



## Estimativas de crescimento de bivalves tropicais e subtropicais: recomendação para um método padronizado

### Growth estimations of tropical and subtropical bivalves: recommendation for a standardized method

Rafael Anaisce das Chagas & Marko Herrmann\*

Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos, Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos, Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

\*E-mail: marko@benthos.eu

Recebido: 27 de junho de 2016 / Aceito: 7 de julho de 2016 / Publicado: 4 de agosto de 2016

**Resumo** - A sequência de uma coorte especial através da análise de distribuições de frequências de comprimento (LFD), proveniente de uma temporalmente extensa amostragem quantitativa, é uma técnica comum entre ecologistas para estimar o crescimento populacional de uma única espécie. Neste método, uma dada classe anual é seguida e a alteração na dimensão média do modo é equivalente a um crescimento médio. No entanto, a análise LFD só funciona bem em espécies de bivalves com um período de reprodução ou recrutamento muito estreito, o que é normalmente o caso de bivalves de regiões temperadas e polares. Pelo contrário, uma vez que em bivalves tropicais o período de recrutamento normalmente é prolongado ou taxas de crescimento são variáveis, a análise LFD tem aplicação limitada e não pode ser útil para estimação de crescimento em espécies tropicais e subtropicais. Por consequência, o presente estudo resume as informações disponíveis sobre as estimativas de crescimento dos bivalves tropicais e subtropicais e recomenda, principalmente para pesquisadores que não dominam o idioma inglês, experimentos de marcação-recaptura em tempo curtos, usando o método de marcação fluorescente *in situ* (IFM), para medir o crescimento absoluto como um método padrão apropriado para futuros estudos de bivalves de importância econômica e ecológica, que habitam áreas climáticas tropicais e subtropicais.

**Palavras-chave:** marcação-recaptura, marcação fluorescente *in situ*, fluorocromo calceína, taxa de crescimento, ostreicultura.

**Abstract** - Following a particular cohort by analyzing length-frequency distributions (LFD), originating from a time consuming quantitative sampling, is a common technique among ecologists to estimate the population growth of a single species. In this method, a given year class is followed, and the change in the average size of the mode is equivalent to average growth. Nevertheless, LFD analysis only works well in bivalve species with a very narrow reproductive or recruitment period, which is normally the case of temperate and polar bivalves. On the contrary, since in tropical bivalves the recruitment period is usually extended or growth rates are variable, LFD analysis has limited application and may not be useful for tropical and subtropical species to estimate growth. On this account, the present study summarizes the available information on growth estimations of tropical and subtropical bivalves and recommends, mainly for researchers who do not dominate the English language, short time tagging-recapture experiments, using the *in situ* fluorescent marking (IFM) method, for measuring absolute growth as an appropriate standard method for future studies of economically and ecologically important bivalves, inhabiting tropical and subtropical climate areas.

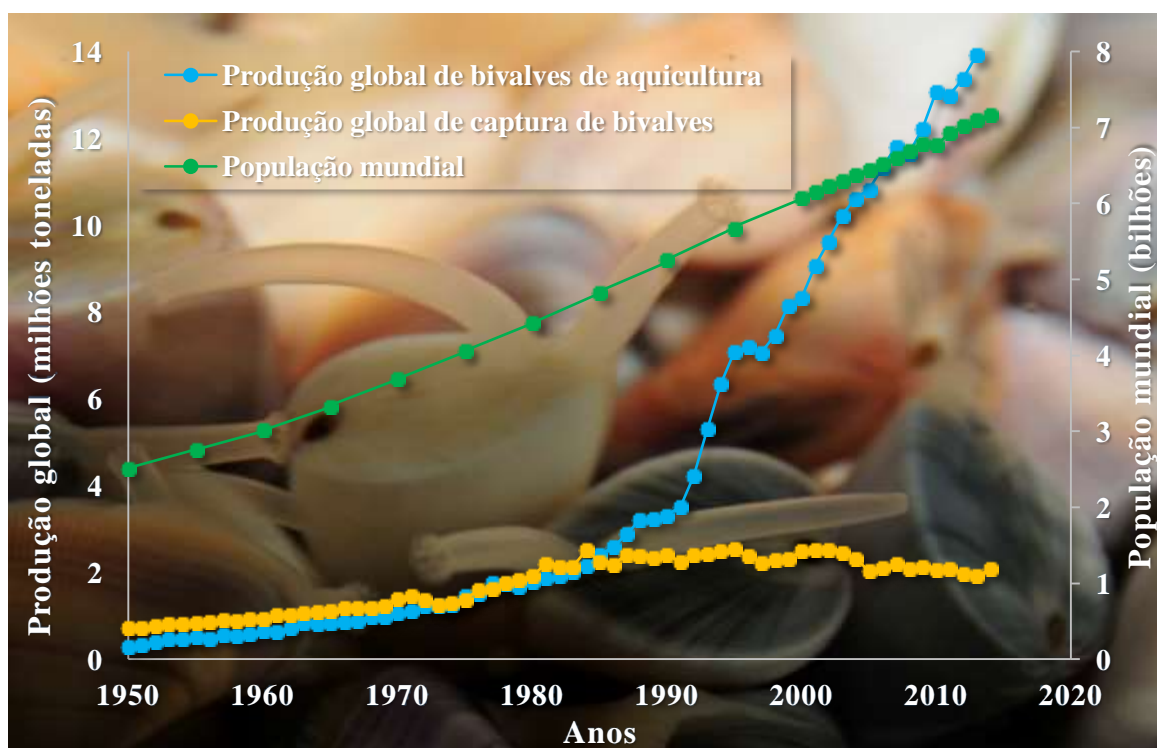
**Keywords:** tagging-recapture, *in situ* fluorescent marking, fluorochrome calcein, growth rate, ostreiculture.



## Introdução

A pesca de bivalves (ostras, mexilhões, etc.) nas regiões litorâneas é fonte cotidiana de alimento e renda para milhares de famílias. No entanto, a sobrepesca, ou seja, a pesca acima do limite impede que os indivíduos adultos das populações naturais sejam repostos por novas gerações colocando em risco esta atividade econômica (Legat, Pereira, Legat & Fogaça, 2008). Neste sentido a malacocultura, cultivo de moluscos, surge no contexto mundial como uma alternativa viável para mitigar o possível colapso da pesca, uma vez que reduz a pressão sobre os estoques naturais (Gomes, Araújo & Neto, 2008). Neste contexto, a ostreicultura, merece destaque por apresentar uma atividade em ascensão, principalmente devido sua viabilidade socioeconômica e ambiental (Chagas, 2016).

