

# Modelos de marcação e recaptura: delineamento robusto

## Contents

Preparação . . . . .	1
Ajuste dos modelos . . . . .	1
Seleção de modelos . . . . .	4
Valores das estimativas . . . . .	4
Coda: refinando a seleção de modelos . . . . .	6
Para saber mais . . . . .	9

- 
- [Arquivo em pdf](#)
  - [Arquivo em markdown](#) (para executar os comandos no R studio)
- 

## Preparação

Vamos usar o *RMark*, que é um pacote do R para usar o programa [MARK](#). Siga as instruções do [site do RMark](#) para instalação.

Com o RMark instalado, abra o R e carregue-o:

```
library(RMark)
```

Usaremos dados de marcação e recaptura de albatrozes (*Phoebastria immutabilis*) no atol de Midway. Foi usado o [delineamento robusto de Pollock](#), com quatro ocasiões primárias com duas ocasiões secundárias cada. [Aqui](#) há mais informações sobre este caso de estudo.

Os dados estão no formato nativo do MARK (*.inp*). Use os comandos abaixo para importá-lo para o R:

```
## Link dos dados na página da disciplina
url <- "http://ecologia.ib.usp.br/bie5703/lib/exe/fetch.php?media=roteiros:albatroz.inp"
## Importa arquivo inp
## use.comments=TRUE usa os rótulos das linhas (id dos indivíduos)
alb.raw <- convert.inp(url, use.comments=TRUE)
```

## Ajuste dos modelos

### Processamento dos dados

O primeiro passo é usar a função `process.data` para criar um objeto com as informações que o Mark precisa para ajustar o modelo. Uma delas é o tipo de modelo, que é indicado no argumento `model`.

Vamos usar o modelo robusto para populações fechadas, cuja a sigla no RMark é “Robust” <sup>1</sup>.

Para esta classe de modelos indique os intervalos de tempo com um vetor em que os zeros indicam os momentos em que a população é considerada fechada. Os elementos diferentes de zero indicam a duração de cada intervalo. Neste exercício os intervalos entre as ocasiões são todos de um ano, com duas instâncias secundárias cada, o que representamos com um vetor de valores 1 e 0. Note que omitimos o último valor, que é sempre não zero, por definição.

```
## Vetor de intervalos (zero = fechamento)
ti <- c(0, 1, 0, 1, 0, 1, 0)
## Processa os dados
alb <- process.data(data=alb.raw, model="Robust", time.intervals=ti)
```

O objeto resultante é uma lista, na qual podemos conferir o número de ocasiões primárias e secundárias, por exemplo:

```
## N de ocasiões primárias
alb$noacc
```

```
## [1] 4
```

```
## N de ocasiões secundárias em cada primária
alb$noacc.secondary
```

```
## [1] 2 2 2 2
```

## Ajuste dos modelos

Para ajustar os modelos, crie listas que especificam a fórmula de cada termo. No modelo **Robust** os nomes parâmetros são:

- **S** : probabilidade de sobrevivência aparente entre capturas ( $S$ ),
- **p** : probabilidade de recaptura ( $c$ ),
- **GammaPrime** : probabilidade de permanecer não amostrável entre duas amostragens ( $\gamma'$ )
- **GammaDoublePrime** : probabilidade de tornar-se não amostrável entre duas amostragens (emigração temporária,  $\gamma''$ )
- **f0** : número de indivíduos que não foram registrados.

Quando processamos os dados o RMark já cria algumas covariáveis para cada tipo de modelo. No modelo robusto há uma covariável chamada **session**, com um nível para cada ocasião primária de captura, e outra chama **time**, com um nível para cada intervalo entre seções primárias <sup>2</sup>.

Podemos então criar objetos com as fórmulas para diferentes combinações dessas covariáveis. Algumas possibilidades:

---

<sup>1</sup>A lista de modelos implementados no RMark está no diretório onde o R instalou o pacote. Você pode consultá-lo lá ou no repositório de desenvolvimento do RMark: (<https://github.com/jlaake/RMark/blob/master/RMark/inst/MarkModels.pdf>).

