
Virtual Population Analysis *(VPA)*

Uma introdução

Métodos baseados em capturas-por-idade

(catch-at-age methods)

Principais métodos usados pelas comissões internacionais desde 1990

O termo refere-se a um conjunto de métodos que têm em comum dependerem da estrutura demográfica das capturas

Dois grandes grupos:

1. **Análise de populações virtuais (VPA)**

- sinónimos: “Análise sequencial de populações”
“Análise de coortes”

Virtual population analysis
Sequential population analysis
Cohorte analysis

2. **Métodos estatísticos de capturas por idade**

- sinónimo: “Análise integrada”

Statistical catch-at-age methods
Integrated analysis

Ideia central

População



Conhecimento da exploração

Modelos de dinâmica populacional

exploração



capturas

Abundância
Estrutura demográfica
Características biológicas

VPA: os dados necessários I

Capturas por idade e por ano $\mathbf{C} = [C_{x,t}]$

Idades	Anos					
	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0	$C_{0,90}$	$C_{0,91}$	$C_{0,92}$	$C_{0,93}$	$C_{0,94}$	$C_{0,95}$
1	$C_{1,90}$	$C_{1,91}$	$C_{1,92}$	$C_{1,93}$	$C_{1,94}$	$C_{1,95}$
2	$C_{2,90}$	$C_{2,91}$	$C_{2,92}$	$C_{2,93}$	$C_{2,94}$	$C_{2,95}$
3	$C_{3,90}$	$C_{3,91}$	$C_{3,92}$	$C_{3,93}$	$C_{3,94}$	$C_{3,95}$
4	$C_{4,90}$	$C_{4,91}$	$C_{4,92}$	$C_{4,93}$	$C_{4,94}$	$C_{4,95}$

Origem da matriz C



Capturas totais

Idades	Anos					
	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0	$C_{0,90}$	$C_{0,91}$	$C_{0,92}$	$C_{0,93}$	$C_{0,94}$	$C_{0,95}$
1	$C_{1,90}$	$C_{1,91}$	$C_{1,92}$	$C_{1,93}$	$C_{1,94}$	$C_{1,95}$
2	$C_{2,90}$	$C_{2,91}$	$C_{2,92}$	$C_{2,93}$	$C_{2,94}$	$C_{2,95}$
3	$C_{3,90}$	$C_{3,91}$	$C_{3,92}$	$C_{3,93}$	$C_{3,94}$	$C_{3,95}$
4	$C_{4,90}$	$C_{4,91}$	$C_{4,92}$	$C_{4,93}$	$C_{4,94}$	$C_{4,95}$

Distribuição de comprimentos
Chave comprimento-idade
Decomposição das capturas em idades



Amostras
representativas

VPA: os dados necessários II

Taxa instantânea de mortalidade natural $\mathbf{M} = [M_x]$

Frequentemente: M_1 para pré-maduros
 M_2 para adultos

Valores típicos: 0.6-0.8 em espécies de vida curta (sardinha,
anchoveta ...)
0.2-0.4 em gadóides de vida longa, tunídeos

VPA: os dados necessários III

Outros dados, úteis mas não imprescindíveis

Indicadores anuais da abundância da população

- de cruzeiros científicos
- cpue

Esforço de pesca anual (f)

Curva de selectividade

Permitem “sintonizar” a análise

O problema central da VPA

Para cada coorte conhece-se:

$$[C_0 C_1 C_2 C_3 \dots] \quad [M_0 M_1 M_2 M_3 \dots]$$

pretende-se conhecer,

$$[N_0 N_1 N_2 N_3 \dots] \quad [F_0 F_1 F_2 F_3 \dots]$$

quando aplicado a todas as coortes: **N, F**

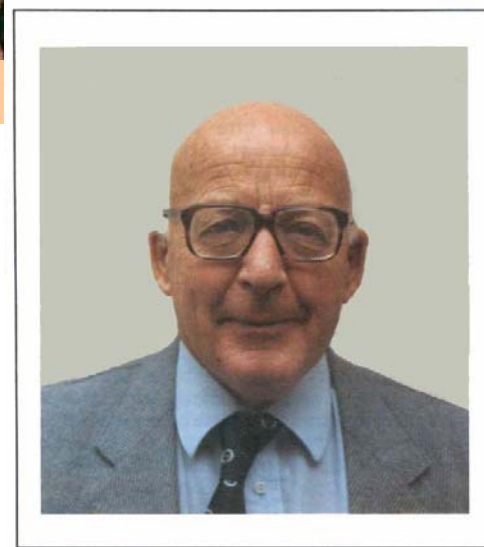
informação adicional produzida:

coeficientes de capturabilidade, q_x
biomassa por idade (a partir de w_x)
biomassa desovante

