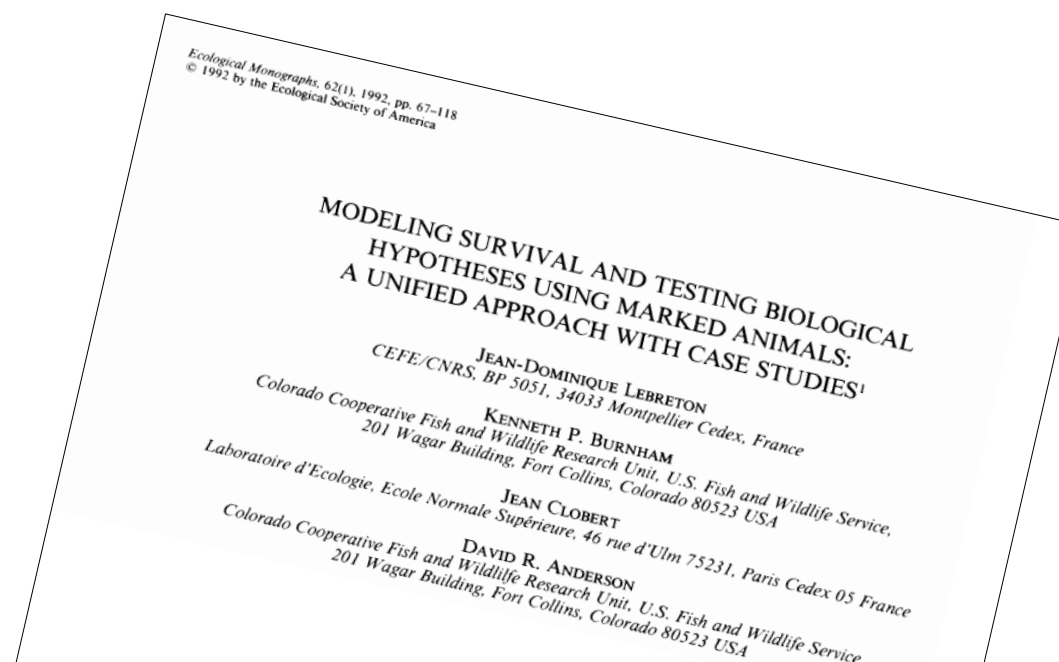
Dois parâmetros são estimados:

- probabilidade de **captura** ( $p$ )
  - probabilidade de um animal ser detectado
- probabilidade de **sobrevivência** ( $\phi$ ):
  - probabilidade de uma animal marcado no período  $j$  permanecer na população e sobreviva até o período  $j + 1$

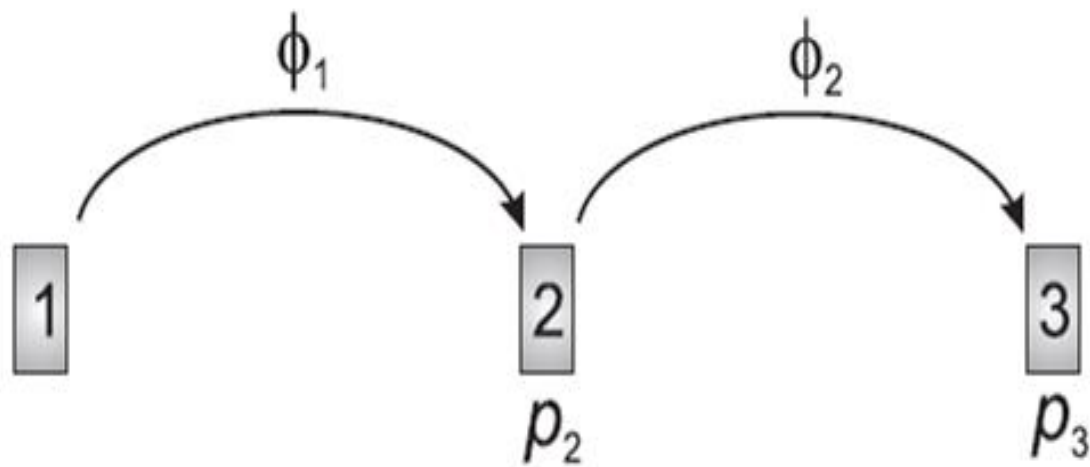
# Modelo de Cormack-Jolly-Seber

(Lebreton *et al.* 1992)

Apresentou uma abordagem unificada de modelagem que permite a inclusão de efeitos do tempo, idade e variáveis categóricas que caracterizam os indivíduos (grupos) quanto às suas probabilidade de captura e sobrevivência.