<sup>2</sup>Para entender completamente isso estude o comando **make.design.data** e o objeto que ele cria, que é a uma lista de matrizes de delineamento do modelo. Se você entender este objeto saberá quais covariáveis estão disponíveis e como manipulá-las. Veja também o [apêndice sobre o RMark](#) no guia *online* do MARK.

```
## Fórmulas estatísticas para cada parâmetro do modelo
## formula para expressar um parâmetro constante
f.dot <- list(formula=~1)
## formula para expressar um parametro que varia em funcao das ocasiões primarias
f.occ <- list(formula=~1+session)
## formula para expressar um parametro que varia a cada ano
f.time <- list(formula=~1+time)
## formula para expressar os parâmetro fixos em zero
f.zero <- list(formula=~1, fixed=0)
```

Para indicar que dois parâmetros devem ser iguais, acrescente à lista `share=TRUE` <sup>3</sup>:

```
## Fórmulas estatísticas para parametros relacionados iguais
## (usa-se para fazer
## GammaPrime = GammaDoublePrime e c = p)
## formula para expressar dois parâmetros relacionados constantes
f.dot.s <- list(formula=~1, share=TRUE)
## formula para expressar que os parametros variam em funcao das ocasiões primarias
f.occ.s <- list(formula=~1+session, share=TRUE)
## formula para expressar parametros que variam a cada ano
f.time.s <- list(formula=~1+time, share=TRUE)
## formula para expressar parametros que variam entre ocasioes secundárias
## Para os parametros de captura/recaptura
f.time2.s <- list(formula=~1+session:time, share=TRUE)
```

E usamos a função `mark` para fazer os ajustes, usando os objetos com as fórmulas:

```
alb1 <- mark(alb, model.parameters=
  list(S=f.time, GammaDoublePrime=f.time, GammaPrime=f.time,
       p=f.time2.s, f0=f.occ))
```

```
##
## Note: only 17 parameters counted of 20 specified parameters
##
## AICc and parameter count have been adjusted upward
```

```
alb2 <- mark(alb, model.parameters=
  list(S=f.time, GammaDoublePrime=f.time.s,
       p=f.time2.s, f0=f.occ))
```

```
##
## Note: only 17 parameters counted of 18 specified parameters
##
## AICc and parameter count have been adjusted upward
```

---

<sup>3</sup>O RMark permite reduzir pares de alguns parâmetros a uma só estimativa. No caso do modelo robusto, pode-se substituir os parâmetros  $\gamma'$  e  $\gamma''$  por um só (*random emigration model*); e também substituir os parâmetros  $p$  e  $c$  por um único (modelo sem resposta comportamental à captura). Veja final da seção C.3 e exemplo na seção C.19 do apêndice sobre o RMark no guia *online* para mais detalhes.

```
alb3 <- mark(alb, model.parameters=
  list(S=f.time, GammaDoublePrime=f.dot, GammaPrime=f.dot,
    p=f.time2.s, f0=f.occ))
alb4 <- mark(alb, model.parameters=
  list(S=f.time, GammaDoublePrime=f.dot.s,
    p=f.time2.s, f0=f.occ))
```

```
##
## Note: only 14 parameters counted of 16 specified parameters
##
## AICc and parameter count have been adjusted upward
```

```
alb5 <- mark(alb, model.parameters=
  list(S=f.time, GammaDoublePrime=f.zero, GammaPrime=f.zero,
    p=f.time2.s, f0=f.occ))
```