VPA : o método de Gulland (1965)



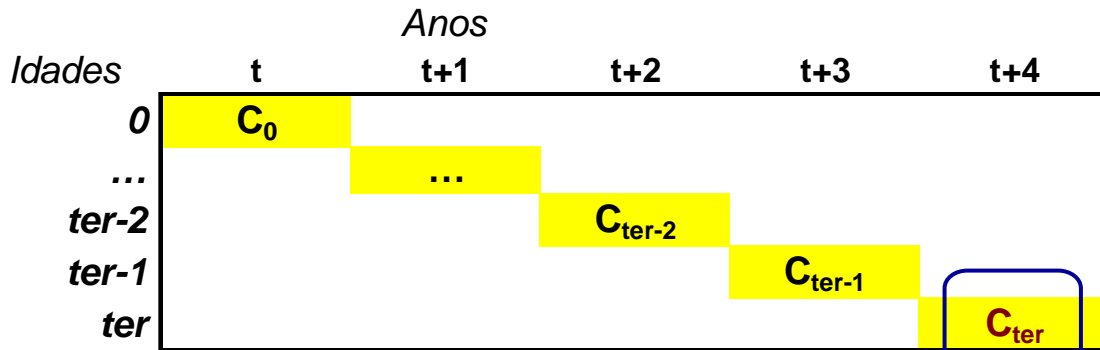
Lowestoft laboratory, UK



John Gulland 1926-1990

- 1 - Iniciar os cálculos na idade mais velha da coorte
- 2 – Resolver a equação de capturas iterativamente
- 3 – Prosseguir retro-calculando para as idades progressivamente mais jovens

Idade terminal

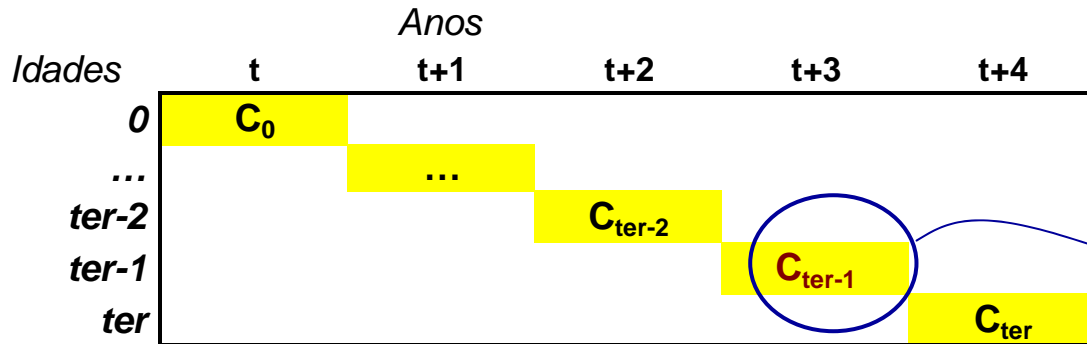


$$C_{ter} = \frac{F_{ter}}{F_{ter} + M_{ter}} N_{ter} \left(1 - e^{-(F_{ter} + M_{ter})}\right)$$

Avançando um valor para F_{ter} , estima-se N_{ter} :

$$N_{ter} = \frac{C_{ter}}{F_{ter}} \left(\frac{Z_{ter}}{1 - e^{-Z_{ter}}} \right)$$

Cálculo para a idade anterior



$$N_{ter} = N_x e^{-(F_x + M_x)}$$

$$F_x = -\text{Ln}\left(\frac{N_{ter}}{N_x}\right) - M_x$$

$$C_x = \frac{F_x}{F_x + M_x} (N_x - N_{ter})$$

Eq de capturas

$$C_x = \frac{-\text{Ln}(N_{ter}/N_x) - M_x}{-\text{Ln}(N_{ter}/N_x) - M_x + M_x} (N_x - N_{ter})$$