# Parâmetros CJS





# Sobrevivência aparente

Por quê aparente?

# Sobrevivência aparente

**Não é possível distinguir os processos morte e emigração**

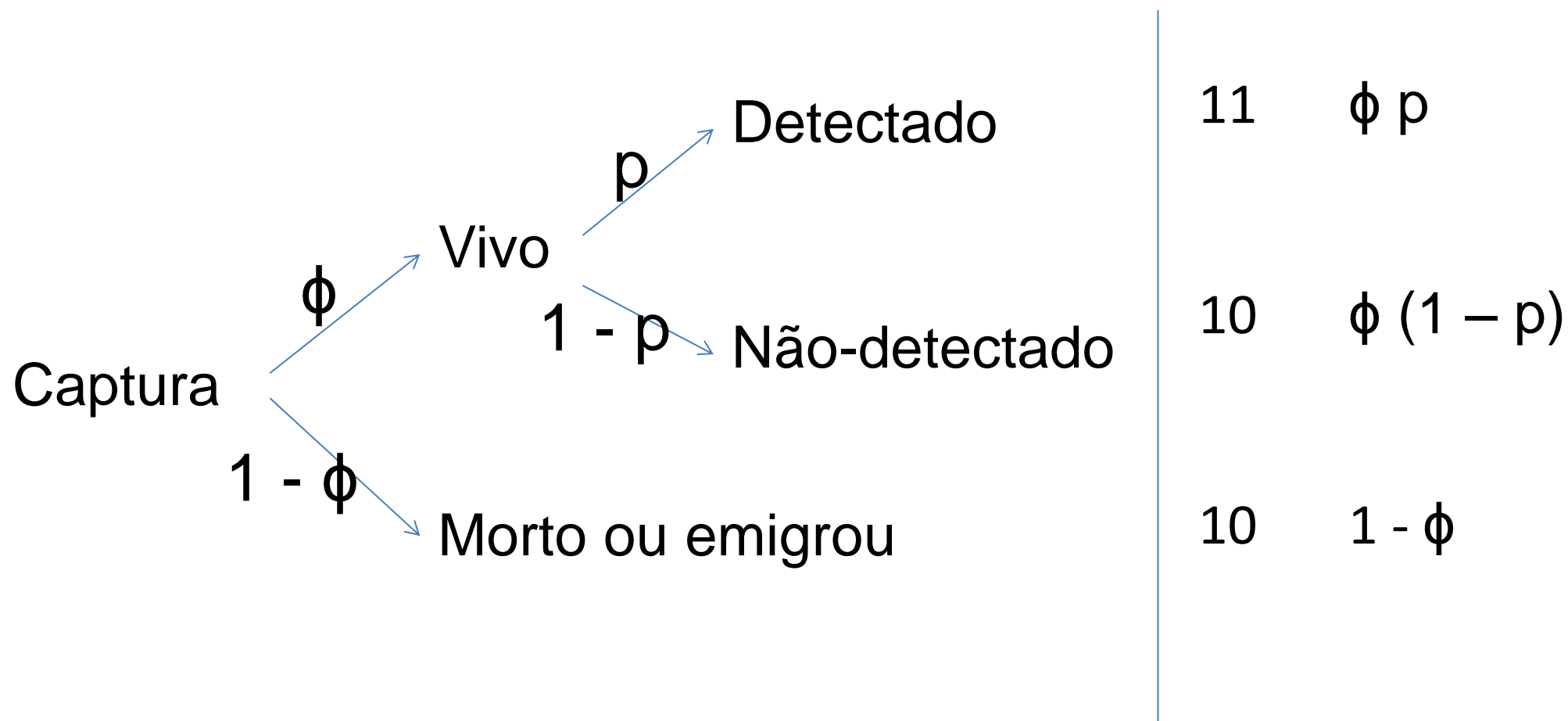
$$\phi = S (1 - E)$$

E = probabilidade de emigração

1-  $\phi$  representa indivíduos que morreram ou deixaram a população

Geralmente  $\phi < S$

# Probabilidade de ser detectado condicionada à probabilidade de estar vivo



1101

$$\phi_1 p_2 \phi_2 (1 - p_3) \phi_3 p_4$$

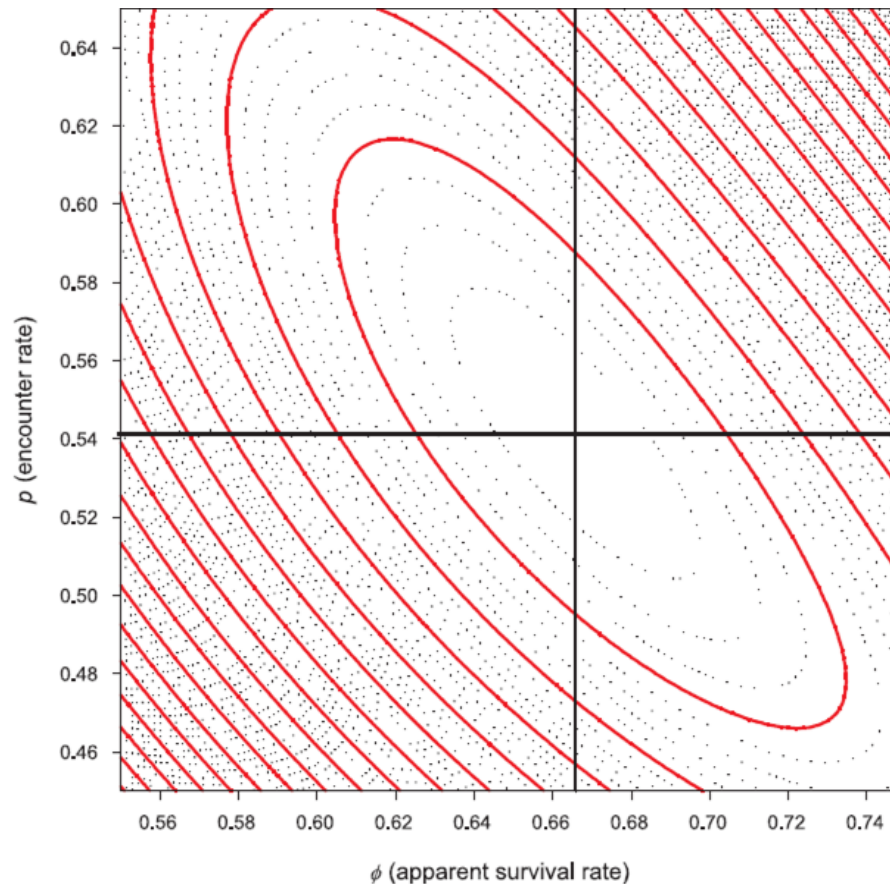
0101

$$\phi_2 (1 - p_3) \phi_3 p_4$$

1110

$$\phi_1 p_2 \phi_2 p_3 [\phi_3 (1 - p_4) + (1 - \phi_3)]$$

# Estimação dos parâmetros por máxima verossimilhança



# Duas perguntas fundamentais:

(1) Qual o melhor modelo?

(2) O modelo de ajustou bem aos dados?

# Premissas

- 1) Todo animal marcado em uma determinada ocasião de captura tem a mesma probabilidade de recaptura;**
- 2) Todo animal marcado tem a mesma probabilidade de sobreviver entre uma ocasião e a próxima;**
- 3) Marcas não se modificam ou se perdem;
- 4) Períodos amostrais são curtos e instantâneos, animais marcados são soltos imediatamente;
