
Universidade do Algarve
Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente
Mestrado em Biologia Marinha (2º ciclo)
BIOLOGIA PESQUEIRA
1º ano - 1º. Semestre 2007/2008

REPRODUÇÃO

A reprodução é um dos aspectos mais importantes no ciclo de vida de uma espécie. O conhecimento da época de postura (desova) e do tamanho ou idade em que os indivíduos de uma determinada espécie atingem a maturidade sexual (i.e., quando os gâmetas completamente desenvolvidos são libertados) são dos aspectos mais importantes no estudo do ciclo de vida de um recurso pesqueiro.

No ciclo reprodutivo de grande parte dos recursos marinhos parece haver um período relativamente longo de inactividade ou de descanso das gónadas, depois do qual as gónadas se desenvolvem e amadurecem i.e., os gâmetas desenvolvem-se e tornam-se maduros e são libertados. O processo de formação, desenvolvimento e amadurecimento dos gâmetas denomina-se de gametogénese, espermatogénese nos machos e oogénese nas fêmeas. O período de postura (desova) pode ser mais ou menos extenso e ocorrer em intervalos regulares ou irregulares, dependendo da espécie. Em muitas espécies a desova é anual mas pode ser, por exemplo, bianual – como acontece em algumas espécies de crustáceos decápodes (e.g., nos lavagantes).

Os estímulos, ou combinação de estímulos, que induzem gónadas virgens a iniciar o seu desenvolvimento e gónadas em descanso (após uma desova) a tornarem-se de novo activas são de natureza endógena (acontecimentos internos relacionados com o crescimento e com a reprodução) e exógenos (ambientais, e.g., luz, salinidade, disponibilidade alimentar, fase da lua e, talvez o mais comum, a temperatura – uma determinada temperatura ou um aumento ou diminuição da temperatura). Nas espécies temperadas a desova dá-se normalmente na primavera de modo que as larvas podem alimentar-se dos *blooms* de fitoplâncton que ocorrem nessa altura. A desova é induzida por factores diferentes dos que induzem o desenvolvimento maturativo. Estes devem ser

acontecimentos ambientais de curta duração enquanto os que induzem o desenvolvimento maturativo das gónadas, que é um processo relativamente longo, necessita de ter uma influência mais sustentada.

O ciclo reprodutivo está normalmente associado à actividade de alimentação e as duas actividades explicam grande parte das migrações e aglomerações que muitos recursos marinhos fazem.

Tanto o processo de desenvolvimento dos gâmetas (oócitos e espermatozóides) como o de recuperação, depois da desova requerem energia extra e que os indivíduos se encontrem numa boa condição, bem alimentados.

Índices de Condição

Quando há crescimento isométrico ($W=q \times L^3$) pode-se utilizar o factor de condição de Fulton (K): $K = (W \times 100)/L^3$ onde W é o peso do peixe e L o seu comprimento. Nos casos em que o crescimento for alométrico ($b \neq 3$), pode-se usar $K' = (W \times 100)/L^b$.

Os valores de K e K' podem ser comparados com o valor de q (designado de factor de condição relativa e que representa a condição média) da relação peso-comprimento. Podem ser estabelecidas escalas de valores de condição para uma determinada espécie. Estes factores de condição não são muito sensíveis a pequenas alterações de condição.

Alternativamente, pode-se comparar o peso observado, $W(o)$ com o peso esperado, $W(e)$, calculado através da relação peso-comprimento e calcular $K'' = W(o) / W(e)$.

Há, no entanto, outros índices de condição.

Reprodução sexuada e fecundação

A esmagadora maioria das espécies marinhas exploradas tem uma reprodução sexuada, i.e., envolve a formação de uma célula especial – o ovo ou zigoto – como resultado da união de dois gametas (células sexuais) através da fecundação (ou fertilização).

A fecundação envolve a fusão dos núcleos dos dois gametas (cariogamia). Para que a fecundação resulte num ovo com um número normal de cromossomas para a espécie em causa ($2n$) é necessário que tenha havido, previamente, uma divisão nuclear (meiose) que reduz para metade (n) o número de cromossomas da espécie.