Resolução da eq capturas para a idade x

$$C_x = \frac{-\text{Ln}(N_{ter}/N_x) - M_x}{-\text{Ln}(N_{ter}/N_x) - \cancel{M_x} + \cancel{M_x}} (N_x - N_{ter})$$

$$C_x = \left(1 - \frac{M_x}{\text{Ln } N_x - \text{Ln } N_{ter}} \right) (N_x - N_{ter})$$

$$F_x = -\text{Ln} \left(\frac{N_{ter}}{N_x} \right) - M_x$$

Resolução por,

-Métodos iterativos

-Métodos aproximativos

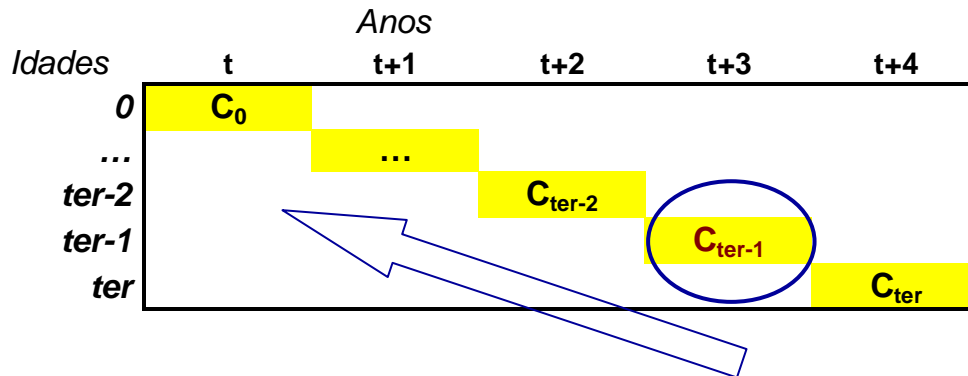
método de Pope

método de MacCall

Resultado para a idade $ter-1$:

N_x F_x

Resultados para a idade x



Retrocálculo

para todas as idades

$$N_x \quad F_x$$

Uma vez que,

$$F_x = q_x f s_x$$

se f for conhecido,

$$q_x = F_x / f$$

Dois problemas

Idades	Anos					
	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0	$C_{0,90}$	$C_{0,91}$				
1	$C_{1,90}$	$C_{1,91}$	$C_{1,92}$			
2	$C_{2,90}$	$C_{2,91}$	$C_{2,92}$	$C_{2,93}$		
3	$C_{3,90}$	$C_{3,91}$	$C_{3,92}$	$C_{3,93}$	$C_{3,94}$	
4	$C_{4,90}$	$C_{4,91}$	$C_{4,92}$	$C_{4,93}$	$C_{4,94}$	$C_{4,95}$

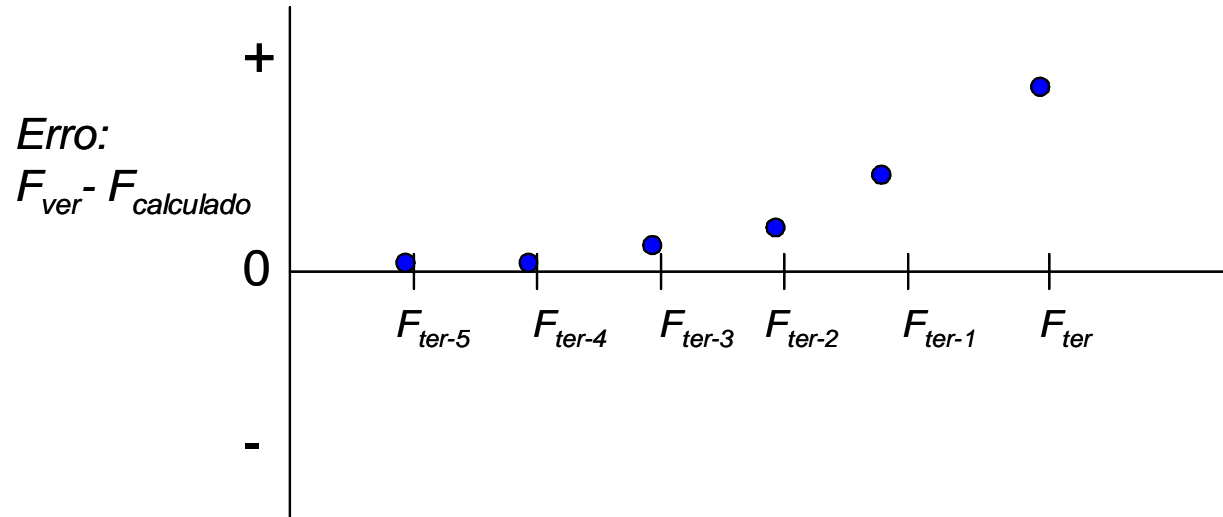
Aplicação do método às coortes completas

Consequências de atribuir F_{ter} arbitrário à última idade ?