- 5) Toda emigração da área de estudo é permanente;
- 6) O destino de uma animal com relação à sua captura e sobrevivência independe dos destinos dos outros animais.

# Coorte\*

Grupo de animais capturados pela primeira vez em uma determinada ocasião.

Portanto, a coorte de cada animal é uma característica fixa do mesmo.

\* Diferente da coorte em termos demográficos.



# Matriz triangular reduzida (*m-array*)

Occasions	$R(i)$	$m(i, j)$							$r(i)$
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
2002	37	24	1	0	1	3	1	0	30
2003	31		10	10	4	2	0	0	26
2004	15			9	3	1	0	0	13
2005	34				10	7	1	2	20
2006	24					12	4	2	18
2007	40						12	10	22
2008	26							15	15

- $R(i)$  = número total de animais marcados na ocasião  $i$
- $r(i)$  = número de animais marcados na ocasião  $i$  recapturados em ocasiões subsequentes
- $m(i, j)$  = número de animais marcados na ocasião  $i$  e recapturados pela primeira vez na ocasião  $j$

# Verificando as premissas

Burnham *et al.* (1987: 65) descreve dois testes (2 e 3) de “bondade de ajuste” (*Goodness of fit* – GOF) baseados na distribuição Qui-quadrado, rodados no programa Release dentro do MARK.