Assim, a reprodução sexuada caracteriza-se pela ocorrência de dois fenómenos: a meiose, que reduz o número normal de cromossomas para metade e a fecundação, que repõe esse número. A fecundação pode ser interna (ocorrer no interior das fêmeas) ou externa (ocorrer no exterior das fêmeas).

Nos elasmobrânquios a fecundação é essencialmente interna (há espécies ovíparas, ovovivíparas e espécies vivíparas). A maioria das espécies de peixes teleósteos (a maioria é ovípara), a fertilização é essencialmente externa. Os ovos são libertados na água e fertilizados.

Nos moluscos gastrópodes a fertilização é essencialmente interna (a fertilização externa é rara). Nos bivalves acontece exactamente o contrário. Nos cefalópodes a fertilização é interna. Nos crustáceos a fecundação é essencialmente interna (a fertilização externa é rara). Nos equinodermes, a fertilização é essencialmente externa, podendo também ser interna em algumas espécies de ofiurídeos e de equinóides (rara). Nas holotúrias é sempre externa.

Muitos invertebrados possuem um pénis e a transferência do esperma para a fêmea é directo. Noutros, como nos crustáceos decápodes, a transferência do esperma faz-se indirectamente. O esperma é empacotado em espermatóforos (invólucros para armazenamento de esperma), produzidos pelos machos, e transferido para as fêmeas. Estas conservam os espermatóforos durante períodos de tempo mais ou menos

alargados até ao momento em que libertam os oócitos dando-se, nessa altura, a fecundação dos mesmos.

A reprodução sexuada, porque permite a troca de material genético entre dois indivíduos, favorece a variabilidade genética a qual, por sua vez, aumenta a probabilidade de adaptação dos indivíduos às condições do meio, em constante alteração, através de selecção natural.

Estratégias reprodutivas

A maioria das espécies marinhas tem sexos separados (espécies dióicas) e não mudam de sexo durante toda a sua vida (espécies gonocóricas). No entanto, há espécies que apresentam ambos os sexos no mesmo indivíduo (espécies hermafroditas), em simultâneo (muito raro) ou sequencialmente (há inversão sexual).

Hermafroditismo

A maioria dos casos de hermafroditismo provém de baixas latitudes. Cerca de 50% das famílias de peixes teleósteos tropicais contém espécies hermafroditas.

O hermafroditismo sequencial pode ser de dois tipos: Protândrico (quando os machos mudam de sexo tornando-se fêmeas) ou Protogínico (quando as fêmeas mudam de sexo tornando-se machos). Numa população de uma espécie protogínica, uma certa proporção pode manter sempre o sexo masculino sendo estes designados por machos primários. Os machos que resultam da mudança de sexo de uma fêmea são denominados de machos secundários. Uma espécie protogínica que tem tanto machos primários como secundários é denominada de diândrica, enquanto uma espécie protogínica que só tem machos secundários é denominada de monândrica. O mesmo pode acontecer com espécies hermafroditas protândricas utilizando-se o mesmo tipo de designações.

O primeiro sexo é sempre mais abundante nas populações que mudam de sexo. A mudança de sexo nas espécies hermafroditas (machos em fêmeas ou o contrário) faz-

-se quando se verificam vantagens adaptativas nessa mudança, geralmente relacionadas com o aumento do tamanho ou da idade. Nas espécies protândricas, a mudança de macho para fêmea representa, possivelmente, uma adaptação que conduz a um aumento da fecundidade populacional. Nos casos em que o tamanho dos machos não é importante, é de esperar que as fêmeas sejam, em geral, maiores que os machos. Um corpo maior é uma vantagem para a produção de ovos que são muito maiores que o esperma. Nas espécies protogínicas os machos são, geralmente, maiores que as fêmeas e assumem papéis comportamentais variados (e.g., protecção dos locais de postura).

Entre os peixes teleósteos, os esparídeos (família Sparidae) apresentam muitas espécies hermafroditas, tanto protogínicas como protândricas. São exemplos de espécies Protândricas, o sargo (*Diplodus vulgaris*), o besugo (*Pagellus acarne*) e o goraz (*Pagellus bogaraveo*) e de espécies Protogínicas, o pargo (*Pagrus pagrus*), a choupa (*Spondylisoma cantharus*) e a boga (*Boops boops*).

