

### 16.6 F terminal: último ano, todas as idades (coortes incompletas)

Um dos principais problemas da VPA diz respeito às coortes incompletas presentes no último ano da matriz **C** (Fig 16.2). Estas coortes deixam-nos com um triângulo não-preenchido no lado superior-direito das matrizes **N** e **F** (Fig. 16.4). Infelizmente, estas coortes são também aquelas em que estamos mais interessados, pois continuam na pescaria e determinam o futuro próximo do stock. Temos de encontrar forma de as reconstruir, se queremos estimar o stock actual e usá-lo para projectar o futuro. Há duas escolas de pensamento sobre a forma de lidar com o problema. Os cientistas norte-americanos (EUA e Canadá) têm favorecido o uso dos métodos estatísticos de capturas-por-idade, enquanto os europeus têm preferido os métodos de calibração do tipo já anteriormente descrito. Em 1988, o International Council for the Exploration of the Seas (ICES) organizou um workshop em que os dois métodos foram comparados usando dados artificiais de capturas *simulados* a partir de matrizes **N** e **F** conhecidas (ICES 1988). No fim, os participantes concluíram que os resultados não podiam ser considerados definitivos, porém, de um modo geral, os métodos de calibração tiveram um desempenho bastante bom, ultrapassando em muitos casos os métodos estatísticos mais sofisticados.

A melhor solução para o problema das coortes incompletas é, provavelmente, dispôr de estimativas da abundância (N ou B) por idade do stock no último ano, feitas por cruzeiros de investigação. Outra possibilidade é estimar o regime de exploração ( $F=[F_x]$ ) no último ano, a partir do esforço de pesca nesse ano, da selectividade e da capturabilidade por idade ( $F_x = q_x f s_x$ ). Esta segunda hipótese conduz-nos a um dos métodos de calibração mais simples. Podemos utilizar as capturabilidades médias por idade das coortes completas e combinar com o esforço no último ano,  $f$ , para obter o regime de exploração  $F=[F_x]$  no último ano. O procedimento, idade-a-idade, será 1º) calcular a média de  $q_{ter-1}$  para as coortes completas e utilizá-la para calcular  $F_{ter-1}$  no último ano, 2º) aplicar VPA para reconstruir a coorte com idade  $ter-1$  no último ano, 3º) calcular a média de  $q_{ter-2}$  e utilizá-la para calcular  $F_{ter-2}$  no último ano, 4º) aplicar VPA para reconstruir a coorte com idade  $ter-2$  no último ano, e assim sucessivamente.

Isto pressupõe, evidentemente, que as capturabilidades se mantêm aproximadamente estáveis ao longo do tempo e qualquer variabilidade observada é ruído aleatório em torno da média. Pressupõe também que só há um tipo de arte de pesca (com capturabilidade  $q$ ) a actuar. Mas raramente assim acontece. O mesmo stock pode ser explorado, por exemplo, por arrasto de fundo e por 2 ou 3 artes artesanais diferentes. Nas décadas de 1980-90 os cientistas das pescas europeus usavam variantes mais sofisticadas de calibração, uma delas é o chamado ‘Laurec-Shepherd tuning’ (Laurec and Shepherd 1983, Pope and Shepherd 1985). Este método usa a média geométrica dos  $q_x$ , pois assume distribuição log-normal dos desvios em relação à média, e calcula  $q_{x, frota}$  por frota de pesca,  $F_{x, frota}$  por frota de pesca e um  $F_x$  final que é a média ponderada dos anteriores (ponderando pelo inverso da variância dos  $F_{x, frota}$  de cada frota ao longo dos anos). Para explicação dos detalhes ver Mohn and Cook (1993). Historicamente, este tipo de métodos resulta da escassez de informação proveniente de cruzeiros científicos dirigidos a stocks

demersais (i.e. stocks de espécies que tendem a permanecer perto do fundo e são vulneráveis ao “arrasto demersal”) que reinava na Europa na década de 1980. Havia contudo informação detalhada sobre o esforço de pesca das frotas comerciais e, naturalmente, os métodos de calibração da VPA concentravam-se na melhor forma de a utilizar.