- Teste 2 – testa homogeneidade de recapturas
- Teste 3 – testa homogeneidade de sobrevivência

## TESTE 2

### “teste de recapturas”

Computado a partir da matriz triangular, verifica se a probabilidade de um indivíduo ser capturado na ocasião  $(i + 1)$  é uma função do indivíduo ter sido capturado ou não na ocasião  $(i)$ , considerando que este indivíduo sobreviveu de  $(i)$  para  $(i + 1)$ .

## TESTE 2

$H_0$  : Parâmetros  $\phi$  e  $p$  são específicos de cada ocasião de captura.

$H_A$  : O modelo não se ajusta aos dados, por razões diversas (como comportamento ou reação à captura).

# TESTE 2

seen at ( $i$ )	when seen again?					
	( $i+1$ )	( $i+2$ )	( $i+3$ )	( $i+4$ )	...	( $i+5$ )
no	$f$	$f$	$f$	$f$	$f$	$f$
yes	$f$	$f$	$f$	$f$	$f$	$f$

Cooch & White (2010)

## TESTE 3

### “survival test”

Dos indivíduos capturados na ocasião ( $i$ ), verifica quantos foram capturados novamente e quando, e se isso depende de capturas prévias.

## TESTE 3

$H_0$  : Parâmetros  $\phi$  e  $p$  não dependem dos históricos de capturas de animais marcados em uma determinada ocasião.

$H_A$  : Alguns parâmetros são dependentes do histórico de capturas de animais marcados em um determinada ocasião.

# TESTE 3.SR

Verifica para cada ocasião de captura, se existe diferença entre os indivíduos marcados pela primeira vez na ocasião  $i$  ou marcados em ocasiões anteriores serem capturados nas ocasiões subsequentes ( $> i$ ).

seen before ( $i$ )	seen again	not seen again
yes	$f$	$f$
no	$f$	$f$

Cooch & White (2010)



# TESTE 3.Sm

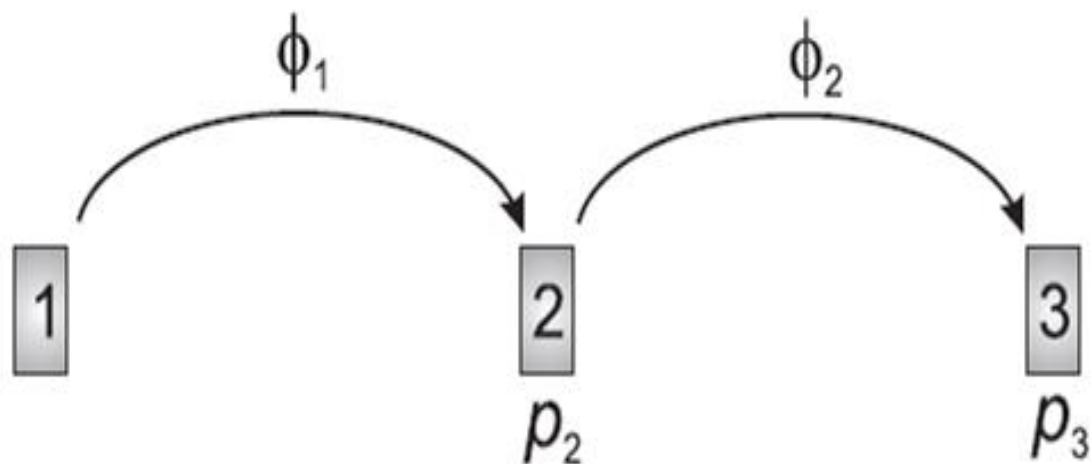
Verifica se daqueles animais capturados novamente, quando eles foram capturados depende se eles foram marcados na ocasião ( $i$ ) ou antes dela.

seen before ( $i$ )	when seen again?					
	( $i+1$ )	( $i+2$ )	( $i+3$ )	( $i+4$ )	...	( $i+5$ )
no	$f$	$f$	$f$	$f$	$f$	$f$
yes	$f$	$f$	$f$	$f$	$f$	$f$