Atualmente, a produção global de aquicultura de bivalves desempenha um papel importante na alimentação humana, com uma produção que quadruplicou nos últimos 20 anos. Verifica-se que até meados da década de 1980 a pesca e aquicultura de moluscos bivalves apresentavam-se com estimativas de produção pareadas, a partir da metade dessa mesma década a malacocultura inicia um rápido crescimento até o ano de 2014, ano no qual ocorreu a última estimativa da produção (FAO, 2016). Este crescimento na produção de bivalves é resultado, por exemplo, do sucesso da mitilicultura (cultivo de mexilhões) e da ostreicultura (cultivo de ostras). Verifica-se também que, devido ao crescimento descontrolado da população mundial desde a década de 1950, o cultivo destes animais apresenta-se como uma fonte viável à obtenção de alimento fresco, já que a pesca destes moluscos está estagnada a mais de três décadas (Figura 1).



**Figura 1.** Desenvolvimento da produção global de aquicultura de bivalves no mundo (cor azul), chegando em 2014 a 14.507.196 toneladas movimentando U\$ 17.056.836.000 (mais de 17 bilhões dólares americanos), produção global de captura de bivalves (cor laranja) e número de habitantes no mundo, atingindo 7.174.611.000 bilhões de pessoas em 2014 (cor verde) (Fonte FAO, 2016).

Em 2014 o consumo mundial de bivalves superou 14,5 milhões de toneladas, movimentando mais de USD\$ 17 bilhões (FAO, 2016). No Brasil, registros do IBGE de 2014, mostraram que naquele ano a malacocultura correspondeu em torno de 2 % da aquicultura nacional, com aproximadamente 20.000 toneladas e aproximadamente R\$ 60 milhões (CNA, 2015). No estado do Pará, a produção em 2013 ficou em torno de 156.000 unidades, gerando cerca de R\$ 96 mil (Guedes, 2014).

Um excelente exemplo do sucesso na aquicultura de moluscos bivalves é a ostreicultura, cultivo de ostras, que corresponde a aproximadamente 35 % da produção mundial. No Brasil, destacam-se os cultivos de mexilhões e ostras, ambos com elevado potencial de crescimento, com destaque a região sul (CNA, 2015). Em relação às ostras nativas cultivadas nas regiões estuarinas brasileiras, destacam-se a ostra-do-

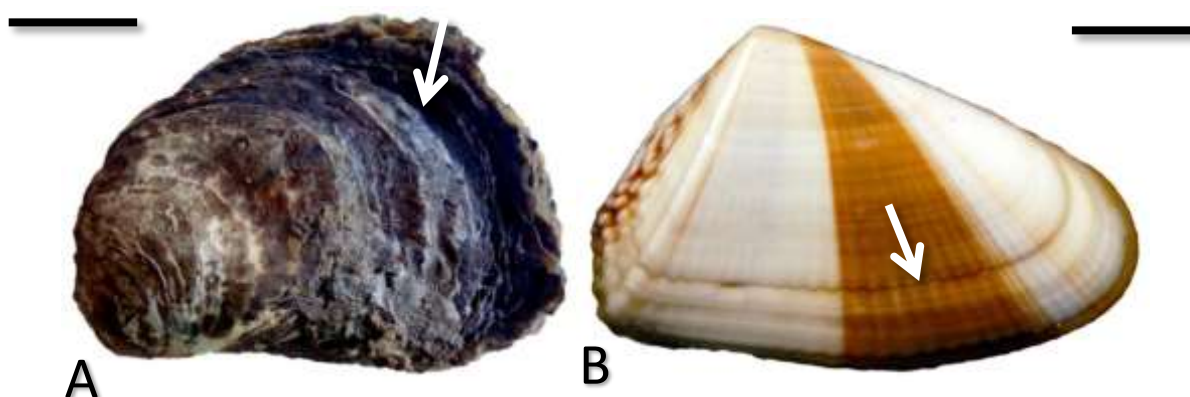
mangue (*inglês*: mangrove cupped oyster) *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828), a ostra-brasileira (*inglês*: Brazilian oyster) *Crassostrea brasiliiana* (Lamarck, 1819). Além dessas, a ostra do Pacífico, espécie exótica, (*inglês*: Pacific cupped oyster) *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793), também conhecida como ostra japonesa, apresenta uma elevada importância principalmente no estado de Santa Catarina (CNA, 2015). Os dados sobre a produção da ostreicultura no Brasil podem estar subestimados, uma vez que os levantamentos estatísticos de produção são raros na maioria dos países latinoamericanos onde as espécies ocorrem. Neste sentido o Brasil consta como produtor de *Crassostrea* spp., mas as espécies não são especificadas (Raposo, 2004).

### Determinação de crescimento de moluscos bivalves

A determinação da taxa de crescimento de um organismo fornece dados ecológicos básicos e é um dos principais parâmetros para descrever a dinâmica das populações respectivas. Na pesca, as taxas de crescimento ligadas com os dados de recrutamento são utilizadas para estimar o rendimento sustentável (Jennings, Kaiser & Reynolds, 2001; Hilborn & Walter, 2003; King, 2007). O crescimento é fortemente influenciado pelas condições ambientais, e qualquer variação no meio ambiente influenciará a sua taxa de crescimento. Estas alterações na taxa de crescimento podem ser visíveis como linhas de crescimento, ou descontinuidades abruptas no material calcificado sobre as partes duras de animais (Figura 2A).

As linhas de crescimento observadas na parte rígida podem também serem encontradas nas escamas, ossos operculares, vértebras, otólitos e espinhas de peixes, nas conchas de bivalves e gastrópodes, e em estatólitos de lulas. Estímulos ambientais que provocam uma desaceleração, interrupção ou cessação que influenciam a formação de linhas de crescimento, podem ser aleatórias ou periódicas. Eventos aleatórios tais como ciclones ou ataques malsucedidos por predadores podem causar o *stress* suficiente para produzir linhas de perturbação, embora o momento da formação dessas linhas seja desconhecido, torna-os inadequados para utilização em análises de crescimento (Figura 2B).

Eventos regulares ou periódicos podem produzir uma série de linhas periódicas, as quais, uma vez que são formadas em intervalos de tempo conhecidos, podem ser usados para estimar o crescimento. Períodos regulares resultam em linhas de crescimento ocasionados pelo movimento planetário/ dia, marés, meses lunares e anos. Eventos anuais que resultam em linhas de crescimento incluem a diminuição da temperatura das águas associados com o inverno em regiões mais frias, e a baixas salinidades associadas com a estação das chuvas em algumas regiões tropicais. As linhas podem também ser formadas durante a desova, que não pode ser considerado um evento anual. Linhas de crescimento podem também ser formadas em intervalos mais curtos, tais como o mês lunar e o dia solar, no qual as variações de crescimento podem estar associadas à alterações no comportamento ou à disponibilidade de alimento.