Todos os elasmobrânquios têm sexos separados ao longo da vida e as proporções sexuais (sex ratios) das suas populações são, normalmente, de 1:1.

Os recursos marinhos invertebrados também apresentam variadas estratégias reprodutivas. Dentro dos crustáceos a maioria dos malacostraca são dióicos mas alguns são hermafroditas protândricos (machos para fêmeas). Por exemplo, entre os decápodes, os caranguejos, lavagantes, lagostas e os camarões peneídeos têm sexos separados. No entanto, os camarões carídeos, da família Pandalidae, são hermafroditas protândricos (maturam pela primeira vez como machos, permanecem como machos um a dois anos e, depois, mudam o sexo para fêmeas permanecendo assim até ao fim da sua vida).

Nos moluscos também se encontram espécies dióicas e espécies hermafroditas. A maioria dos gastrópodes é dióica mas algumas espécies, como o *Abalone*, são hermafroditas protândricos. Entre os bivalves, encontram-se inclusivamente espécies hermafroditas simultâneas. Os cefalópodes têm sexos separados. Os equinodermes são essencialmente dióicos.

O efeito da pesca em espécies hermafroditas, nos casos em que há selecção dependente do comprimento, pode afectar gravemente a proporção sexual das populações destas espécies. Por exemplo, no caso dos camarões Pandalidae, as fêmeas são muito maiores que os machos e, logo, são um alvo preferencial da pesca. A captura preferencial de fêmeas pode afectar gravemente a proporção sexual das populações destes camarões.

Proporção Sexual

A proporção sexual pode ser expressa em termos do número de machos por fêmea, e.g., 1.25:1 (1.25 machos por fêmea) ou 1:1 (uma macho para uma fêmea). Por vezes é preferível apresentar a proporção sexual em termos da proporção do Número de Fêmeas em relação ao Total de Indivíduos (Macho + Fêmeas) : $\text{Número de Fêmeas} / (\text{Número de Machos} + \text{Número de Fêmeas})$. Estes valores podem ser apresentados em percentagem (x 100%).

No caso da amostragem bi-etápica, a determinação do sexo é feita apenas num determinado número de indivíduos dentro de cada classe de comprimento. O cálculo da proporção sexual deve, assim, ser feito para cada classe de comprimento e, depois, para o total. A proporção total tem que ser calculada com os Números Totais de Fêmeas e de Machos.

A variação inter-anual e estacional (dentro do ano, e.g., por mês) da proporção sexual deve ser monitorizada. Deve, também, proceder-se à análise da proporção sexual por classe de comprimento e por idade.

Determinação do sexo

O sexo de qualquer indivíduo, de qualquer espécie, pode ser determinado através da inspecção visual das suas gónadas, os ovários no caso das fêmeas e os testículos no caso dos machos (características sexuais primárias). Isto requer, normalmente, a dissecação do animal (e.g., peixes teleósteos). A determinação do sexo através da observação das

gónadas é óbvia em indivíduos maduros (Exercício prático com sardinha, *Sardina pilchardus*).

Nos peixes, tanto os ovários como os testículos são estruturas originalmente pares, suspensas por membranas da parte superior da cavidade abdominal, em estreita associação com os rins.

Se é relativamente fácil determinar o sexo dos indivíduos internamente, através das gónadas (nos casos em que o tamanho da gónada não o permite classificam-se os indivíduos como indeterminados), em muitos casos é difícil ou mesmo impossível distinguir o sexo externamente. Muitos peixes teleósteos não exibem qualquer dimorfismo sexual (diferenças na forma do corpo) ou dicromatismo sexual (diferenças na cor), mesmo durante a época da desova, i.e., não exibem características sexuais secundárias permanentes ou acessórias (associadas à desova, e.g., salmão). No extremo oposto há peixes que exibem permanentemente características dimórficas ou dicromáticas. São peixes que têm, geralmente, fecundação interna de modo que os machos têm órgãos copulatórios correspondentes a barbatanas modificadas, como nos tubarões ou nos peixes poecilídeos (e.g., guppies) – os mixopterígeos “claspers” dos tubarões e raias, que são modificações das barbatanas pélvicas e os gonopódios dos guppies, que são raios modificados – flexíveis - da barbatana anal).