Como lidar com o último ano ?

Idades	Anos					
	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0						Ultimo ano todas as idades
1						
2						
3						Ultima idade, todos os anos
4						

Propriedade de convergência da VPA



O erro em F_x e N_x é sempre do mesmo sinal.

A diminuição do erro desde x -ter, é função de F -cumulado.
Na idade x , o erro é tanto menor quanto maior **F -cum até x**

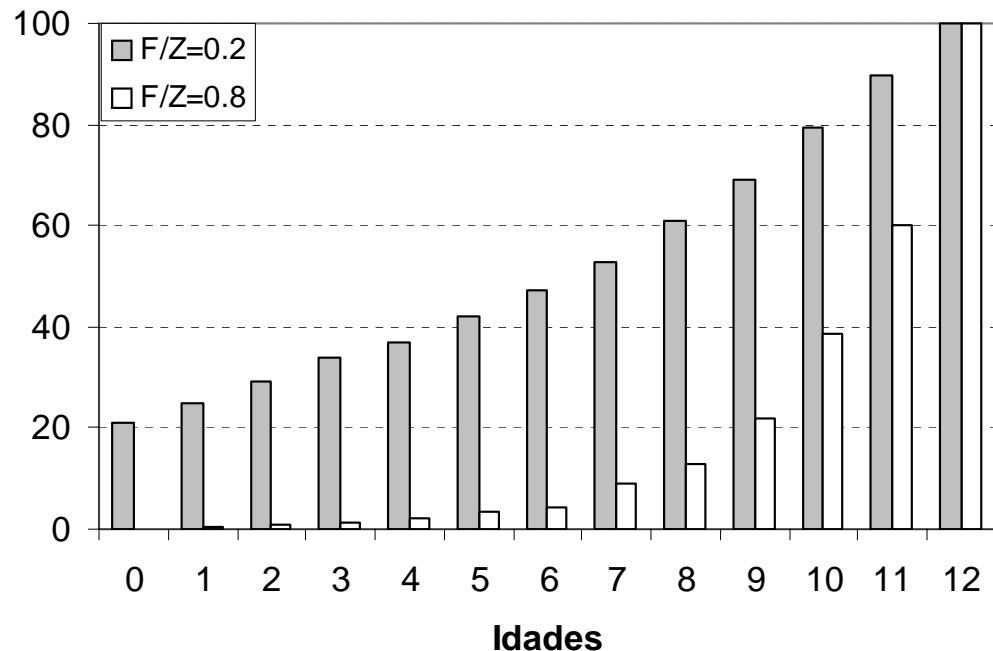
$$\mathbf{F\text{-cum até } x} = F_{ter} + F_{ter-1} + F_{ter-2} + \dots + F_x$$