**Figura 2.** Conchas de *Crassostrea rhizophorae* destacando linhas periódicas de crescimento (seta) (A) e de *Donax hanleyanus* mostrando uma série de faixas concêntricas, as quais podem ter sido formadas, por exemplo, nas estações do ano (B). A segunda banda externa a partir do umbo (seta) de *D. hanleyanus* é provavelmente resultante de um ataque malsucedido por um predador ou uma diferença na composição dos alimentos. Escalas: A = 10 cm, B = 10 mm  
**Fonte:** A: Arquivo próprio dos autores, B: Herrmann, 2009 (B).



As pesquisas concentram-se no desenvolvimento de métodos adequados para determinar o crescimento, principalmente devido à importância de muitas espécies de bivalves que são comercialmente e artesanalmente explorados (McLachlan et al., 1996). Vários métodos foram usados para medir as taxas de aumento do crescimento da concha, incluindo (I) análise de incremento de tamanho através de experimentos de marcação e recaptura, como por exemplo o método de marcação fluorescente *in situ* (inglês: *in situ* fluorescent marking [IFM] method), (II) análise de distribuições de frequência de comprimentos (inglês: length-frequency distributions [LFD] analysis), (III) análise do anel de crescimento da concha, (IV) análise dos isótopos estáveis e (V) análise de idade utilizando o pigmento autofluorescente lipofuscina (Tabela 1).

O conhecimento de novas técnicas em estudos de crescimento de organismos em regiões subtropicais ou tropicais, assim como as ostras o gênero *Crassostrea*, são de vital importância para o desenvolvimento do cultivo desses organismos. Ao determinar-se, com eficácia, as taxas de crescimento desses bivalves, pode-se maximizar a taxa de crescimento, com medidas de condições favoráveis conhecidas ao desenvolvimento dos moluscos e minimizar os custos de produção, possibilitando o a ampliação da produção nacional e a competição a nível mundial.

**Tabela 1.** Taxas de crescimento de bivalves artesanalmente coletados e comercialmente usados têm sido bem estudados por um grande número de autores, usando uma variedade de métodos: (I) análise de incremento de tamanho através de experimentos de marcação e recaptura, (II) análise de distribuições de frequência de comprimentos, (III) análise do anel de crescimento da concha, (IV) análise dos isótopos estáveis e (V) análise de idade utilizando o pigmento autofluorescente lipofuscina.

Análise	Referência
I (etiquetas)	Heald (1978); Mitchell, Crawford & Rushton (2000); Honkoop & Bayne (2002); Riascos & Urban (2002); Hart & Joll (2006); Kimbro, Largier & Grosholz (2009)
I (gravuras)	Ropes & Merrill (1970); Richardson (1989); Richardson, Seed & Naylor (1990); McQuaid & Lindsay (2000); Laudien, Brey & Arntz (2003)
I (marcas de tintas)	Seed (1969); Beal, Bayer, Kraus & Chapman (1999); Kesler, Newton & Green (2007); Hollebhone & Hay (2008)
I (corantes fluorescentes)	Hidu & Hanks (1968); Richardson, Crisp & Runham (1979); Parsons, Robinson, Roff & Dadswell (1993); Rowley & Mackinnon (1995); Kaehler & McQuaid (1999); Sato-Okoshi & Okoshi (2002); Heilmayer et al. (2005); Miyaji, Tanabe & Schöne (2007); Riascos et al. (2007); Herrmann, Lepore, et al. (2009); Lepore, Penchaszadeh, Alfaya & Herrmann (2009); Caceres-Puig, Huato-Soberanis, Melo-Barrera & Saucedo (2011); Linard et al. (2011)
II	Nayar (1955); Alagarwami (1966); Talikhedkar, Mane & Nagabhushanam (1976); Arntz, Brey, Tarazona & Robles (1987); Gaspar, Ferreira & Monteiro (1999); Herrmann, Carstensen, et al. (2009); Herrmann, Lepore, et al. (2009); Herrmann et al. (2011); Lopes, Gomes, Tureck & Melo (2013); Grizzle et al. (2016)
III	Capezzani, Oliver & Penchaszadeh (1971); Ansell & Lagardère (1980); Guillou & Le Moal (1980); Sasaki (1981); Richardson (1989); Ramon, Abello & Richardson (1995); Fiori & Morsán (2004); Morsán & Orensanz (2004)
IV	Jones, Williams & Arthur (1983); Brey & Mackensen (1997); Heilmayer et al. (2003); Carré et al. (2005); Jones, Quitmyer & Andrus (2005); Schöne & Giere (2005)
V	Lomovasky, Morriconi, Brey & Calvo (2002); Bosley & Dumbauld (2011); Guerra et al. (2012); Hiebenthal, Philipp, Eisenhauer & Wahl (2012)

Fonte: Tabela expandido de Herrmann, Lepore, et al. (2009).

As análises de distribuição da frequência de tamanho são amplamente utilizadas para estimar a taxa de crescimento em espécies de climas temperados com coortes identificáveis, regiões de pico e com um ciclo reprodutivo cíclico (Herrmann, Alfaya, et al., 2009; Herrmann, Carstensen, et al., 2009; Herrmann, Rocha Barreira de Almeida, et al., 2009; Herrmann et al., 2011). No entanto, em espécies subtropicais a reprodução e o crescimento, muitas vezes ocorrem durante o ano todo, resultando na ausência de coortes claramente definidos (Urban, 2001), devido a isso as análises de distribuição da frequência de tamanho podem não ser adequadas para estimar o crescimento de espécies em regiões tropicais (Sparre & Venema, 1998).

Nessas espécies, experimentos de marcação e recaptura parecem ser mais apropriados para estimar as taxas de crescimento, pois são mais baratos e fáceis de aplicar (Herrmann, Lepore, et al., 2009; Lepore, Penchaszadeh, Alfaya & Herrmann, 2009). No entanto, os métodos tradicionais de marcação mostrados na Tabela 1, envolvem a manipulação física das conchas, o que pode levar a interrupção do crescimento de





concha (Jones, Thompson & Ambrose, 1978). Além disso, bivalves juvenis muitas vezes não podem ser marcados do modo clássico devido ao seu pequeno tamanho e seu difícil manejo. No entanto, eles são necessários para o cálculo da curva de crescimento de von Bertalanffy (1938) da população estudada.