## Seleção de modelos

A função abaixo retorna a tabela de seleção de modelos:

```
collect.models(lx=c("alb1", "alb2", "alb3", "alb4", "alb5"))
```

```
##
## 3          S(~-1 + time)Gamma'(~1)Gamma'(~1)p(~-1 + session:time)c()f0(~-1 + session)      model
## 4          S(~-1 + time)Gamma'(~1)Gamma'(~1)p(~-1 + session:time)c()f0(~-1 + session)
## 2          S(~-1 + time)Gamma'(~-1 + time)Gamma'(~1)p(~-1 + session:time)c()f0(~-1 + session)
## 1 S(~-1 + time)Gamma'(~-1 + time)Gamma'(~-1 + time)p(~-1 + session:time)c()f0(~-1 + session)
## 5          S(~-1 + time)Gamma'(~1)Gamma'(~1)p(~-1 + session:time)c()f0(~-1 + session)
##   npar      AICc  DeltaAICc      weight  Deviance
## 3   17 -103394.1    0.00000 9.999996e-01 -10978.60
## 4   16 -103363.6   30.44502 2.448768e-07 -10946.16
## 2   18 -103363.0   31.03527 1.822955e-07 -10949.57
## 1   20 -103312.9   81.14670 0.000000e+00 -10903.47
## 5   15 -102135.0 1259.01033 0.000000e+00  -9715.58
```

## Valores das estimativas

Os objetos dos modelos ajustados são uma lista com todo o output do Mark. Esta lista tem um elemento `results`, com os valores dos coeficientes e muito mais <sup>4</sup>:

```
names(alb3$results)
```

```
## [1] "lnl"          "deviance"      "deviance.df"
## [4] "npar"         "n"            "AICc"
## [7] "beta"        "real"         "beta.vcv"
## [10] "derived"     "derived.vcv"  "covariate.values"
## [13] "singular"    "real.vcv"
```

<sup>4</sup>Consulte o [apêndice sobre o RMark](#) no guia *online* do MARK.

Os coeficientes na escala da função de ligação estão no dataframe `beta` desta lista. Verifique estes valores para o modelo selecionado:

```
alb3$results$beta
```

##	estimate	se	lcl	ucl
## S:time1	2.7013458	0.1430052	2.4210556	2.9816361
## S:time2	3.0507203	0.3158011	2.4317502	3.6696904
## S:time3	5.1544698	4.3401584	-3.3522408	13.6611800
## GammaDoublePrime:(Intercept)	-0.6237983	0.0384603	-0.6991806	-0.5484160
## GammaPrime:(Intercept)	-1.4274799	0.1773261	-1.7750391	-1.0799206
## p:session1:time1	1.5319565	0.0820832	1.3710734	1.6928395
## p:session2:time1	2.1758754	0.0929145	1.9937629	2.3579878
## p:session3:time1	1.6228624	0.0714034	1.4829118	1.7628130
## p:session4:time1	0.6567590	0.0636100	0.5320833	0.7814346
## p:session1:time2	-0.2980577	0.0456685	-0.3875680	-0.2085474
## p:session2:time2	-0.1161145	0.0409353	-0.1963477	-0.0358814
## p:session3:time2	-0.1888284	0.0401246	-0.2674726	-0.1101842
## p:session4:time2	-0.6902743	0.0455370	-0.7795268	-0.6010217
## f0:session1	5.4922235	0.1085583	5.2794494	5.7049977
## f0:session2	4.9625973	0.1284606	4.7108145	5.2143800
## f0:session3	5.5807809	0.0979323	5.3888337	5.7727282
## f0:session4	6.6183224	0.0779861	6.4654696	6.7711752

Os coeficientes na escala original de probabilidades estão no dataframe `real`

```
alb3$results$real
```