Os crustáceos apresentam dimorfismo sexual aparente manifestado na forma do abdómen (caranguejos) e no primeiro par de pleópodes modificado para funcionar como órgão copulatório, nos decápodes. Nos moluscos cefalópodes a existência de um hectocótilo (braço transformado para a introdução do espermatóforo nas fêmeas) permite distinguir os machos das fêmeas.

Note que o sexo pode ser determinado através de testes imunológicos ou análises electroforéticas de amostras de sangue ou de muco. Através de testes imunológicos pode-se detectar a presença de vitelogenina, a proteína específica do vitelo dos oócitos, produzida pelas fêmeas ou de hormonas, e.g. de hormonas femininas – estrogéneos. Estes testes funcionam naturalmente melhor em indivíduos em maturação, com níveis de vitelogenina e hormonais elevados.

Tipo de Reprodutores

No que diz respeito ao número de posturas que efectuam, as espécies são classificadas como Semélparas (Semelparidade), quando desovam uma única vez e morrem de seguida – como é o caso de muitas espécies de cefalópodes, ou Iteróparas (Iteroparidade), quando efectuam várias posturas ao longo da vida.

No que respeita à forma como se processa a emissão dos oócitos, as espécies são classificadas em:

Reprodutores totais (“total spawners”) – os oócitos formam-se, desenvolvem-se em conjunto, maturam e são libertados num intervalo de tempo mais ou menos curto. Há sincronia no desenvolvimento dos oócitos daí serem também designados de Síncronos ou Isócronos.

As espécies Semélparas são sempre Reprodutores totais, Síncronos. As Iteróparas podem sê-lo ou não.

Reprodutores parciais (“batch spawners” ou “Multiple/Serial pawners”) – os oócitos formam-se e desenvolvem-se em fornadas (“batches”) as quais vão sendo libertados à medida que se tornam maduros. Não há sincronia no desenvolvimento dos oócitos daí serem designados de Assíncronos ou Heterócronos.

Há dois tipos de assincronia, um em que se destacam claramente os vários grupos (batches) de oócitos em estados diferentes de desenvolvimento sendo possível, antes da época de postura, determinar o tamanho da postura (Reprodutores determinados / “Determinate spawners”) e o outro onde não é possível fazer esta distinção uma vez que há sempre novos oócitos a iniciar o seu desenvolvimento (Reprodutores indeterminados / “Indeterminate spawners”).

Fecundidade

A fecundidade é definida como o número de óvulos produzidos por uma fêmea em postura (fecundidade absoluta). A fecundidade depende do tamanho e da idade da fêmea

podendo-se estabelecer relações fecundidade/comprimento e fecundidade/peso. A fecundidade relativa é o número de oócitos maduros na fêmea, dividido pelo peso da mesma. A fecundidade populacional anual é o número de óvulos que todas as fêmeas da população produzem durante uma época de postura. Há vários métodos para a determinação da fecundidade: métodos gravimétricos (peso), volumétricos (volume) e estereológicos (3D).

Determinação da época de desova

A determinação da época de desova pode ser determinada através de vários processos:

1. Análise da percentagem de fêmeas (e de machos) com gónadas nos diversos estados de desenvolvimento (i.e., estados de maturação), ao longo do tempo;
2. Nos crustáceos, também através da análise da proporção de fêmeas ovadas ao longo do tempo (i.e., nas espécies cujas fêmeas transportam os ovos nos pleópodes durante o período de incubação);
3. Análise do peso relativo das gónadas ao longo do tempo (índices gonado-somáticos);
4. Análise da variação do nível de hormonas masculinas e femininas no plasma.
5. Análise da abundância relativa de ovos e de larvas ao longo do tempo;
6. Observação directa da desova através de campanhas subaquáticas, particularmente em espécies sésseis.

Os processos 1 e 3 são os mais utilizados. O processo 2 é apenas restrito aos crustáceos cujas fêmeas incubam os ovos carregando-os nos seus pleópodes. O processo 4 é utilizado em estudos, muito particulares, onde não se requer o sacrifício dos peixes.