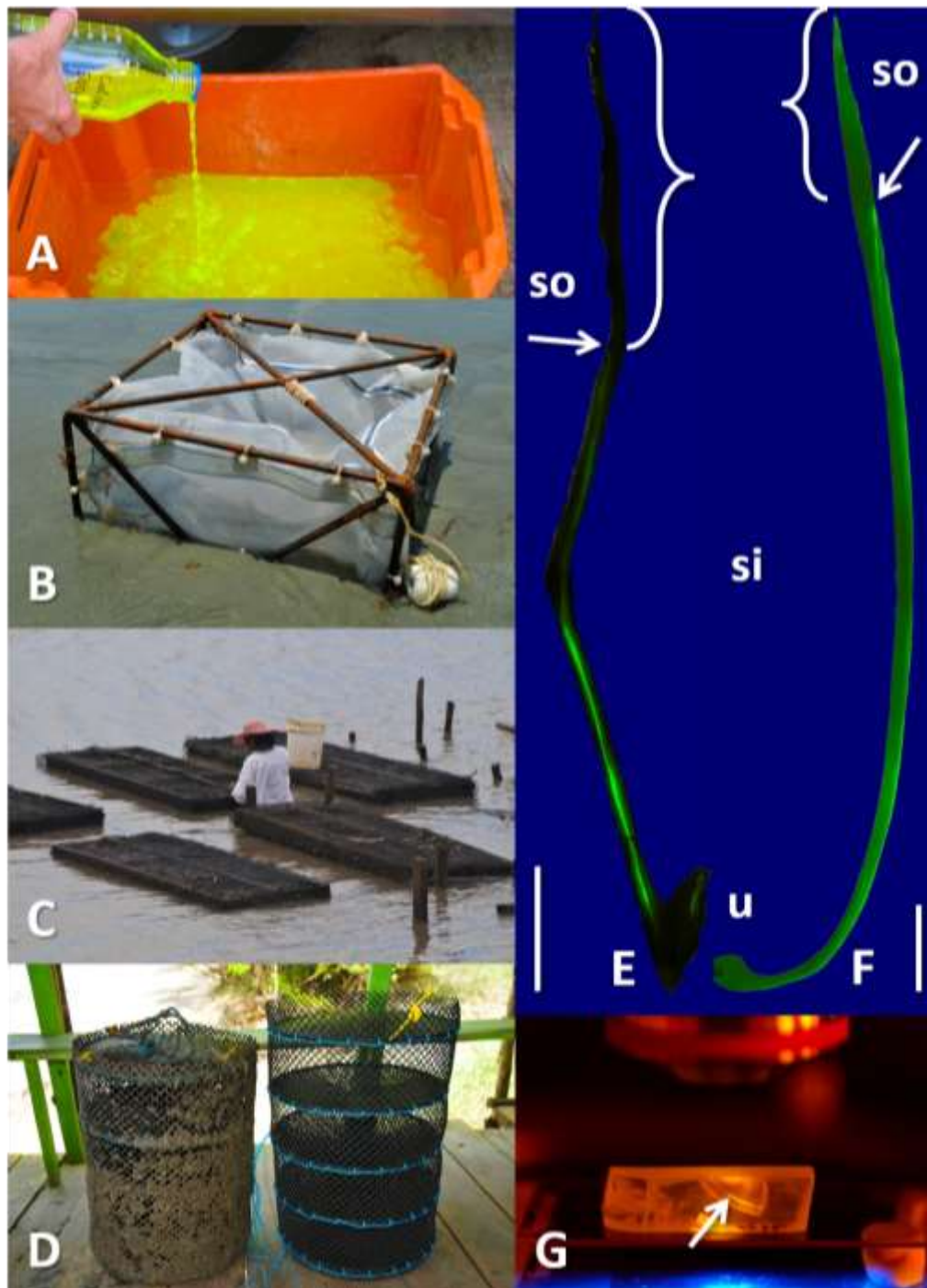
Recentemente, as técnicas químicas foram utilizadas para estudos de crescimento de moluscos, utilizando fluorocromos como, por exemplo, as tetraciclina, laranja de xilenol, vermelho de alizarina e calceína (Day, Williams & Hawkes, 1995; Rowley & Mackinnon, 1995; Kaehler & McQuaid, 1999; Moran, 2000; Thébault et al., 2006; Riascos et al., 2007; Lucas et al., 2008; Herrmann, Lepore, et al., 2009; Lepore, Penchaszadeh, Alfaya & Herrmann, 2009; Caceres-Puig, Huato-Soberanis, Melo-Barrera & Saucedo, 2011; Linard et al., 2011; van der Geest et al., 2011). Os fluorocromos são incorporados no carbonato de cálcio recém mineralizado que compõe a concha, fornecendo uma marca de crescimento de referência verde, fluorescente e brilhante, que é visível sob um microscópio de fluorescência equipado com luz azul e a partir do qual o crescimento da concha pode ser medido (Wilson, Beckman & Dean, 1987). Obviamente, para ser um marcador de crescimento adequado, fluorocromos não devem ser tóxicos e não devem afetar negativamente o crescimento ou a sobrevivência. Uma série de estudos sobre moluscos bivalves indicam que o fluorocromo calceína proporciona marcas fluorescentes de longa duração sem efeitos negativos detectáveis sobre o desempenho do crescimento e sobrevivência (Eads & Layzer, 2002; Heilmayer et al., 2005; Moran & Marko, 2005; Riascos et al., 2007; Lucas et al., 2008; Herrmann, Lepore, et al., 2009; Lepore, Penchaszadeh, Alfaya & Herrmann, 2009).

### Técnicas de marcação com calceína

A análise de crescimento das populações de ostras subtropicais do gênero *Crassostrea* sp., pode ser realizado num experimento de marcação *in situ*, utilizando o marcador de fluorescência calceína. As ostras podem ser coletadas no manguezal ou utilizadas de um cultivo (no total mínimo de 320 indivíduos). Para evitar altas taxas de mortalidade durante a marcação (Figura 3A), recomenda-se levar os indivíduos para testes (por ex. 240 indivíduos), a um laboratório com condições controlado. Estes indivíduos devem ser mantidos em água a temperatura ambiente, em tanques aerados e escuros para prevenir a degradação química da fluorescência durante o período de imersão.