##	estimate	se	lcl	ucl
## S g1 c1 c1 a0 t1	0.9371060	0.0084285	0.9184189	0.9517376
## S g1 c1 c1 a1 t2	0.9548136	0.0136251	0.9192166	0.9751490
## S g1 c1 c1 a2 t3	0.9942596	0.0247712	0.0338219	0.9999988
## Gamma'' g1 c1 c1 a0 t1	0.3489181	0.0087372	0.3319939	0.3662320
## Gamma' g1 c1 c1 a1 t2	0.1934917	0.0276722	0.1449168	0.2535210
## p g1 s1 t1	0.8222924	0.0119946	0.7975535	0.8445972
## p g1 s1 t2	0.4260324	0.0111673	0.4043029	0.4480513
## p g1 s2 t1	0.8980621	0.0085060	0.8801407	0.9135671
## p g1 s2 t2	0.4710039	0.0101994	0.4510702	0.4910306
## p g1 s3 t1	0.8351895	0.0098285	0.8150120	0.8535616
## p g1 s3 t2	0.4529327	0.0099423	0.4335277	0.4724818
## p g1 s4 t1	0.6585320	0.0143038	0.6299689	0.6859892
## p g1 s4 t2	0.3339721	0.0101290	0.3144219	0.3541100
## f0 g1 a0 s1 t0	242.7964800	26.3575620	196.3840700	300.1777600
## f0 g1 a0 s2 t0	142.9646400	18.3653210	111.2571400	183.7085400
## f0 g1 a0 s3 t0	265.2786900	25.9793430	219.0481500	321.2662800
## f0 g1 a0 s4 t0	748.6880200	58.3872770	642.7148800	872.1343900
##	fixed	note		
## S g1 c1 c1 a0 t1				
## S g1 c1 c1 a1 t2				
## S g1 c1 c1 a2 t3				
## Gamma'' g1 c1 c1 a0 t1				
## Gamma' g1 c1 c1 a1 t2				
## p g1 s1 t1				

```
## p g1 s1 t2
## p g1 s2 t1
## p g1 s2 t2
## p g1 s3 t1
## p g1 s3 t2
## p g1 s4 t1
## p g1 s4 t2
## f0 g1 a0 s1 t0
## f0 g1 a0 s2 t0
## f0 g1 a0 s3 t0
## f0 g1 a0 s4 t0
```

E os tamanhos populacionais a cada ocasião (um parâmetro derivado) estão no dataframe `derived`:

```
alb3$results$derived
```

```
##      estimate      se      lcl      ucl
## 1 2384.796 26.35756 2338.384 2442.178
## 2 2659.965 18.36532 2628.257 2700.709
## 3 2947.279 25.97934 2901.048 3003.266
## 4 3293.688 58.38728 3187.715 3417.134
```

## Coda: refinando a seleção de modelos

As probabilidades de sobrevivência por ocasião estimadas pelo modelo selecionado são muito parecidas. Isso sugere que este parâmetro não varie entre ocasiões. Vamos incluir modelos com  $S$  constante em nossa seleção para verificar:

```
alb6 <- mark(alb, model.parameters=
  list(S=f.dot, GammaDoublePrime=f.time, GammaPrime=f.time,
    p=f.time2.s, f0=f.occ))
alb7 <- mark(alb, model.parameters=
  list(S=f.dot, GammaDoublePrime=f.time.s,
    p=f.time2.s, f0=f.occ))
alb8 <- mark(alb, model.parameters=
  list(S=f.dot, GammaDoublePrime=f.dot, GammaPrime=f.dot,
    p=f.time2.s, f0=f.occ))
alb9 <- mark(alb, model.parameters=
  list(S=f.dot, GammaDoublePrime=f.dot.s,
    p=f.time2.s, f0=f.occ))
alb10 <- mark(alb, model.parameters=
  list(S=f.dot, GammaDoublePrime=f.zero, GammaPrime=f.zero,
    p=f.time2.s, f0=f.occ))
```

E repetimos a seleção de modelos:

```
collect.models(lx=c("alb1", "alb2", "alb3", "alb4", "alb5",
  "alb6", "alb7", "alb8", "alb9", "alb10"))
```

```
##                                                                 model
## 3      S(~-1 + time)Gamma'(~1)Gamma'(~1)p(~-1 + session:time)c()f0(~-1 + session)
```