Índices gonado-somáticos

Um índice gonado-somático (IGS) é normalmente usado para se seguir o ciclo reprodutivo de uma espécie ao longo do ano, em intervalos mensais ou inferiores. Este índice, calculado separadamente para machos e para fêmeas (onde é normalmente é mais expressivo), assume que uma gónada aumenta em tamanho à medida que esta se desenvolve, compara o peso da gónada com o peso do indivíduo:

$$\text{GSI} = (\text{Peso da gónada} / \text{Peso do Indivíduo}) \times 100\%$$

O peso do indivíduo pode ser o Peso total, o Peso Total - Peso da gónada ou o Peso Eviscerado (preferível). No esquema de amostragem bi-etápico utilizado em biologia pesqueira, há que acrescentar à informação retirada por classe de comprimento, o peso da gónada e o peso eviscerado. Para cada indivíduo calcula-se um IGS e, no final, obtém-se um IGS médio por classe de comprimento e para o total da amostra.

Nos casos em que a amplitude de comprimentos das amostras varia de amostra para amostra mensal, é importante utilizar, nos cálculos dos IGS médios, um mesmo intervalo de comprimentos para que os valores mensais possam ser comparáveis. Normalmente, determinam-se os IGS para indivíduos com comprimento igual ou superior a um determinado valor (excluem-se os peixes jovens imaturos).

É comum calcular também, nestas análises, o chamado Índice Hepato-somático (IHS) i.e., $\text{IHS} = (\text{Peso do Fígado} / \text{Peso do Indivíduo}) \times 100\%$

O fígado, para além de produzir a vitelogenina (proteína) pode participar também no processo de mobilização dos lípidos para o desenvolvimento maturativo das gónadas. Neste caso, a evolução do IHS é inversa à do IGS, i.e., quando um é máximo o outro é mínimo. Nos casos em que a mobilização dos lípidos se faz ao nível da musculatura e do tegumento não se observa uma relação entre os dois índices.

Estados de Maturação Sexual

O IGS não permite identificar correctamente os diversos estados de maturação da gónada.

A identificação de estados de desenvolvimento das gónadas pode ser feita a partir da análise das suas características macroscópicas (tamanho ocupado dentro da cavidade abdominal, forma e volume, grau de vascularização, opacidade e a aparência dos oócitos – nas fêmeas ou a presença de esperma no ducto seminal – que indica emissão).

Assim, as gónadas de machos e de fêmeas podem ser classificadas nos vários estados de desenvolvimento maturativo utilizando-se para isso uma escala macroscópica de maturação sexual. Estas escalas correspondem à discretização de um fenómeno que é contínuo (a gametogénese) pelo que são, necessariamente, simplificações da realidade. O objectivo é que os vários estados de desenvolvimento identificados macroscopicamente na gónada correspondam a diferentes estados de desenvolvimento maturativo dos gâmetas, o que só pode ser verificado através de estudos histológicos.

Uma escala de maturação macroscópica deve ser validada (aferida) através de estudos histológicos (cortes finos nas gónadas e observação das suas estruturas ao microscópio óptico). É estabelecida uma correspondência entre a escala microscópica de desenvolvimento dos gâmetas, obtida através dos estudos histológicos e a escala macroscópica. Os estudos histológicos requerem tempo e treino especializado ao nível das técnicas histológicas, e exigem equipamento laboratorial de histologia e reagentes que são bastante dispendiosos.

Em muitos casos, opta-se apenas por estudar o desenvolvimento maturativo das fêmeas mas, sempre que possível é desejável estudar machos e fêmeas.

Qualquer que seja a escala de maturação que se utilize, para fins de determinação da época de desova, é fundamental que se procure obter o menor número possível de estados de maturação. Uma escala de cinco estados serve, normalmente, para a maioria dos casos: Virgem e em Repouso, em Desenvolvimento, em Pré-desova, em Desova e em Pós-desova. Em vez de “Desova” poder-se-á utilizar termos mais adequados como “Postura” nas fêmeas e, no caso dos machos, “Emissão” ou “Expulsão”.