Além deste, deve-se manter um grupo controle não marcado de, por exemplo, 80 espécimes, onde devem ser mantidos nas mesmas condições. A concentração e o período de imersão do marcador de calceína (50 mg L<sup>-1</sup> por 3 h) devem ser escolhidos de acordo com estudos realizados com outros bivalves (Heilmayer et al., 2005; Riascos et al., 2007; Herrmann, Lepore, et al., 2009; Lepore, Penchaszadeh, Alfaya & Herrmann, 2009; van der Geest et al., 2011). Após a imersão, os animais testes devem ser soltos *in situ* em berçários experimentais tipo caixa flutuante (Figura 3B), travesseiros (Figura 3C), lanternas (Figura 3D) ou qualquer outro sistema que facilite o manuseio durante o experimento, em quadruplicata, por pelo menos 42 dias. A cada sete dias durante oito semanas, os bivalves em teste devem ser sacrificados e as conchas vazias devem ser limpas e secas.

Para a análise das marcas de crescimento já incorporadas, os animais devem ser levados ou a um laboratório equipado com o sistema esclerocronologia, necessário para observação das marcas. Uma seção transversal da concha deve ser cortada do eixo maior do crescimento com uma serra com disco de diamante após ser embebido em resina em base de epoxicure, catalisado com endurecedor. Posteriormente, as amostras seccionadas devem ser sucessivamente polidas sobre um painel de vidros com diferentes graus de carboneto de silício em pó, e finalmente com uma suspensão de óxido de alumínio. As marcas devem ser detectadas através de fotografias sobre um microscópio fluorescente, usando luz azul do comprimento de onda de 460 a 490 nm (Figura 3E e 3F). O crescimento das ostras deve ser determinado com medidas micrométricas da distância entre a marca corada e a margem do crescimento. O crescimento absoluto deve ser medido através do crescimento da concha ao longo do tempo. Uma função de crescimento de von Bertalanffy (1938) deve ser ajustada para dados de crescimento, derivados das marcas fluorescentes (Figura 3G), usando o software FiSAT II (Gayanilo, Sparre & Pauly, 2005).



**Figura 3** - Experimentos *in situ* de estudos do crescimento de bivalves, apresentando (A) calceína diluída em água (50-150 mg/litro, depende da espécie experimental e do tempo da marcação), desenhos de berçários experimentais tipo (B) gaiola de 40x40x40cm revestido internamente com uma malha de nylon de um milímetro na zona intermareal de uma praia arenosa, (C) mesas de tamanho variados, assim como a profundidade, geralmente a uma altura de 1,50 m do sedimento e (D) lanternas de 80x40cm, exemplificando uma lanterna suja (esquerda) após um período mensal exposto a água e um exemplo de lanterna nova (direita). Seções transversais das conchas, observado através de um microscópio de fluorescência, equipado com luz azul, de (E) *Crassostrea rhizophorae* com comprimento total da concha de 80,23 mm, cresceu em 104 dias experimentais *in situ* 25,47 mm (chave), autofluorescência da concha visível, (F) *Amarilladesma mactroides* com comprimento total da concha de 9,93 mm, depois do experimento de crescimento *in situ* de 45 dias, amostrando o incremento de crescimento de 1,83 mm (chave) e a autofluorescência da concha (so: exterior da concha, si: interior da concha, u: umbo, setas: marca de calceína, escalas: E = 10 mm, F = 1 mm) e (G) *Donax hanleyanus* embutido em um bloco de resina em base de epoxicure, coletado após 45 dias de tempo experimental, mostrando a marca de calceína, visível a olho nu (a seta indica o novo material acumulado no tempo experimental). Fontes: A, B e G (Herrmann, Alfaya, et al., 2009), C, D e E arquivos próprios dos autores, e F (Lepore, Penchaszadeh, Alfaya & Herrmann, 2009).



## Considerações finais

Desde que os bivalves tropicais e subtropicais exibem eventos de desova contínua durante o ano e podem recrutar durante um período mais longo, em comparação com os bivalves de regiões temperadas, a análise de distribuições de frequências de comprimento (LFD) não é útil para estimar o crescimento destes bivalves (Sparre & Venema, 1998; Herrmann, 2009; Herrmann, Lepore, et al., 2009; Lepore, Penchaszadeh, Alfaya & Herrmann, 2009; Herrmann, 2011; Gosling, 2015). Consequentemente, experimentos de marcação-recaptura em tempo curtos, utilizando o método de marcação fluorescente *in situ* (IFM), são recomendados para estimar o crescimento adequado de bivalves tropicais e subtropicais. Os autores deste trabalho gostariam de destacar que editores das revistas nacionais e internacionais não deveriam mais aceitar manuscritos para publicar estudos de crescimentos de bivalves tropicais e/ou subtropicais aplicando a LFD.

A aplicação do IFM, o fluorocromo calceína pode ser usado como marcador de fluorescência, que é adequado para estimar o crescimento de bivalves tropicais e subtropicais, nativos e cultivados. O método é relativamente econômico, pode ser aplicado num curto período de tempo e não afeta a sobrevivência dos organismos que forem marcados. A eficiência na marcação de vários bivalves estudados atesta que a calceína produz marcas evidentes em moluscos o que torna possíveis estudos de crescimento de curta duração e de alta resolução.

Estudos realizados por Day, Williams & Hawkes (1995) com *Haliotis rubra* Leach, 1814, Kaehler & McQuaid (1999) com *Perna perna* (Linnaeus, 1758), Heilmayer et al. (2005) com *Adamussium colbecki*, Riascos et al. (2007) com *Concholepas concholepas* e *Mesodesma mactroides*, Herrmann, Lepore, et al. (2009) com *Donax hanleyanus*, Lepore, Penchaszadeh, Alfaya & Herrmann (2009) com *Mesodesma mactroides* e van der Geest et al. (2011) com *Loripes lacteus* sustentam que a calceína pode ser recomendada como um marcador não letal para bivalves naturais e cultivadas, habitando áreas climáticas tropicais e subtropicais.

Apesar do alto valor comercial de ostras, até hoje existem apenas dois estudos publicados utilizando o marcador calceína para estimar o crescimento da ostra perliífera *Pteria sterna* no México (Caceres-Puig, Huato-Soberanis, Melo-Barrera & Saucedo, 2011) da ostra-dos-lábios-negros *Pinctada margaritifera* na Polinésia Francesa (Linard et al., 2011). Entretanto, a análise de incremento de tamanho através de experimentos de marcação e recaptura, utilizando calceína como marcador é, como já mencionado nesse trabalho, a mais apropriada para estimar o crescimento de espécies subtropicais e tropicais, incluindo as ostras naturais. Além disso, este método possibilita a estimação bem exata de crescimento, e até identificar o crescimento diário (micro-crescimento) do organismo que realmente é interessante e muito útil para que a aquicultura de ostras seja rentável.