Muito eficaz para stocks pesadamente explorados

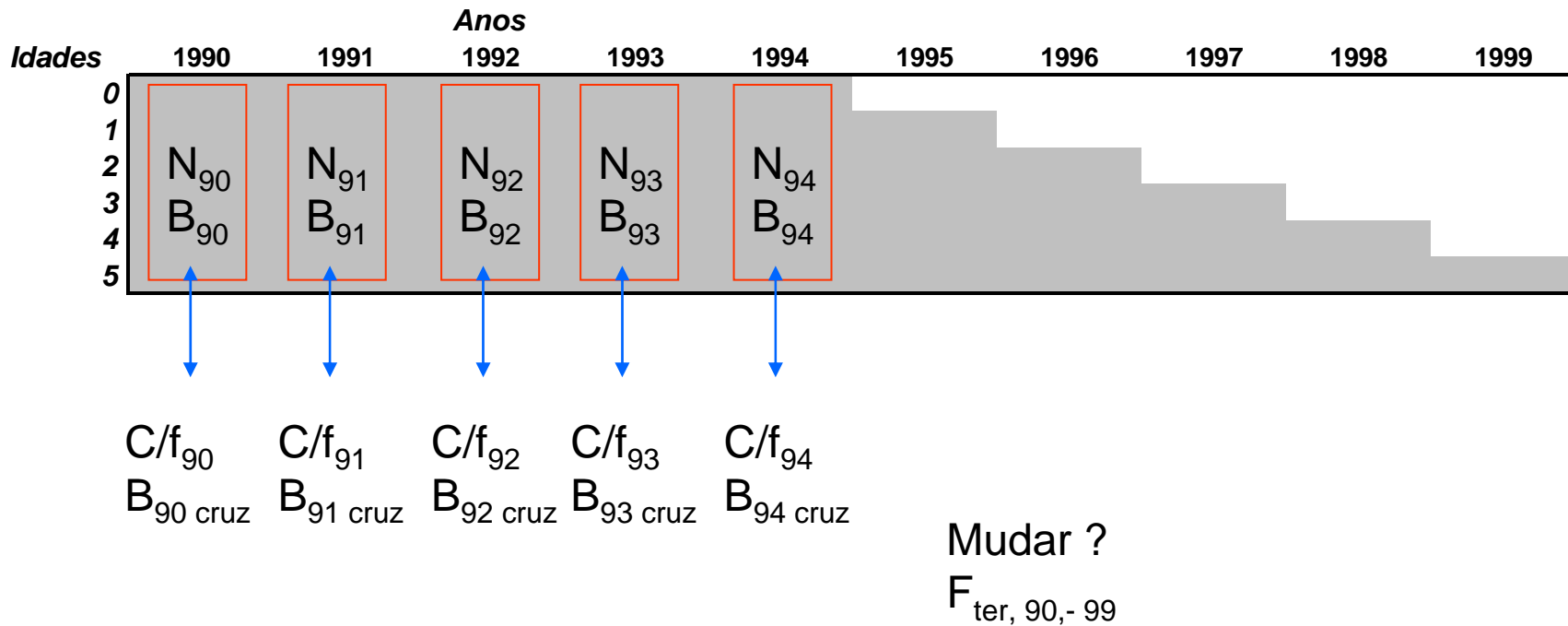
Em stocks pesadamente explorados, F-cum é alto (> 3) ao fim de poucos passos de retrocálculo e o método é muito preciso.

População com $x=0$ a 12
Dois níveis de exploração

Percentagem que N_{12}
representava, relativamente
a N_{total} , quando os animais
com 12 anos estavam nas
idades indicadas em
abcissas

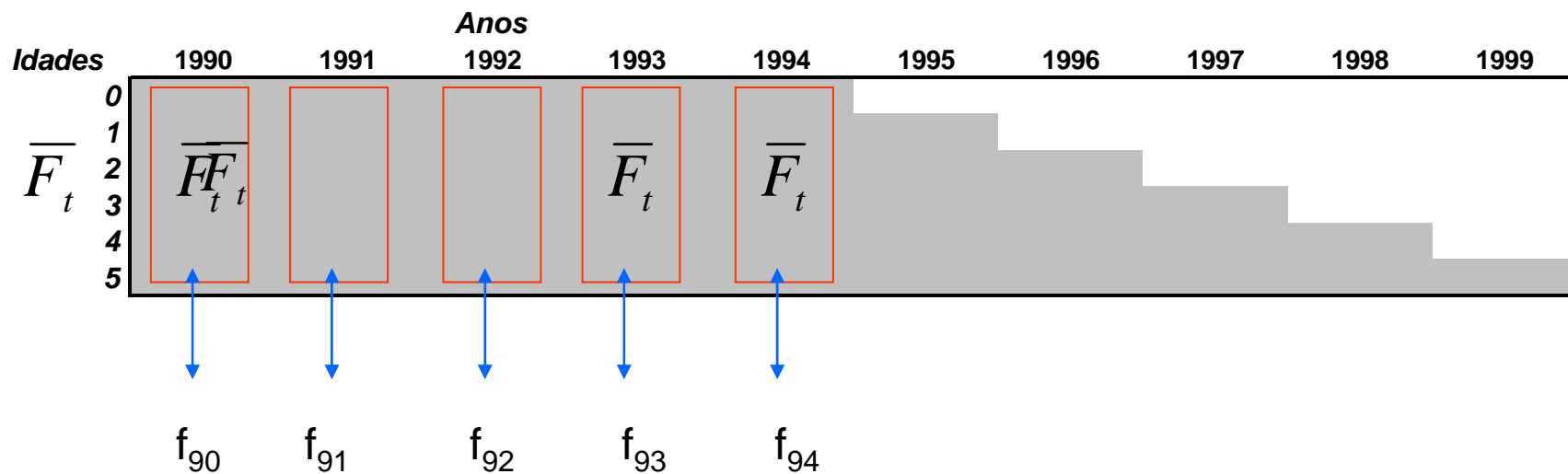


Validação dos resultados I



Calibração ou “tuning” → sucessivas manipulações de F_{ter} até conseguir concordância