A separação dos indivíduos “virgens” dos “em repouso”, possível de se fazer em alguns casos (e.g., nos reprodutores totais) é desejável, particularmente para a construção de ogivas de maturação sexual onde se pretende, na época de reprodução, separar adultos (os animais em repouso já desovaram logo são adultos) dos juvenis (os animais virgens observados na época de desova não deverão desovar nessa época de desova, logo são juvenis).

Ver escala de maturação sexual para a sardinha, *Sardina pilchardus* (em anexo). A sardinha é um reprodutor parcial (*batch spawner*) pelo que a escala em uso dá conta dessa situação. Esta escala foi revista (e simplificada) com base nos resultados de estudos histológicos realizados pelo IPIMAR e a UAIG.

Ver exemplos de escalas de maturação sexual para diversos recursos (*in* Cardador; F. & L. Borges, 1998. Manual dos Cruzeiros Demersais do IPIMAR – N/I “Noruega” (não publicado) - documento anexo e escalas de maturação publicadas pelo Irish Marine Institute - <http://www.marine.ie/industry+services/fisheries/fisheries+biology/index.htm>.

Ver exemplo de uma escala de maturação sexual para uma espécie de camarão peneídeo, *Penaeus latisulcatus* em King (1995).

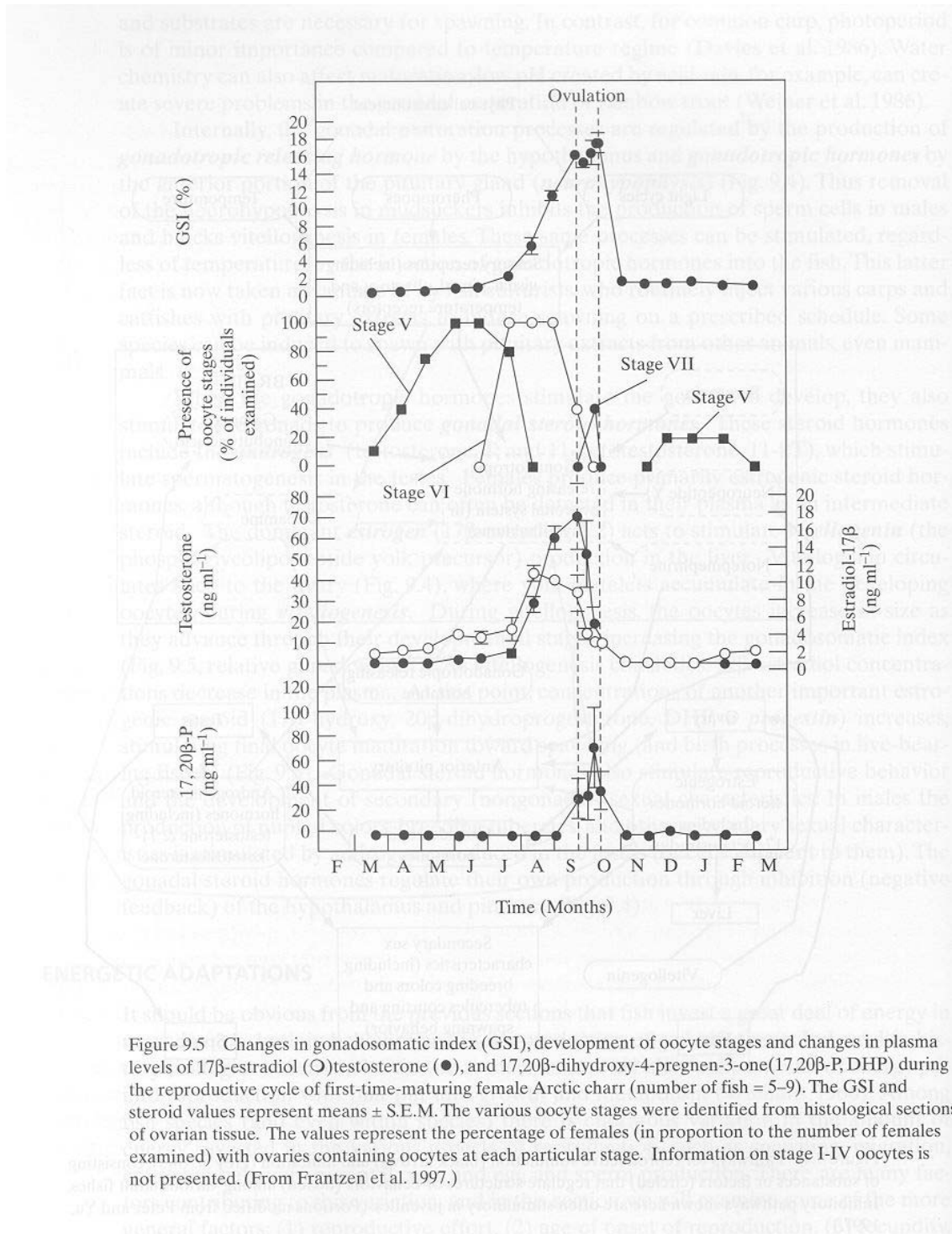
No esquema de amostragem biológica bi-etápica utilizado em biologia pesqueira, o estado de maturação das gónadas, dos machos e das fêmeas, seleccionados dentro de cada classe de comprimento, é avaliado utilizando-se, para isso a escala macroscópica de maturação sexual adoptada para a espécie. Dispondo-se dos estados de maturação atribuídos a gónadas de amostras recolhidas em intervalos, e.g. por mês, ao longo de um ano, as percentagens de gónadas em cada estado de maturação, calculadas dentro do mês, podem ser colocadas num histograma e devidamente analisadas.