## Referências

- Alagarawami, K. (1966). Studies on some aspects of biology of the wedge-clam *Donax faba* Gmelin from Mandapam coast in the Gulf of Mannar. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*. 8: 56-75.
- Ansell, A. D., & Lagardère, F. (1980). Observations on the biology of *Donax trunculus* and *D. vittatus* at Ile d'Oleron (French Atlantic Coast). *Marine Biology*. 574: 287-300.
- Arntz, W. E., Brey, T., Tarazona, J., & Robles, A. (1987). Changes in the structure of a shallow sandy-beach community in Peru during an El Niño event. *South African Journal of Marine Science*. 5: 645-58.
- Beal, B. F., Bayer, R., Kraus, G. M., & Chapman, S. R. (1999). A unique shell marker in juvenile, hatchery-reared individuals of the softshell clam, *Mya arenaria* L. *Fishery Bulletin*. 97: 380-86.
- Bosley, K. M., & Dumbauld, B. R. (2011). Use of extractable lipofuscin to estimate age structure of ghost shrimp populations in west coast estuaries of the USA. *Marine Ecology Progress Series*. 428: 161-76.
- Brey, T., & Mackensen, A. (1997). Stable isotopes prove shell growth bands in the Antarctic bivalve *Laternula elliptica* to be formed annually. *Polar Biology*. 17: 465-68.
- Caceres-Puig, J. I., Huato-Soberanis, L., Melo-Barrera, F. N., & Saucedo, P. E. (2011). Use of calcein to estimate and validate age in juveniles of the winged pearl oyster *Pteria sterna*. *Aquatic Living Resources*. 243: 329-35.
- Capezzani, D. A. A., Oliver, S. R., & Penchaszadeh, P. E. (1971). Capítulo III: Dinámica de población. *In*:





- S. R. Olivier, D. Capezzani, J. Carreto, H. Christiansen, V. Moreno, J. A. de Moreno, & P. E. Penchaszadeh (Ed.). *Estructura de la Comunidad, Dinámica de la Población y Biología de la Almeja Amarilla (Mesodesma mactroides) en Mar Azul* (pp. 49-64).
- Carré, M., Bentaleb, I., Blamart, D., Ogle, N., Cardenas, F., Zevallos, S., Kalin, M. R., Ortlieb, L., & Fontigne, M. (2005). Stable isotopes and sclerochronology of the bivalve *Mesodesma donacium*: Potential application to Peruvian paleoceanographic reconstructions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 228: 4-25.
- Chagas, R. A. (2016). *Biofouling no cultivo da ostra-do-mangue Crassostrea rhizophorae (Guilding, 1828) (Bivalvia: Ostreidae) em um estuário amazônico* [Monografia de Graduação]. Belém (PA): Universidade Federal Rural da Amazônia.
- CNA (2015). Aquicultura: atividade em ascensão. *Boletim Ativos Aquicultura*. 1 ed., junho. 1(1): 1-4
- Day, R. W., Williams, M. C., & Hawkes, G. P. (1995). A comparison of fluorochromes for marking abalone shells. *Marine and Freshwater Research*. 46: 599-605.
- Eads, C. B., & Layzer, J. B. (2002). How to pick your mussels out of a crowd: Using fluorescence to mark juvenile freshwater mussels. *Journal of the North American Benthological Society*. 213: 476-86.
- FAO. (2016). Fisheries and Aquaculture Information and Statistics Branch. Acesso em: 20/07/2016.
- Fiori, S. M., & Morsán, E. M. (2004). Age and individual growth of *Mesodesma mactroides* (Bivalvia) in the southernmost range of its distribution. *Journal of Marine Science*. 61: 1253-59.
- Gaspar, M. B., Ferreira, R., & Monteiro, C. C. (1999). Growth and reproductive cycle of *Donax trunculus* L., (Mollusca: Bivalvia) off Faro, southern Portugal. *Fisheries Research*. 41: 309-16.
- Gayanilo, F. C., Sparre, P., & Pauly, D. (2005). *FAO-ICLARM Stock Assessment Tools II (FiSAT II). User's guide*. FAO Computerized Information Series (Fisheries). No. 8, Revised version. Rome: FAO.
- Gomes, R. S., Araújo, R. C. P., & Neto, M. P. D. (2008). Contribuição da ostreicultura para formação da renda familiar: Estudo de caso do projeto de ostreicultura comunitário da Fundação Alphaville, Eusébio - Ceará. *XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural*. 21.
- Gosling, E. (2015). *Marine Bivalve Molluscs*. Pondicherry, India: John Wiley & Sons, Ltda.
- Guedes, S. (2014). *Ostreicultura gera renda para famílias paraenses*. SEBRAE/PA. Acessado em: 28 de novembro de 2015 Disponível em: <http://www.pa.agenciasebrae.com.br/sites/asn/uf/PA/Ostreicultura-gera-renda-para-fam%C3%ADlias-do-nordeste-paraense>. Acesso em: 13 de junho de 2016.
- Guerra, C., Zenteno-Savin, T., Maeda-Martinez, A. N., Philipp, E. E., & Abele, D. (2012). Changes in oxidative stress parameters in relation to age, growth and reproduction in the short-lived catarina scallop *Argopecten ventricosus* reared in its natural environment. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 1624: 421-30.
- Guillou, J., & Le Moal, Y. (1980). Aspects de la dynamique des populations de *Donax trunculus* et *Donax vittatus* en baie de Douarnenez. *Annales de l'Institut Océanographique (Paris)*. 561: 55-64.
- Hart, A. M., & Joll, L. M. (2006). Growth, mortality, recruitment and sex-ratio in wild stocks of silver-lipped pearl oyster *Pinctada maxima* (Jameson) (Mollusca: Pteriidae), in Western Australia. *Journal of Shellfish Research*. 251: 201-10.
- Heald, D. (1978). A successful marking method for the saucer scallop *Amusium balloti* (Bernardi). *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*. 29: 845-51.
- Heilmayer, O., Brey, T., Chiantore, M., Cattaneo-Vietti, R., & Arntz, W. E. (2003). Age and productivity of the Antarctic scallop, *Adamussium colbecki*, in Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 288: 239-56.
- Heilmayer, O., Honnen, C., Jacob, U., Chiantore, M., Cattaneo-Vietti, R., & Brey, T. (2005). Temperature effects on summer growth rates in the Antarctic scallop, *Adamussium colbecki*. *Polar Biology*. 28: 523-27.
- Herrmann, M. (2009). Population dynamics of the surf clams *Donax hanleyanus* and *Mesodesma mactroides* from open-Atlantic beaches off Argentina. *Reports on Polar and Marine Research*. 585: 235.