Validação dos resultados II

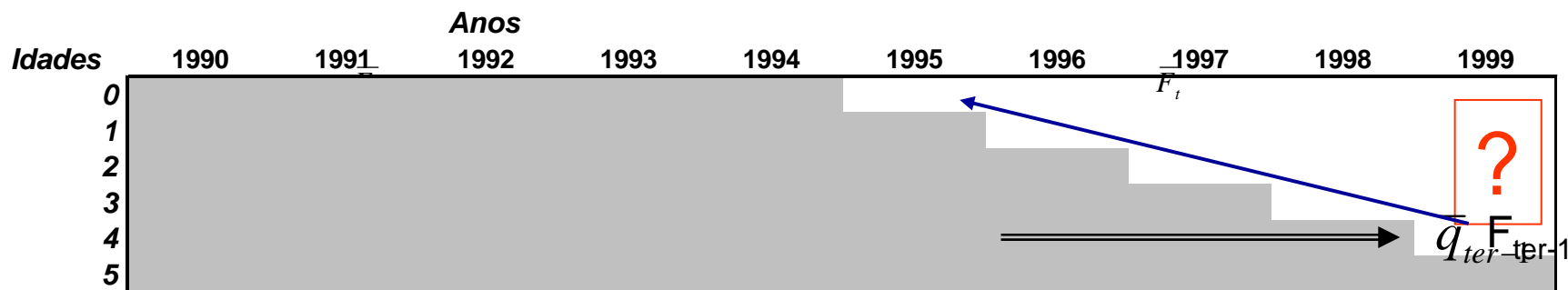


Mudar ?

$F_{\text{ter}, 90, - 99}$

Calibração ou "tuning" → sucessivas manipulações de F_{ter} até conseguir concordância

Último ano, todas as idades



Solução possível para 1999:

1º - Estimar q_{ter-1} (média de anos recentes)

2º - calcular $F_{ter-1} = q_{ter-1} f_{99} s_{ter-1}$ (se se conhecer f_{99}) e reconstruir a coorte 1999

3º - Calcular q_{ter-2} e recomeçar ("Laurec-Shepherd tuning", ICES)