### 16.7. Duas observações

As equações de captura [15.129 e sobrevivência [15.2, 15.3] são na maior parte dos casos utilizadas para intervalos de tempo de 1 ano. Para estes intervalos considera-se o efectivo inicial e final da coorte ( $N_x$ ,  $N_{x+1}$ ), as taxas de mortalidade ( $F$  e  $M$ ) que agiram durante esse intervalo e as respectivas capturas. Actualmente, contudo, cada vez há menos pescarias que se prolonguem pelo ano todo. Se a amostragem da população permite estimar capturas efectuadas durante intervalos de tempo diferentes, nomeadamente mais curtos, e *se é possível associar um valor de  $M+F$  a cada um desses intervalos*, nada impede que a VPA seja efectuada para intervalos de tempo diferentes de 1 ano. Assim, por exemplo, um stock explorado durante apenas uma estação do ano, pode ser analisado por VPA considerando o ano dividido em 2 ou mais partes de duração diferente. A fragmentação do ano em intervalos de tempo curtos aumenta o número de passos no processo de retrocálculo e as taxas  $M$  e  $F$  aplicam-se a esses intervalos. A fragmentação do ano não melhora o processo de convergência dos  $F_x$  e dos  $N_x$  para os seus valores reais. O fraccionamento do tempo implica também o fraccionamento das taxas instantâneas de mortalidade e por isso o valor de  $F_{\text{cumul}}$  aumenta mais lentamente em cada passo do retrocálculo. Pode fazer sentido efectuar VPA por intervalos de tempo curtos, quando trabalhando por exemplo com espécies de vida muito curta (e.g. pequenos invertebrados) pesadamente exploradas. Para estas espécies os valores de  $F$  podem ser relativamente altos mesmo para intervalos de tempo mensais.

A minha segunda observação diz respeito à fusão de grupos etários na matriz  $\mathbf{C}$ . Estas situações ocorrem frequentemente com as idades terminais da coorte, por ser impossível separar animais com idades diferentes quando essas idades são muito elevadas. A leitura de idades em peças esqueléticas, por exemplo, é mais difícil nos indivíduos mais idosos em que os aneis de crescimento mais antigos faltam ou se sobrepõem de forma ininteligível. A junção das idades em grupos terminais  $x^+$  é uma forma de resolver o problema. Por serem mais raros na população, os indivíduos idosos podem também estar insuficientemente representados nas amostras de capturas. Pode haver, por exemplo, total ausência de capturas de indivíduos de idade  $x$  e no entanto haver capturas de indivíduos de idade  $x+1$ . Nestas situações, ou em geral sempre que o vector de capturas tenha zeros, é preferível encurtar a coorte para um menor número de grupos etários antes de iniciar a VPA, uma vez que a propriedade de convergência é seriamente afectada por capturas iguais a zero. Matrizes  $\mathbf{C}$  com um grupo etário terminal  $5^+$ ,  $8^+$ , e  $12^+$  são frequentes com, respectivamente, pequenos pelágicos, gadóides, e atuns. Os animais destes grupos não pertencem todos à mesma coorte e por isso não é legítimo usá-los para iniciar o retrocálculo. Apesar disso, o grupo  $x^+$  tem importância no cálculo dos totais anuais de capturas em peso e de

biomassas (Y, B, BD). Assim, é costume iniciar a VPA a partir da idade imediatamente anterior ao grupo  $x^+$  e utilizar o grupo  $x^+$  só para os cálculos de Y, B e BD. O valor de F no grupo  $x^+$  no ano j pode ser estimado como sendo igual ao  $F_x$  da idade anterior ou então um valor de F determinado relativamente aos valores de F no ano j.

### 16.8. VPA separável

O número de elementos da matriz  $\mathbf{F} = [F_{x,t}]$  com as mortalidades por pesca da idade x no ano t, estimados pela VPA convencional para todo o stock, é igual ao número de elementos da matriz  $\mathbf{C}$ . Em linguagem estatística, o número de parâmetros a estimar no modelo é igual ao número de observações disponíveis. É como se tivéssemos de determinar o declive (b) e a ordenada na origem (a) de uma recta  $y=a+bx$ , quando nos são dados apenas 2 pontos no gráfico de x contra y. Evidentemente, o modelo tem uma solução única. Dados os valores de  $F_{ter}$ , a VPA tem uma solução única, que são os elementos do vector  $\mathbf{F}$ . Contudo, se se introduzir o modelo expresso pelas equações [15.9, 15.10] que separa a intensidade global de exploração ( $\bar{F}$ ) do padrão de selectividade ( $\mathbf{s}$ ), e se se assumir que a selectividade permanece aproximadamente constante de ano para ano, torna-se possível usar a VPA para estimar um número de parâmetros menor que o número de pontos. É como se se passasse para a situação em que temos mais de 2 pontos no gráfico para estimar o a e o b da recta.