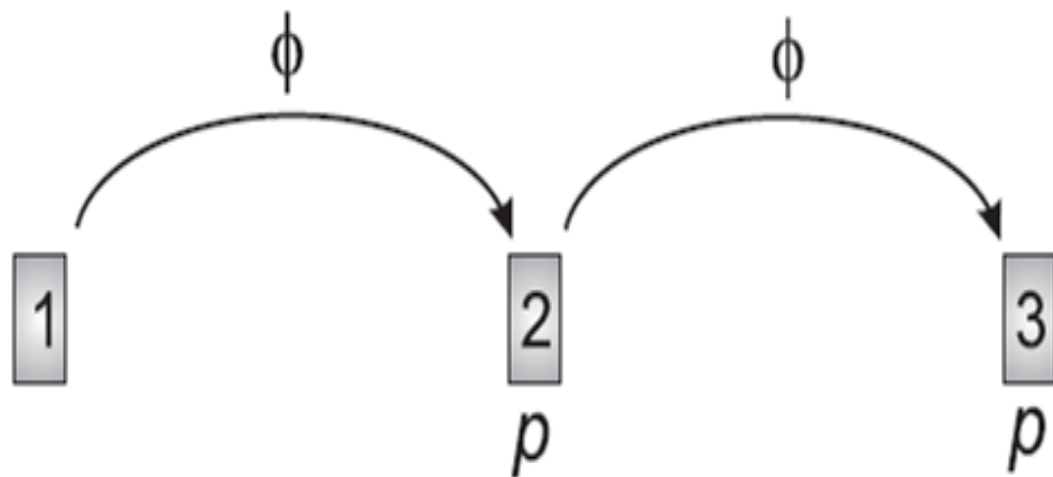
Cooch & White (2010)

# Construindo modelos

Variação temporal  
 $\phi(t)$   $p(t)$



Constante no tempo  
 $\phi(\cdot)$   $p(\cdot)$



# Identificabilidade de parâmetros

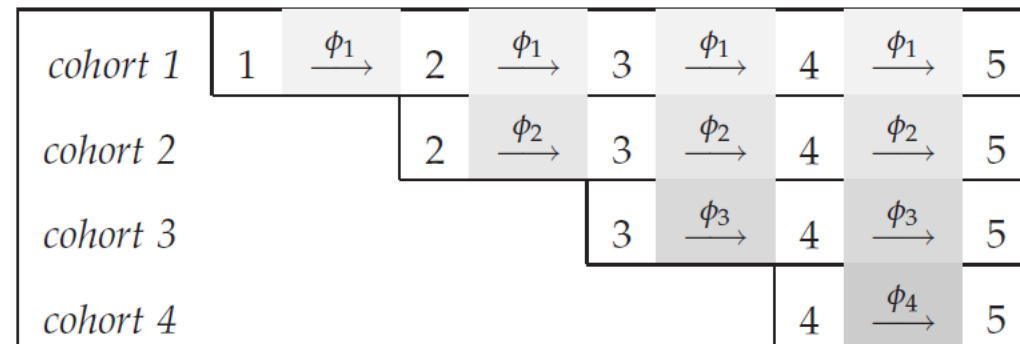
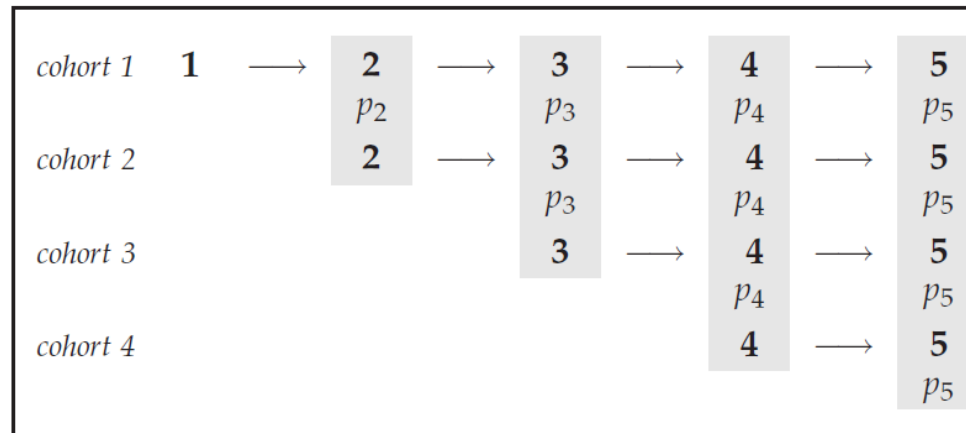
- Alguns parâmetros não são identificáveis ou são confundidos no modelo com probabilidades de captura e sobrevivência tempo-específicos:
  - Primeira probabilidade de captura
  - Última probabilidade de sobrevivência
  - Última probabilidade de captura