Variação dos níveis hormonais

A análise da variação dos níveis de hormonas masculinas e femininas no plasma, através da amostragem sequencial do sangue, também permite identificar a época de desova. Os tipos e quantidades de hormonas em circulação permitem identificar o sexo e a condição reprodutiva de um indivíduo. A produção de hormonas esteróides pelas gónadas, androgénios (testosterona, T e 11-ketotestoterona, 11-kT) que estimulam a espermatogénese nos testículos dos machos e estrogénios (17 β -estradiol, E2) que actua na estimulação da vitelogenina (a proteína precursora do vitelo) produzida no fígado. De notar que a testosterona pode aparecer no plasma das fêmeas como um esteróide intermediário. No entanto, os estrogénios são os esteróides dominantes nas fêmeas. Com o fim da vitelogénese, a concentração de 17 β -estradiol no plasma diminui. Nesta

altura, a concentração de um outro esteróide estrogénio muito importante (a progestina) aumenta estimulando a maturação final dos oócitos com vista à ovulação.

A partir da análise comparativa dos estados de Pré-desova, Desova e Pós-desova pode-se determinar a época de desova. Deve haver uma concordância entre a informação resultante da análise da evolução ao longo do ano das percentagens dos vários estados de maturação, do índice gónado-somático e dos níveis hormonais presentes no plasma (ver exemplo na figura seguinte). No caso presente do *Artic charr*, que é um reprodutor total, a desova decorre num curto espaço de tempo. Nos reprodutores parciais a desova pode demorar vários meses (*eg.*, na sardinha).



Artic charr (truta) = *Salvelinus alpinus*

Ogivas de Maturação Sexual

A separação de indivíduos adultos dos juvenis, nas capturas ou no manancial, requer um conhecimento sobre a proporção de indivíduos adultos em cada classe de comprimento, ou em cada grupo de idade. Estas proporções, multiplicadas pelo número de indivíduos

capturados ou no manancial, em cada classe de comprimento ou grupo de idade, conduzem à separação da composição total na composição de adultos (fracção reprodutora, desovante) e na composição de comprimentos dos juvenis.

A evolução da proporção de indivíduos adultos com o comprimento, ou com a idade, pode ser descrita por um modelo matemático do tipo logístico:

$$P_i = \frac{1}{1 + e^{-r(L_i - L_{m50})}} \quad \text{ou} \quad P_i = \frac{1}{1 + e^{-r(t_i - T_{m50})}}$$

onde P_i é a proporção de indivíduos maduros na classe de comprimento L_i ou no grupo de idade t_i e r e L_{m50} ou r e t_{m50} os parâmetros do modelo por comprimento ou por idade.