Considerem-se, por exemplo, os dados da Fig 16.1 referentes a 5 idades durante 6 anos. A matriz  $\mathbf{F}$  a estimar terá  $5 \times 6 = 30$  elementos. Suponhamos agora que cada  $F_{x,t}$  é substituído por  $\bar{F}_t s_x$ . Assumindo que  $s_x$  pode variar entre idades mas permanece constante de ano para ano e que  $\bar{F}_t$  varia de ano para ano (mas é constante entre idades), o número de elementos a estimar em  $\mathbf{F}$  passa a ser apenas  $5+6=11$  parâmetros. Uma redução substancial. Por cada nova coluna de dados que acrescentamos à matriz  $\mathbf{C}$ , fazemos surgir mais 1 parâmetro para estimar, mas acrescentamos um número de observações igual ao número de idades no stock.

Quando o número de parâmetros a estimar é inferior ao número de observações, estamos a ter em consideração a variabilidade natural do fenómeno que estamos a observar, mas agora já não existe uma solução única e o modelo tem de ser ajustado por critérios estatísticos como, por exemplo, o dos mínimos quadrados. Passamos de um modelo determinístico (a VPA) para um modelo probabilístico ou estatístico. Esta ideia foi apresentada por Pope and Shepherd (1982) e desenvolvida por Deriso *et al* (1985) e Patterson and Melvin (1995) e é designada por **VPA separável** (separable VPA). É já um assunto especializado que não vou desenvolver, mas a ideia subjacente é útil para a secção que se segue.

### 16.9. Projecções

A projecção das capturas futuras a obter do stock, sob um regime de exploração pré-especificado, é uma das principais componentes da avaliação e gestão de recursos marinhos. Se dispusermos da matriz  $\mathbf{N}$ , obtida após VPA aplicada ao stock, os animais que se estima estarem presentes no início de cada idade no último ano ( $N_{x,t}$  para todas as idades  $x$ ), podem ser usados para projectar o stock nos anos futuros. Para isso usamos o modelo habitual,

$$N_{x+1,t+1} = N_{x,t} e^{F_{x,t} + M_{x,t}} \quad [16.13]$$

sendo  $t$  e  $t+1$  dois anos consecutivos e  $F_{x,t}$  um elemento do regime de exploração  $\mathbf{F}$  que será aplicado no ano  $t$ . As capturas em número a que o stock dará origem são calculadas pela equação de capturas [15.12]. Como normalmente há interesse em conhecer as capturas em peso, é necessário conhecer o peso médio dos indivíduos da idade,  $\bar{w}_x$ , e multiplicá-lo por  $C_x$  para obter as capturas em peso  $Y_x$  (eq [15.19]). A soma dos  $Y_x$  para todas as idades é a projecção das capturas totais que o stock irá fornecer.

A ligação entre as capturas projectadas a curto prazo e o regime de exploração aplicado, é muitas vezes feita através do modelo de mortalidade por pesca separável. A projecção assume que as características das artes de pesca não mudarão significativamente e, portanto, o padrão  $\mathbf{s}$  de exploração vai-se manter, sendo apenas a intensidade global de mortalidade ( $F$ ), proporcional ao esforço  $f$ , que mudará. Se  $t$  for o ano mais recente usado na VPA, no ano  $t+1$  a mortalidade por pesca a aplicar à idade  $x$  pode ser representada por,

$$F_{x,t+1} = K(q_x f)_t s_x \quad [16.14]$$

Em que  $(q_x f)_t$  é a intensidade de mortalidade no ano  $t$  e  $K$  é um factor multiplicativo ( $K=1$  para a intensidade de exploração do ano mais recente usado na VPA) que permite projectar o futuro próximo, em termos comparativos com o ano  $t$ .

A gestão do stock numa perspectiva de assegurar a sua sustentabilidade, é feita com o auxílio de vários critérios biológicos, designados habitualmente por “pontos de referência biológica” e “pontos de referência de precaução” (ver definições em Caddy and Mahon 1995, Cadima 2000 e Lassen and Medley 2001). Estes pontos são em geral limites máximos de intensidade de exploração ( $F$ ) e limites mínimos para a biomassa total ( $B$ ) e desovante ( $BD$ ). É importante acompanhar, por exemplo, a biomassa desovante comparando-a com os limites mínimos pré-estabelecidos. Para projectar a  $BD$ , é necessário adoptar pressupostos sobre  $\bar{w}_x$  e a ogiva de maturação ( $O_x$ , ver secção 15.4), em geral com base nos seus valores em anos recentes. É frequente adoptar a média dos três últimos anos para valores de  $\bar{w}_x$  e  $O_x$  nas projecções.

