

## Size at maturity and length-weight relationships of the blurred lantern shark *Etmopterus bigelowi* (Squaliformes: Etmopteridae) caught off southeastern Brazil

### Talla de madurez y relación peso-talla del tiburón de profundidad *Etmopterus bigelowi* (Squaliformes: Etmopteridae) capturado en el sudeste de Brasil

BL Mourato<sup>1,2</sup>, R Coelho<sup>3,4</sup>, AF Amorim<sup>5</sup>, FC Carvalho<sup>3</sup>, FHV Hazin<sup>1</sup>, G Burgess<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Pesca e Aquicultura, Rua Dom Manoel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, 52171-900, Recife, PE, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Oceanografia, Cidade Universitária, 50670-901, Recife, PE, Brasil. E-mail: bruno.pesca@gmail.com

<sup>3</sup> Florida Program for Shark Research, Florida Museum of Natural History, University of Florida, Dickinson Hall, Museum Road, PO Box 117800, Gainesville, FL 32611, USA.

<sup>4</sup> Centre of Marine Sciences, University of Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal.

<sup>5</sup> Instituto de Pesca, Av. Bartolomeu Gusmão 192, Ponta da Praia, Santos, São Paulo 11030-906, Brasil.

**ABSTRACT.** The blurred lantern shark *Etmopterus bigelowi*, a deep-water squaloid shark, is globally widespread in temperate and tropical waters, but there is little available information about its biology owing to its relative rarity of capture and taxonomic confusion with its sibling species *Etmopterus pusillus*. Specimens used in this study were collected from July to December 2004 as by-catch in the commercial deep-water trawl fishery targeting red shrimp *Aristaeomorpha foliacea* in the southwestern Atlantic. We examined 55 specimens (22 males and 33 females) ranging in total length (TL) from 31.5 to 73 cm and in total weight from 103 to 1600 g. Length-weight relationships were explored for each sex and significant differences were found in the slope coefficients of the male and female regressions. The size at maturity for each sex was evaluated fitting a logistic regression. Females matured at larger sizes than males, with estimated sizes at first maturity of 56.0 cm TL for females and 45.1 cm TL for males. The present study provides important preliminary information about *E. bigelowi* that can be incorporated in risk assessment and stock assessment models, essential for efficient management practices aimed at avoiding overexploitation of these vulnerable deep-sea sharks.

**Key words:** *Etmopterus bigelowi*, deep-sea sharks, size at maturity, length-weight relationship, southwest Atlantic Ocean.

**RESUMEN.** El tiburón de profundidad *Etmopterus bigelowi* se distribuye globalmente en aguas templadas y tropicales; sin embargo, hay poca información disponible sobre su biología ya que raramente se captura y existe confusión taxonómica con su especie hermana *Etmopterus pusillus*. Los ejemplares utilizados en este trabajo se obtuvieron de julio a diciembre de 2004 como captura incidental de la pesca comercial de arrastre de aguas profundas dirigida al camarón rojo *Aristaeomorpha foliacea* en el Atlántico sudoccidental. Se examinaron 55 ejemplares (22 machos y 33 hembras) de 31.5 a 73 cm de longitud total (LT) y de 103 a 1600 g de peso total. Se analizó la relación peso-talla para ambos sexos, observándose diferencias significativas en las pendientes de las regresiones, tanto de hembras como de machos. La talla de madurez para cada sexo se evaluó ajustando una regresión logística. La talla de primera madurez de las hembras (56.0 cm LT) fue mayor que la de los machos (45.1 cm LT). El presente trabajo aporta información preliminar esencial sobre *E. bigelowi* que puede ser incorporada en modelos de evaluación de riesgo y evaluación de la población, cruciales para prácticas de gestión dirigidas a evitar la sobreexplotación de estos vulnerables tiburones de aguas profundas.

**Palabras clave:** *Etmopterus bigelowi*, tiburones de aguas profundas, talla de madurez, relación peso-talla, Atlántico sudoccidental.

## INTRODUCTION

The family Etmopteridae is the largest squaloid shark family, with more than 50 species distributed in five genera. The genus *Etmopterus* is the most diverse genus of this family, containing at least 31 described species (Compagno *et al.* 2005) and several other undescribed forms. The blurred lantern shark, *Etmopterus bigelowi* Shirai and Tachikawa

## INTRODUCCIÓN

La familia Etmopteridae es la familia más grande de tiburones escualidos, con más de 50 especies distribuidos en cinco géneros. El género *Etmopterus* es el género más diverso de esta familia, con al menos 31 especies descritas (Compagno *et al.* 2005) y varias otras formas no descritas. El tiburón de profundidad, *Etmopterus bigelowi* Shirai y

1993, is a small-sized shark that is globally widespread in both temperate and tropical waters. It is a deep-water benthopelagic species that has been captured most often at depths from 160 m to more than 1000 m over continental and insular shelves, slopes, and submarine ridges; however, it is also known in the epipelagic realm, having been recorded near the surface in the open sea over deep water.