- Herrmann, M. (2011). *Population dynamics of the Argentinean surf clams: Population dynamics of the surf clams *Donax hanleyanus* and *Mesodesma mactroides* from open-Atlantic beaches off Argentina*. Saarbrücken, Germany: Südwestdeutscher Verlag für Hochschulschriften.
- Herrmann, M., Alfaya, J. E. F., Lepore, M. L., Penchaszadeh, P. E., & Arntz, W. E. (2011). Population structure, growth and production of the yellow clam *Mesodesma mactroides* (Bivalvia: Mesodesmatidae) from a high-energy, temperate beach in northern Argentina. *Helgoland Marine Research*. 653: 285-97.
- Herrmann, M., Alfaya, J. E. F., Lepore, M. L., Penchaszadeh, P. E., & Laudien, J. (2009). Reproductive cycle and gonad development of the Northern Argentinean *Mesodesma mactroides* (Bivalvia: Mesodesmatidae). *Helgoland Marine Research*. 633: 207-18.
- Herrmann, M., Carstensen, D., Fischer, S., Laudien, J., Penchaszadeh, P. E., & Arntz, W. E. (2009). Population structure, growth and production of the wedge clam *Donax hanleyanus* (Bivalvia: Donacidae) from northern Argentinean beaches. *Journal of Shellfish Research*. 283: 511-26.
- Herrmann, M., Lepore, M. L., Laudien, J., Arntz, W. E., & Penchaszadeh, P. E. (2009). Growth estimations of the Argentinean wedge clam *Donax hanleyanus*: A comparison between length-frequency distribution and size-increment analysis. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 3791-2: 8-15.
- Herrmann, M., Rocha Barreira de Almeida, C., Arntz, W. E., Laudien, J., & Penchaszadeh, P. E. (2009). Testing the habitat harshness hypothesis: Reproductive biology of the wedge clam *Donax hanleyanus* (Bivalvia: Donacidae) on three Argentinean sandy beaches with contrasting morphodynamics. *Journal of Molluscan Studies*. 761: 33-47.
- Hidu, H., & Hanks, J. E. (1968). Vital staining of bivalve mollusk shells with alizarin sodium monosulfonate. *Proceedings of the National Shellfisheries Association*. 58: 37-41.
- Hiebenthal, C., Philipp, E. E. R., Eisenhauer, A., & Wahl, M. (2012). Interactive effects of temperature and salinity on shell formation and general condition in Baltic Sea *Mytilus edulis* and *Arctica islandica*. *Aquatic Biology*. 143: 289-98.
- Hilborn, R., & Walter, C. J. (2003). *Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics and Uncertainty*. Springer US.
- Hollebone, A. L., & Hay, M. E. (2008). An invasive crab alters interaction webs in a marine community. *Biological Invasions [Biol. Invasions]*. 103: 347-58.
- Honkoop, P. J. C., & Bayne, B. L. (2002). Stocking density and growth of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) and the Sydney rock oyster (*Saccostrea glomerata*) in Port Stephens, Australia. *Aquaculture*. 2131-4: 171-86.
- Jennings, S., Kaiser, M. J., & Reynolds, J. D. (2001). *Marine Fisheries Ecology*. Hong Kong: Wiley-Blackwell.
- Jones, D. S., Quitmyer, I. R., & Andrus, F. T. (2005). Oxygen isotopic evidence for greater seasonality in Holocene shells of *Donax variabilis* from Florida. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 228: 96-108.
- Jones, D. S., Thompson, I., & Ambrose, W. (1978). Age and growth rate determinations for the Atlantic surf clam *Spisula solidissima* (Bivalvia: Mactracea), based on internal growth lines in shell cross-sections. *Marine Biology*. 471: 63-70.
- Jones, D. S., Williams, D. F., & Arthur, M. A. (1983). Growth history and ecology of the Atlantic surf clam, *Spisula solidissima* (Dillwyn), as revealed by stable isotopes and annual shell increments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 73: 225-42.
- Kaehler, S., & McQuaid, C. D. (1999). Use of the fluorochrome calcein as an *in situ* growth marker in the brown mussel *Perna perna*. *Marine Biology*. 133: 455-60.
- Kesler, D. H., Newton, T. J., & Green, L. (2007). Long-term monitoring of growth in the Eastern Elliptio, *Elliptio complanata* (Bivalvia: Unionidae), in Rhode Island: a transplant experiment. *Journal of the North American Benthological Society*. 261: 123-33.
- Kimbrow, D. L., Largier, J., & Grosholz, E. D. (2009). Coastal oceanographic processes influence the



growth and size of a key estuarine species, the Olympia oyster. *Limnology and Oceanography*. 545: 1425-37.

King, M. (2007). *Fisheries Biology, Assessment and Management*. Singapore: Blackwell Science.

Laudien, J., Brey, T., & Arntz, W. E. (2003). Population structure, growth and production of the surf clam *Donax serra* (Bivalvia, Donacidae) on two Namibian sandy beaches. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 58: 105-15.

Legat, J. F. A., Pereira, A. M. L., Legat, A. P., & Fogaça, F. H. d. S. (2008). *Programa de Cultivo de Moluscos Bivalves da Embrapa Meio-Norte*. Teresina - PI: Embrapa Meio-Norte.

Lepore, M. L., Penchaszadeh, P. E., Alfaya, J. E. F., & Herrmann, M. (2009). Aplicación de calceína para la estimación del crecimiento de la almeja amarilla *Mesodesma mactroides* Reeve, 1854. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 443: 767-74.

Linard, C., Gueguen, Y., Moriceau, J., Soyez, C., Hui, B., Raoux, A., Cuif, J. P., Cochard, J.-C., Le Pennec, M., & Le Moullac, G. (2011). Calcein staining of calcified structures in pearl oyster *Pinctada margaritifera* and the effect of food resource level on shell growth. *Aquaculture*. 3131-4: 149-55.

Lomovasky, B. J., Morriconi, E., Brey, T., & Calvo, J. (2002). Individual age and connective tissue lipofuscin in the hard clam *Eurhomalea exalbida*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 276: 83-94.

Lopes, G. R., Gomes, C. H. A. d. M., Tureck, C. R., & Melo, C. M. R. d. (2013). Growth of *Crassostrea gasar* cultured in marine and estuary environments in Brazilian waters. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 487: 975-82.