Estimação determinística

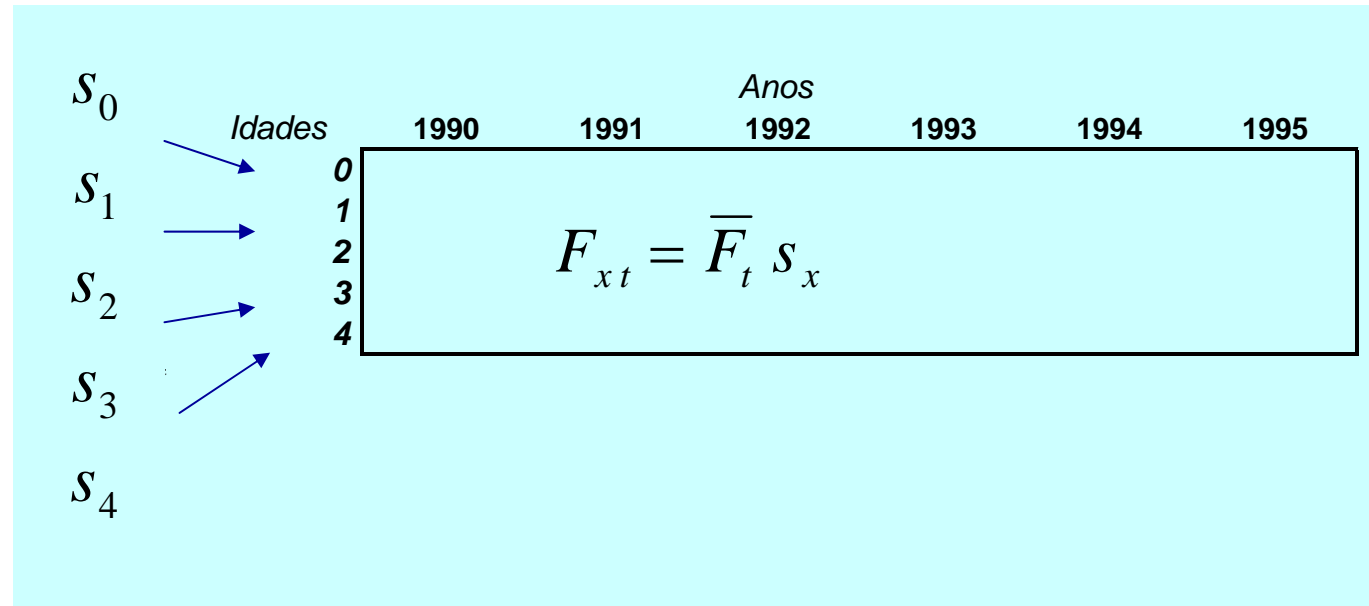
m idades x n anos

Idades	Anos					
	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0	$C_{0,90}$	$C_{0,91}$	$C_{0,92}$	$C_{0,93}$	$C_{0,94}$	$C_{0,95}$
1	$C_{1,90}$	$C_{1,91}$	$C_{1,92}$	$C_{1,93}$	$C_{1,94}$	$C_{1,95}$
2	$C_{2,90}$	$C_{2,91}$	$C_{2,92}$	$C_{2,93}$	$C_{2,94}$	$C_{2,95}$
3	$C_{3,90}$	$C_{3,91}$	$C_{3,92}$	$C_{3,93}$	$C_{3,94}$	$C_{3,95}$
4	$C_{4,90}$	$C_{4,91}$	$C_{4,92}$	$C_{4,93}$	$C_{4,94}$	$C_{4,95}$

m x n parâmetros estimados

Idades	Anos					
	1990	1991	1992	1993	1994	1995
0	$F_{0,90}$	$F_{0,91}$	$F_{0,92}$	$F_{0,93}$	$F_{0,94}$	$F_{0,95}$
1	$F_{1,90}$	$F_{1,91}$	$F_{1,92}$	$F_{1,93}$	$F_{1,94}$	$F_{1,95}$
2	$F_{2,90}$	$F_{2,91}$	$F_{2,92}$	$F_{2,93}$	$F_{2,94}$	$F_{2,95}$
3	$F_{3,90}$	$F_{3,91}$	$F_{3,92}$	$F_{3,93}$	$F_{3,94}$	$F_{3,95}$
4	$F_{4,90}$	$F_{4,91}$	$F_{4,92}$	$F_{4,93}$	$F_{4,94}$	$F_{4,95}$

VPA separável



Número de parâmetros a estimar: $m + n$

Projeções

	Anos			
Idades	1990	1991	...	1995
0	$N_{0,90}$	$N_{0,91}$	...	$N_{0,95}$
1	$N_{1,90}$	$N_{1,91}$	...	$N_{1,95}$
2	$N_{2,90}$	$N_{2,91}$	...	$N_{2,95}$
3	$N_{3,90}$	$N_{3,91}$	...	$N_{3,95}$
4	$N_{4,90}$	$N_{4,91}$	...	$N_{4,95}$

$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} F_0 \\ F_1 \\ F_2 \\ \dots \end{bmatrix} ?$

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} F_0 \\ F_1 \\ F_2 \\ \dots \end{bmatrix} = \bar{F} \mathbf{s} = \begin{bmatrix} \bar{F}s_0 \\ \bar{F}s_1 \\ \bar{F}s_2 \\ \dots \end{bmatrix} \quad N_{x+1,t+1} = N_{x,t} e^{F_{x,t} + M_{x,t}}$$

Manipular só o esforço global ?

Critérios de gestão

Pontos de referência biológica

Limites mínimos para a biomassa total ou para a biomassa desovante a médio-longo prazo.

Pontos de referência de precaução

Limites máximos para a intensidade de exploração (F/Z e/ou **F**)

Caddy JF, and R Mahon. 1995. Reference points for fisheries management. *FAO Fish. Tech. Pap.* 347, Roma
Cadima, EL. 2000. Manual de Avaliação de Recursos Pesqueiros. *FAO Doc Técnico Sobre Pescas* 393, Roma.
Lassen, H, and P Medley. 2001. Virtual Population Analysis – a practical manual for stock assessment *FAO Fish. Tech. Pap.* 400, Roma.

<http://www.fao.org/documents/>