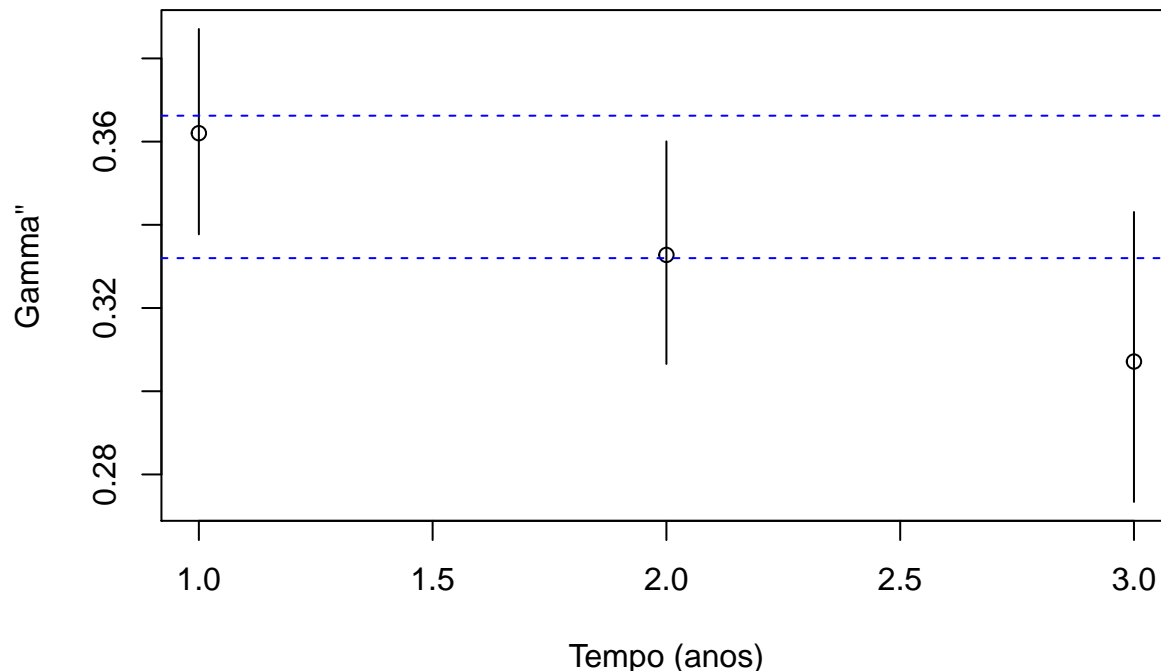
```
## 6      S(~1)Gamma'(~-1 + time)Gamma'(~-1 + time)p(~-1 + session:time)c()f0(~-1 + session)
## 8      S(~1)Gamma'(~1)Gamma'(~1)p(~-1 + session:time)c()f0(~-1 + session)
## 4      S(~-1 + time)Gamma'(~1)Gamma'(~1)p(~-1 + session:time)c()f0(~-1 + session)
## 2      S(~-1 + time)Gamma'(~-1 + time)Gamma'(~1)p(~-1 + session:time)c()f0(~-1 + session)
## 7      S(~1)Gamma'(~-1 + time)Gamma'(~1)p(~-1 + session:time)c()f0(~-1 + session)
## 9      S(~1)Gamma'(~1)Gamma'(~1)p(~-1 + session:time)c()f0(~-1 + session)
## 1 S(~-1 + time)Gamma'(~-1 + time)Gamma'(~-1 + time)p(~-1 + session:time)c()f0(~-1 + session)
## 5      S(~-1 + time)Gamma'(~1)Gamma'(~1)p(~-1 + session:time)c()f0(~-1 + session)
## 10     S(~1)Gamma'(~1)Gamma'(~1)p(~-1 + session:time)c()f0(~-1 + session)
##      npar      AICc    DeltaAICc      weight  Deviance
## 3      17 -103394.1      0.000000 4.690098e-01 -10978.60
## 6      18 -103393.7      0.315273 4.006095e-01 -10980.29
## 8      15 -103391.5      2.560334 1.303804e-01 -10972.03
## 4      16 -103363.6     30.445021 1.148497e-07 -10946.16
## 2      18 -103363.0     31.035273 8.549841e-08 -10949.57
## 7      16 -103362.1     31.945021 5.425114e-08 -10944.65
## 9      14 -103353.6     40.415942 7.851844e-10 -10932.17
## 1      20 -103312.9     81.146700 0.000000e+00 -10903.47
## 5      15 -102135.0    1259.010334 0.000000e+00 -9715.58
## 10     13 -102033.3    1360.751842 0.000000e+00 -9609.83
```