In the western Atlantic Ocean, *E. bigelowi* has been reported from the Gulf of Mexico southward to southern Brazil and Argentina (Shirai and Tachikawa 1993, Soto 2000). It also occurs in the eastern Atlantic from west-central Africa to South Africa (Compagno *et al.* 2005). In the Indo-Pacific region, it is known off South Africa (Compagno *et al.* 2005), Australia (Shirai and Tachikawa 1993), Taiwan (though records here may refer to an undescribed related species, D Ebert pers. comm.), and the north-central and southeastern Pacific (Compagno *et al.* 2005). The description of *E. bigelowi* by Shirai and Tachikawa (1993) casts doubt on many earlier nominal records of *Etmopterus pusillus* Lowe 1839, which formerly was applied to all concave dermal-denticled *Etmopterus*. For example, Krefft (1968) initially recorded *E. pusillus* from Brazilian and Uruguayan waters, but these records are now referred to *E. bigelowi* (Shirai and Tachikawa 1993), though *E. pusillus* has also been recorded in Brazilian waters, as have its congeners *Etmopterus gracilispinis* Krefft 1968 (Sadowsky *et al.* 1986), *Etmopterus granulosus* Gunther 1880 (Soto 2001), and *Etmopterus lucifer* Jordan and Snyder 1902 (Krefft 1968). These and other studies (Bernardes *et al.* 2005, Gianetti 2005, Gianetti and Vooren 2008) of *Etmopterus* off Brazil are largely restricted to distributional records and morphological descriptions.

The available biological information for deep-water sharks is still very limited (Kyne and Simpfendorfer 2007), and though a few studies have focused on the biology of other *Etmopterus* species in the North Atlantic Ocean (e.g., Jakobsdottir 2001; Coelho and Erzini 2005, 2007, 2008a; Neiva *et al.* 2006), almost nothing is currently known about the biology of *E. bigelowi* from anywhere in the world. On the other hand, squaliform sharks are recognized to have life history characteristics that make them particularly susceptible to fishing mortality (Kyne and Simpfendorfer 2007, Coelho and Erzini 2008b) and, hence, there is a particular urgency to improve the knowledge we have on the biology and life history of these vulnerable sharks.

The present study represents the first contribution about the biology of *E. bigelowi* in the southwestern Atlantic Ocean, including length-weight relationships and size at maturity estimations. The results presented are important baseline life-history parameters that can be incorporated in population dynamics and fisheries assessments models, helping to determine the status, vulnerability, and trends of the species in the region.

Tachikawa 1993, es un tiburón de tamaño pequeño y de amplia distribución mundial, encontrándose en aguas templadas y tropicales. Es una especie bentopelágica de aguas profundas que ha sido capturada principalmente a profundidades de 160 m a mayores que 1000 m sobre plataformas continentales e insulares, taludes y cordilleras submarinas; sin embargo, también se ha observado en la zona epipelágica, cerca de la superficie de aguas profundas del mar abierto.

En el Océano Atlántico occidental, *E. bigelowi* se distribuye desde el Golfo de México hasta el sur de Brasil y Argentina (Shirai y Tachikawa 1993, Soto 2000) y en el Atlántico oriental, desde África central hasta Sudáfrica (Compagno *et al.* 2005). En la región del Indo-Pacífico, se encuentra en aguas de Sudáfrica (Compagno *et al.* 2005), Australia (Shirai y Tachikawa 1993), Taiwán (aunque los registros de aquí podrían referirse a una especie relacionada no descrita, D Ebert com. pers.), y del Pacífico norcentral y suroriental (Compagno *et al.* 2005). La descripción de *E. bigelowi* por Shirai y Tachikawa (1993) pone en duda varios registros nominales previos de *Etmopterus pusillus* Lowe 1839, que anteriormente se designaba a todos los *Etmopterus* de dientes dérmicos cóncavos. Por ejemplo, los registros iniciales de Krefft (1968) de *E. pusillus* de aguas brasileñas y uruguayas han sido referidas a *E. bigelowi* (Shirai y Tachikawa 1993), aunque también se ha registrado *E. pusillus* en aguas brasileñas, al igual que sus congéneres *Etmopterus gracilispinis* Krefft 1968 (Sadowsky *et al.* 1986), *Etmopterus granulosus* Gunther 1880 (Soto 2001) y *Etmopterus lucifer* Jordan y Snyder 1902 (Krefft 1968). Éstos y otros estudios (Bernardes *et al.* 2005, Gianetti 2005, Gianetti y Vooren 2008) sobre *Etmopterus* en aguas de Brasil se restringen principalmente a registros distribucionales y descripciones morfológicas.

Hay poca información biológica disponible de tiburones de aguas profundas (Kyne y Simpfendorfer 2007). Aunque unos cuantos trabajos han abordado la biología de otras especies de *Etmopterus* en el Atlántico Norte (e.g., Jakobsdottir 2001; Coelho y Erzini 2005, 2007, 2008a; Neiva *et al.* 2006), actualmente se sabe muy poco de la biología de *E. bigelowi* de cualquier parte del mundo. Se conoce que los tiburones escuálidos, por sus características de historia de vida, son particularmente susceptibles a la mortalidad por pesca (Kyne y Simpfendorfer 2007, Coelho y Erzini 2008b) y, por lo tanto, es de suma importancia mejorar el conocimiento actual de la biología e historia de vida de estos tiburones vulnerables.