Dispondo-se de dados observados de Proporções por classe de comprimento ou Proporções por grupo de idade a estimação dos dois parâmetros (L_{m50} e r) pode ser facilmente realizada por regressão linear (método dos mínimos quadrados) após transformação LOGIT dos valores de proporção

$$\text{LOGIT} = \text{Ln} [(1-P_i)/P_i] = r.L_{m50} - r.L_i \quad \text{e} \quad \text{LOGIT} = \text{Ln} [(1-P_i)/P_i] = r.T_{m50} - r.T_i$$

onde P_i é a proporção observada por classe de comprimento, L_i é o ponto central da classe de comprimento e T_i é o ponto central do grupo de idade. A ordenada na origem da recta de regressão $a = r.L_{m50}$ e o declive, $b = -r$.

O comprimento e a idade de primeira maturação sexual, i.e., o comprimento e a idade correspondentes a 50% dos indivíduos adultos (maduros sexualmente) pode ser obtida analiticamente através dos parâmetros estimados:

$$L_{m50} = -a/b \quad \text{e} \quad T_{m50} = -a/b$$

Este parâmetro pode ser usado para definir a transição entre juvenis e adultos em certas análises ou descrições simplificadas da realidade. Por aproximação dita de fio-de-navalha (knife-edge) considera-se que todos os indivíduos menores que L_{m50} , ou T_{m50} são juvenis e que apenas os indivíduos com comprimento ou idade superior ou igual a L_{m50} e a T_{m50} , respectivamente, são adultos.

Complementarmente, pode-se estimar Lm25 e Lm75 (ou Tm25 e Tm75) do seguinte modo:

$$Lm25 = - (\ln 3 + a)/b \quad e \quad Tm25 = - (\ln 3 + a)/b$$

$$Lm75 = (\ln 3 - a)/b \quad e \quad Tm75 = (\ln 3 - a)/b$$

As proporções de adultos são calculadas com base nos dados dos estados de maturação sexual das gónadas apenas no período de desova ou mesmo, quando este é prolongado, nos meses de maior intensidade de desova. Os estados de maturação são agrupados em apenas dois estados: os imaturos (juvenis) e os maduros (adultos). Consideram-se como maduros todos os indivíduos que já desovaram pelo menos uma vez na vida bem como todos aqueles que irão desovar nesse ano, nessa época de desova.

A estimação dos parâmetros da ogiva de maturação sexual pode ser realizada através de estimação não-linear (método dos mínimos quadrados) utilizando como valores iniciais os valores de r e Lm50 estimados através do método regressivo após transformação Logit. O ajuste não linear pode ser realizado através do “Solver” da folha de cálculo Excel.

Notas preparadas essencialmente com base em:

Crim, L.W. & B.D. Glebe, 1990. Reproduction. *In*: Schreck, C.B. & P.B. Moyle (eds). *Methods for Fish Biology*. American Fish Society, Maryland, pp: 529-553

Jennings, S., M.J. Keiser & J.D. Reynolds, 2001. *Marine Fisheries Ecology*. Blackwell Science, pp: 55-56; 199; 243-244 (**para fotocopiar**)

King, M., 1995 - *Fisheries Biology, Assessment and Management*. Blackwell Science, Oxford, pp: (**para fotocopiar**)

Recomenda-se a consulta das duas últimas obras bem como ainda do manual da FAO:

Holden, M.J. & D. F.S. Raitt, 1974 - *Manuel de Science Halieutique. Deuxième partie - Méthodes de Recherches sur les Ressources et leur Application*. Doc. Tech. FAO Pêches (115) Rev. 1: 223p. (**Versão em francês**). Disponível online em:

<http://www.fao.org/DOCREP/003/F0752F/F0752F00.HTM>

Versão em inglês: Manual of Fisheries Science. Part 2 - Methods of Resource Investigation and their Application. Apenas disponível online em:

<http://www.fao.org/DOCREP/003/F0752E/F0752E00.HTM>

Versão em espanhol: Manual de Ciencia Pesquera. Parte 2 - Métodos para Investigar los Recursos y su Aplicación. Apenas disponível online em:

<http://www.fao.org/DOCREP/003/F0752S/F0752S00.HTM>