E agora temos o empate com um modelo com  $S$  constante mas parâmetros de migração variando com o tempo.

Será que os dois modelos plausíveis dão estimativas similares dos parâmetros de interesse? Vamos verificar.

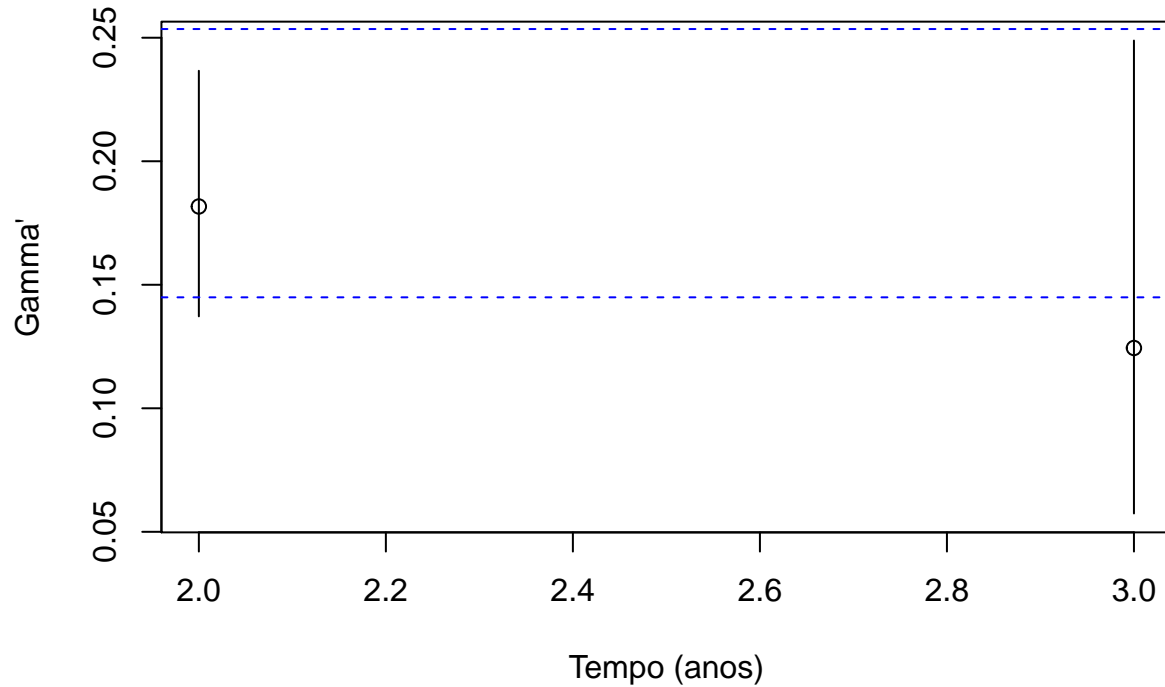
O gráfico a seguir mostra os intervalos de confiança dos valores de  $\gamma''$  estimados para cada tempo pelo modelo 6 (barras pretas) e o intervalo de confiança da estimativa de  $\gamma''$  constante pelo modelo 3 (linhas azuis):

```
plot(1:3, alb6$results$real[2:4,1], xlab="Tempo (anos)", ylab="Gamma'",
     ylim=range(alb6$results$real[2:4,3:4]))
segments(x0=1:3, y0=alb6$results$real[2:4,3], x1=1:3, y1=alb6$results$real[2:4,4])
abline(h=alb3$results$real[4,3:4], lty=2, col="blue")
```