Lucas, T., Palmer, P. J., Wang, S., Scoones, R., & O'Brien, E. (2008). Marking the shell of the saucer scallop *Amusium balloti* for sea ranching using oxytetracycline, calcein and alizarin red S. *Journal of Shellfish Research*. 275: 1183-88.

McLachlan, A., Dugan, J. E., Defeo, O., Ansell, A. D., Hubbard, D. M., Jaramillo, E., & Penchaszadeh, P. E. (1996). Beach clam fisheries. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*. 34: 163-232.

McQuaid, C. D., & Lindsay, T. L. (2000). Effect of wave exposure on growth and mortality rates of the mussel *Perna perna*: Bottom-up regulation of intertidal populations. *Marine Ecology Progress Series*. 206: 147-54.

Mitchell, I. M., Crawford, C. M., & Rushton, M. J. (2000). Flat oyster (*Ostrea angasi*) growth and survival rates at Georges Bay, Tasmania (Australia). *Aquaculture*. 1914: 309-21.

Miyaji, T., Tanabe, K., & Schöne, B. R. (2007). Environmental controls on daily shell growth of *Phacosoma japonicum* (Bivalvia: Veneridae) from Japan. *Marine Ecology Progress Series*. 336: 141-50.

Moran, A. L. (2000). Calcein as a marker in experimental studies newly-hatched gastropods. *Marine Biology*. 137: 893-98.

Moran, A. L., & Marko, P. B. (2005). A simple technique for physical marking of larvae of marine bivalves. *Journal of Shellfish Research*. 242: 567-71.

Morsán, E. M., & Orensanz, J. M. L. (2004). Age structure and growth in an unusual population of purple clams, *Amiantis purpuratus* (Lamarck, 1818) (Bivalvia: Veneridae), from Argentine Patagonia. *Journal of Shellfish Research*. 231: 73-80.

Nayar, K. N. (1955). Studies on the growth of the wedge clam, *Donax (Latona) cuneatus* L. *Indian Journal of Fisheries*. 2: 325-48.

Parsons, G. J., Robinson, S. M. C., Roff, J. C., & Dadswell, M. J. (1993). Daily growth rates as indicated by valve ridges in postlarval giant scallop (*Placopeten magellanicus*) (Bivalvia: Pectinidae). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 50: 456-64.

Ramon, M., Abello, P., & Richardson, C. A. (1995). Population structure and growth of *Donax trunculus* (Bivalvia: Donacidae) in the western Mediterranean. *Marine Biology*. 1214: 665-71.

Raposo, R. S. (2004). *Estudo do mercado varejista de moluscos bivalves em Fortaleza, Ceará*



[Monografia]. Fortaleza (CE): Universidade Federal do Ceará.

Riascos, J. M., Guzman, N., Laudien, J., Heilmayer, O., & Oliva, M. (2007). Suitability of three stains to mark shells of *Concholepas concholepas* (Gastropoda) and *Mesodesma donacium* (Bivalvia). *Journal of Shellfish Research*. 26(1): 43-49.

Riascos, J. M., & Urban, H.J. (2002). Dinámica poblacional de *Donax dentifer* (Veneroidea: Donacidae) en Bahía Málaga, Pacífico colombiano durante el fenómeno “El Niño” 1997/1998. *Revista de biología tropical*. 50(3/4): 1113-23.

Richardson, C. A. (1989). An analysis of microgrowth bands in the shell of the common mussel *Mytilus edulis*. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*. 69: 477-91.

Richardson, C. A., Crisp, D. J., & Runham, N. W. (1979). Tidally deposited growth bands in the shell of the common cockle, *Cerastoderma edule* (L.). *Malacologia*. 18: 277-90.

Richardson, C. A., Seed, R., & Naylor, E. (1990). Use of internal growth bands for measuring individual and population growth rates in *Mytilus edulis* from offshore production platforms. *Marine Ecology Progress Series*. 66(3): 259-65.

Ropes, J. W., & Merrill, A. S. (1970). Marking surf clams. *Proceedings of the National Shellfisheries Association*. 60: 99-106.

Rowley, R. J., & Mackinnon, D. I. (1995). Use of the fluorescent marker calcein in biomineralisation studies of brachiopods and other marine organisms. *Bulletin de l'Institut Océanographique (Monaco)*. Spec. Issue 14 part 2: 111-20.

Sasaki, K. (1981). Growth of the sakhalin surf clam, *Spisula sachalinensis* (Scherenck), in Sendai Bay. *Tohoku Journal of Agricultural Research*. 32: 168-80.

Sato-Okoshi, W., & Okoshi, K. (2002). Application of fluorescent substance to the analysis of growth performance in Antarctic bivalve, *Laternula elliptica*. *Polar Bioscience*. 15: 66-74.

Schöne, B., & Giere, O. (2005). Growth increments and stable isotope variation in shells of the deep-sea hydrothermal vent bivalve mollusk from the North Fiji Basin, Pacific Ocean. *Deep-Sea Research I*. 52(10): 1896-910.

Seed, R. (1969). The ecology of *Mytilus edulis* L. (Lamellibranchiata) on exposed rocky shores. *Oecologia*. 3: 317-50.

Sparre, P., & Venema, S. C. (1998). Introduction to Tropical Fish Stock Assessment. Part 1. Manual. *FAO Fisheries Technical Paper 306/1*. Rev. 2: 407.

Talikhedkar, P. M., Mane, U. H., & Nagabhushanam, R. (1976). Growth rate of the wedge clam *Donax cuneatus* at Miriya Bay, Ratnagiri. *Indian Journal of Fisheries*. 23: 183-93.

Thébault, J., Chauvaud, L., Clavier, J., Fichez, R., & Morize, E. (2006). Evidence of a 2-day periodicity of striae formation in the tropical scallop *Comptopallium radula* using calcein marking. *Marine Biology*. 149(2): 257-67.

Urban, H.-J. (2001). Reproductive strategies in tropical bivalves (*Pteria colymbus*, *Pinctada imbricata* and *Pinna carnea*): Temporal coupling of gonad production and spat abundance related to environmental variability. *Journal of Shellfish Research*. 20(3): 1127-1134.

van der Geest, M., van Gils, J. A., van der Meer, J., Olff, H., & Piersma, T. (2011). Suitability of calcein as an in situ growth marker in burrowing bivalves. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 399(1): 1-7.

von Bertalanffy, L. (1938). A quantitative theory of organic growth. *Human Biology*. 10(2): 181-213.

Wilson, C. A., Beckman, D. W., & Dean, J. M. (1987). Calcein as a fluorescent marker of otoliths of larval and juvenile fish. *Transactions of the American Fisheries Society*. 116: 668-70.