# Outros efeitos

- Efeitos de grupo
  - Sexo, colônias, etc...
- Efeito de coorte
- Efeito da idade

# PIM

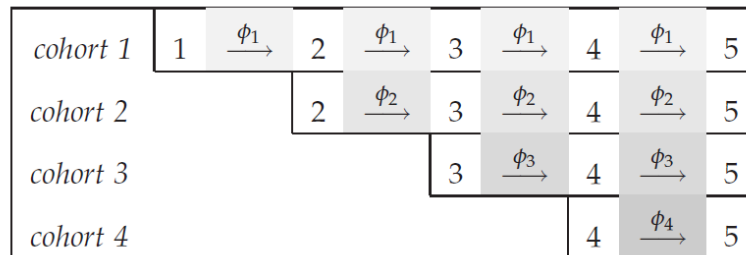
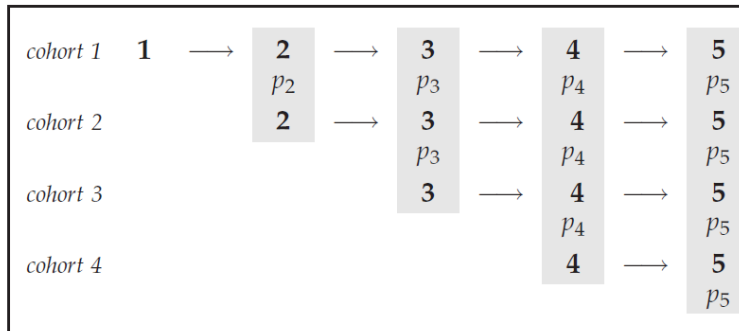
- Efeitos de grupo, coorte e idade podem ser facilmente determinados pela PIM



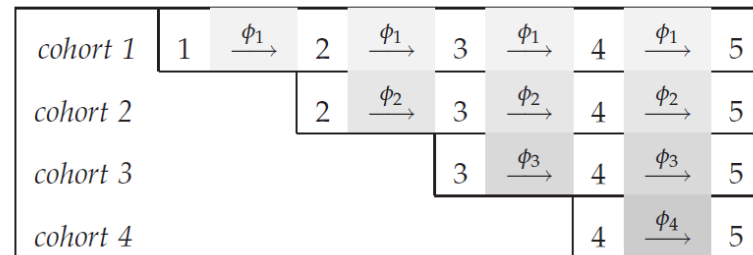
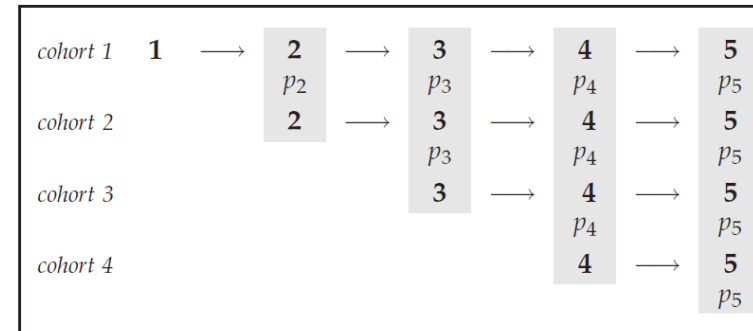
# Efeito de grupo

- Duas PIMs: parâmetros duplicados para cada grupo

## Grupo 1



## Grupo 2



# Efeito de coorte

- Grupo de indivíduos marcados pela primeira vez na mesma ocasião

PIM

1	1	1	1
	2	2	2
		3	3
			4

# Efeito de coorte \* tempo

PIM

1	2	3	4
	5	6	7
		8	9
			10



# Efeito da idade

- Primeira(s) diagonal(is) da PIM

1	2	2	2
	1	2	2
		1	2
			1

# Alguns softwares

**MARK**

**Pacotes R**

mra, marked e Rcapture

**Testes GOF**

U-CARE e RELEASE

# Leituras recomendadas

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

Cooch & White (2010): um guia completo sobre o **Mark** e seus modelos

# Leituras recomendadas

Lebreton et al. (1992): texto clássico e obrigatório sobre os **métodos modernos de estimar a sobrevivência.**