A mesma comparação para o parâmetro  $\gamma'$ :

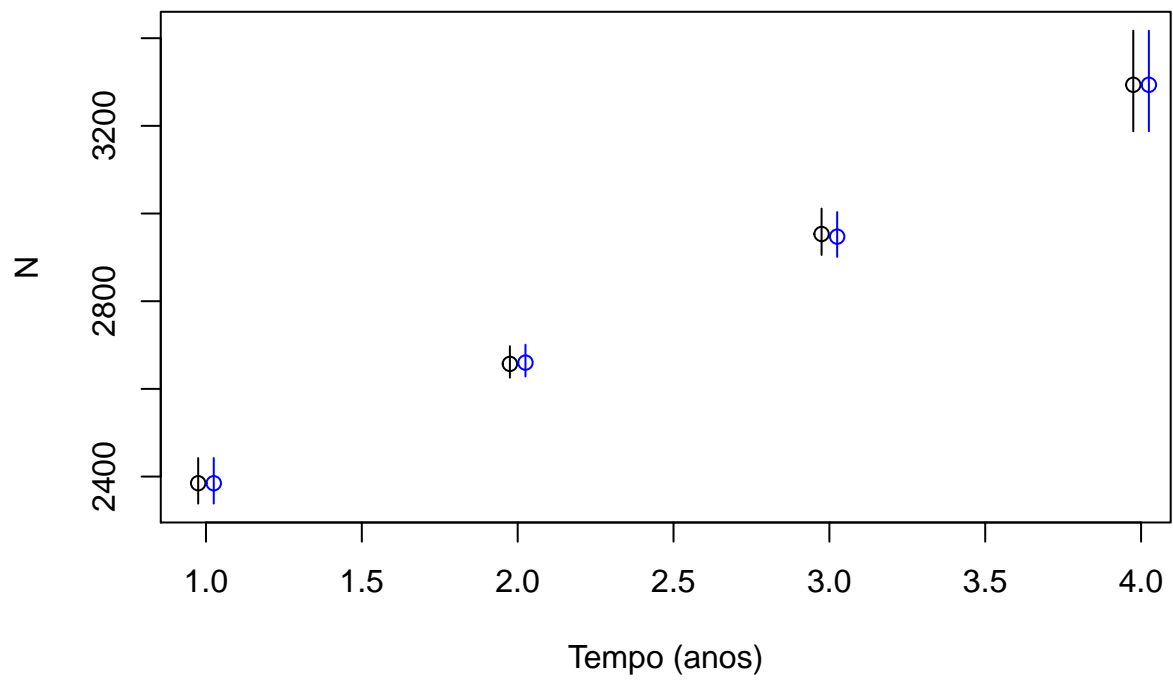
```
plot(2:3, alb6$results$real[5:6,1], xlab="Tempo (anos)", ylab="Gamma'",
     ylim=range(alb6$results$real[5:6,3:4]))
segments(x0=2:3, y0=alb6$results$real[5:6,3], x1=2:3, y1=alb6$results$real[5:6,4])
abline(h=alb3$results$real[5,3:4], lty=2, col="blue")
```



E por fim comparamos as estimativas dos tamanhos populacionais

```
tempo <- (1:4) -0.025
plot(tempo, alb6$results$derived[,1], xlab="Tempo (anos)", ylab="N",
     ylim=range(alb6$results$derived[,3:4]))
segments(x0=tempo, y0=alb6$results$derived[,3], x1=tempo, y1=alb6$results$derived[,4])
tempo <- tempo + 0.05
points(tempo, alb3$results$derived[,1], col="blue")
segments(x0=tempo, y0=alb3$results$derived[,3], x1=tempo, y1=alb3$results$derived[,4], col="blue")
```





#### Para saber mais

- Para outro exemplo de ajuste do modelo robusto e outras funções úteis do RMark digite `?robust`
- Veja também o pacote Rcapture