Os valores de  $N_x$  obtidos por VPA para a idade mais jovem, representam o recrutamento

ao stock. As projecções têm de incluir uma estimativa dos futuros recrutamentos ao stock. Para uma projecção a curto prazo, é muitas vezes razoável usar uma média (em geral geométrica) dos recrutamentos em anos recentes. Por vezes usam-se 2 ou 3 hipóteses de recrutamento (pessimista, média, optimista), construídas a partir da média e verifica-se o impacto futuro de cada uma sobre  $Y$ ,  $B$  e  $BD$ . Caso se pretendam projectar as consequências de regimes de exploração muito diferentes, no sentido em que provocam projecções muito diferentes da biomassa desovante, é preferível então dispôr de uma relação stock-recrutamento. Se a  $BD$  variar muito, é previsível que isso tenha impacto sobre o recrutamento que origina, e isso só pode ser tido em consideração se se assumir qualquer tipo de relação entre a biomassa desovante e os recruta ao stock. A relação stock-recrutamento pode ser estimada a partir da própria matriz  $\mathbf{N}$  ou a partir de fontes independentes. Existe uma extensa literatura sobre relações stock-recrutamento em populações aquáticas e o assunto sai fora do âmbito deste curso. Algumas das referências gerais já aqui dadas podem ser usadas para fins operacionais (Hilborn and Walters 1992, Cadima 2000, Haddon 2001, Lassen and Medley 2001).

### Apêndice 1 – Resolução da equação [16.10]

A equação [16.10] pode ser resolvida iterativamente. Uma forma fácil de iteração, por tentativa e erro, consiste em atribuir um valor provável a  $N_x$ , substituí-lo no lado direito de [16.10] e obter o correspondente  $C_x$  do lado esquerdo. Seguidamente, vai-se alterando  $N_x$  até conseguir que  $C_x$  coincida com o valor verdadeiro da matriz de capturas. O método iterativo de Newton, contudo, é mais eficaz.

O método de Newton pesquisa iterativamente o valor da variável  $y$ , da função  $f(y)$ , que satisfaz  $f(y)=0$ . A equação iterativa para encontrar o valor de  $y$  é,

$$y_{novo} = y_{velho} - \frac{f(y)}{f'(y)} \quad [A.1]$$

Sendo  $f'(y)$  a derivada da função em ordem a  $y$ . No nosso caso,  $y$  é  $N_x$  e  $f(x)$  é a função [16.10] igualada a 0, isto é,

$$\left(1 - \frac{M_x}{\ln N_x - \ln N_{x+1}}\right)(N_x - N_{x+1}) - C_x = 0 \quad [A.2]$$

(Substitui  $N_{ter}$  por  $N_x$  pois a equação é usada generalizadamente para todas as idades). A derivada é,

$$f'(N_x) = 1 - \frac{M_x}{\ln(N_x/N_{x+1})} + \frac{(1 - N_{x+1}/N_x)M_x}{[\ln(N_x/N_{x+1})]^2} \quad [A.3]$$

Os cálculos efectuam-se da seguinte forma:

1. Atribuir um valor tentativo a  $N_x$  (este valor pode ser obtido pelo método de Pope – eq. [16.11]) que se designa por  $N_{x\text{velho}}$  substituí-lo em [A.2] e em [A.3]
2. Resolver [A.1], obtendo o novo  $N_x$ :

$$N_{x\text{novo}} = N_{x\text{velho}} - \frac{[A.2]}{[A.3]} \quad [A.4]$$

3. O  $N_{x\text{novo}}$  passa a chamar-se  $N_{x\text{velho}}$  e este reentra do lado direito de [A.4]. O processo repete-se até que  $N_{x\text{novo}}$  e  $N_{x\text{velho}}$  fiquem muito semelhantes.

### Literatura citada

Aager, P, I Boetius, and H Lassen. 1971. On the errors in the VPA. *Cons. int. explor. mer* CM 1971/H: **16**, 10pp.

Beyer, JE, CH Kirchner, and JA Holtzhausen. 1999. A method to determine size-specific natural mortality applied to westcoast steenbras in Namibia. *Fisheries Research* **41**: 133-153.

Cadima, EL. 2000. Manual de Avaliação de Recursos Pesqueiros. *FAO Doc Técnico Sobre Pescas* **393**, Roma.

Em Março 2005, estava disponível on-line em <http://www.fao.org/documents/> fazendo um search com um nome do autor.

Caddy JF, and R Mahon. 1995. Reference points for fisheries management. *FAO Fish. Tech. Pap.* **347**, Roma

Em Março 2005, estava disponível on-line em <http://www.fao.org/documents/> fazendo um search com um nome de autor.

Deriso RP, TJ Quinn II, and PR Neal. 1985. Catch-age analysis with auxiliary information. *Canadian Jour of Fisheries and Aquatic Sciences* **37**:268-282.

Derzhavin, A.N., 1922. The stellate sturgeon (*Acipenser stellatus Pallas*), a biological sketch. *Byulleten' Bakinskoi Ikhtologicheskoi Stantsii*, 1: 1-393 (em russo)

Frusher, SD, and JM Hoenig. 2003. Recent developments in estimating fishing and natural mortality and tag reporting rate of lobsters using multi-year tagging models. *Fisheries Research* **65**: 379-390.

Fry, FEJ. 1949. Statistics of a lake trout fishery. *Biometrics* **5**:27-67

Gulland, JA. 1965. Estimation of mortality rates. *Annex to Arctic fisheries working group report. ICES C.M. Doc 3* (mimeo).

Haddon, M. 2001. *Modelling and Quantitative Methods in Fisheries*. Chapman & Hall

Hilborn, R and CJ Walters. 1992. *Quantitative Fisheries Stock Assessment. Choice, Dynamics & Uncertainty*. Chapman and Hall.

ICES. 1988. *Report of the workshop on methods of fish stock assessment*. Int Coun Expl Seas, Copenhagen, Denmark.

Lassen, H, and P Medley. 2001. Virtual Population Analysis – a practical manual for stock assessment *FAO Fish. Tech. Pap.* **400**, Roma.  
Em Março 2005, estava disponível on-line em <http://www.fao.org/documents/> fazendo um search com um nome de autor.

Laurec, A, JG Shepherd. 1983. On the analysis of catch and effort data. *Jour Cons Int Explor Mer* **41**:81-84.

MacCall, AD. 1986. Virtual Population Analysis (VPA) equations for nonhomogeneous populations, and a family of approximations including improvements on Pope's cohort analysis. *Canadian Jour of Fisheries and Aquatic Sciences* **43**:2406-2409.

Macpherson E, A Garcia-Rubies, A Gordo. 2000. Direct estimation of mortality rates for littoral marine fishes using populational data from a marine reserve. *Marine Biology* **137**:1067-76.

Martinez-Aguilar S, Sanchez F, EM Bojorquez. 2005. Natural mortality and life history stage duration of Pacific sardine (*Sardinops caeruleus*) based on gnomonic time divisions. *Fisheries Research* **71**: 103-114

Megrey, BA. 1989. Review and comparison of age-structured stock assessment models from theoretical and applied points of view. *American Fisheries Society Symposium* **6**:8-48.

Mohn, RK, and R Cook. 1993. Introduction to Sequential Population Analysis. *NAFO Scientific Council Studies*, **17**

Patterson, KR, and G Melvin. 1995. Integrated catch at age analysis. Version 1.2 *Scottish Fisheries research Report* **58**:60 p.

Pope, JG. 1972. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. *ICNAF Research Bulletin* **9**:65-74.

Pope, JG and JG Shepherd. 1982. A simple method for the consistent interpretation of catch-at-age data. *Jour Cons Int Explor Mer.* **40**:176-184.

Pope, JG and JG Shepherd. 1985. A comparison of the performance of various methods for tuning VPAs using effort data. *Jour Cons Int Explor Mer.* **42**:129-151.

Quinn, TJ, and RB Deriso. 1999. *Quantitative Fish Dynamics*. Oxford Univ Press, Oxford.

Ricker, WE. 1975. Computation and Interpretation of Biological Statistics of Fish Populations. *Bull. Fish. Res. Board. Can.* **191**:382 pp.

Sinclair, AF. 2001. Natural mortality of cod (*Gadus morhua*) in the Southern Gulf of St Lawrence. *ICES Journal of Marine Science* **58**:1-10.

Sparre P and SC Venema. 1998. Introduction to Tropical Fish Stock Assessment - Part 1: Manual. *FAO Fish. Tech. Pap.* **306/1**, Roma.  
Em Março 2005, estava disponível on-line em <http://www.fao.org/documents/> fazendo um search com um nome de autor.

Vetter, EF. 1988. Estimation of natural mortality in fish stocks: a review. *Fishery Bulletin* **86**(1):25-43

Xiao, Y. 2001. Formulae for calculating the instantaneous rate of natural mortality of animals from its surrogates. *Mathematical and Computer Modelling* **33**:783-792