El presente estudio representa la primera contribución sobre la biología de *E. bigelowi* en el Océano Atlántico sudoccidental, incluyendo estimaciones de la talla de primera madurez y la relación peso-talla, los cuales son importantes parámetros de historia de vida. Los resultados se podrán incorporar en modelos de evaluación de riesgo y dinámica poblacional para poder determinar el estatus, la vulnerabilidad y las tendencias de la especie en la región.

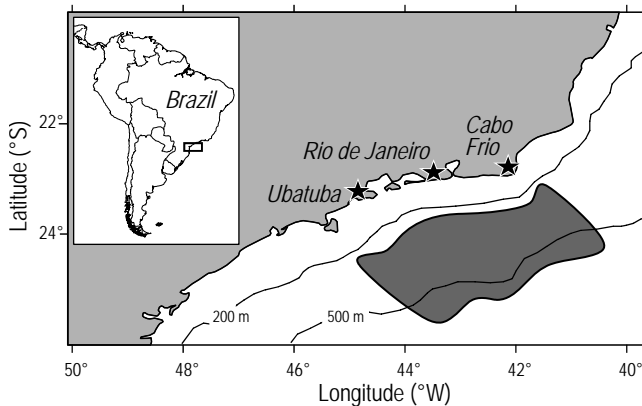
## MATERIAL AND METHODS

Specimens of *E. bigelowi* were caught from July to December 2004 as by-catch of commercial deep-water trawl fishing targeting the red shrimp *Aristaeomorpha foliacea* Risso 1827. Commercial trawlers operated on sandy bottoms offshore of the states of Rio de Janeiro (Cabo Frio City) and northern Sao Paulo (Ubatuba City) at depths of 245–745 m (fig. 1). By-catches of other demersal fauna lacking commercial value, including *E. bigelowi*, are usually discarded. Specimens were taken to the laboratory where they were measured for total length (TL), taken as a straight line from the tip of the snout to the tip of the caudal fin in its natural position to the nearest lower millimeter, and weighed for total weight (TW) to the nearest lower gram. Additionally, electronic calipers were used to measure the inner clasper length in males (from the vent opening to the tip of the clasper), and the width of the oviducal gland and the diameter of oocytes in females, to the nearest 0.01 mm.

Maturity stages were then defined for both males and females based on the macroscopic observations of the relative growth of the reproductive organs of the specimens. Specimens were classified as mature (adult) or immature (juvenile) following the modified maturity stages proposed by Coelho and Erzini (2007). The length at which 50% of all individuals were sexually mature ( $L_{50}$ ) was estimated from a logistic model (King 1995), using the nonlinear least squares procedure, described as:

$$P = \frac{1}{1 + \exp[-r \times (TL - L_{50})]} \quad (1)$$

where  $P$  is the proportion of mature individuals within the TL class (5-cm length interval),  $r$  is the slope of the curve describing the rate of changes in  $P$  from 0 to 1, and  $L_{50}$  is the



**Figure 1.** Map of the southeast coast of Brazil showing the location of the fishing ground (shaded area) and the bathymetric lines of 200 and 500 m depths.

**Figure 1.** Mapa de la costa sudoriental de Brasil mostrando la localización de la zona de pesca (área sombreada) y las líneas batimétricas de 200 y 500 m de profundidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se capturaron especímenes de *E. bigelowi* entre julio y diciembre de 2004 como captura incidental de la pesca comercial de arrastre de fondo dirigida al camarón rojo *Aristaeomorpha foliacea* Risso 1827. Los barcos de arrastre comercial operaron en los fondos arenosos de las costas de los estados de Río de Janeiro (ciudad de Cabo Frío) y Sao Paulo (ciudad de Ubatuba) a profundidades de 245 a 745 m (fig. 1). La captura incidental de la fauna demersal que carece de valor comercial, incluyendo *E. bigelowi*, generalmente se descarta. Se transportaron los especímenes de *E. bigelowi* al laboratorio donde se les midió la longitud total (LT, al milímetro más cercano), en línea recta desde la punta del hocico hasta la punta de la aleta caudal en su posición natural, así como el peso total (PT, al gramo más cercano). Además, se utilizó un vernier electrónico para medir la longitud interior del clasper (desde el inicio del clasper hasta la punta distal) en machos, y el ancho de la glándula oviducal y el diámetro de los ovocitos (al 0.01 mm más cercano) en hembras.

Posteriormente se definieron los estados de madurez para machos y hembras con base en observaciones macroscópicas del crecimiento relativo de los órganos reproductivos. Los especímenes fueron clasificados como maduros (adultos) o inmaduros (jóvenes) de acuerdo con los estados de madurez propuestos por Coelho y Erzini (2007). Se estimó la longitud a la cual 50% de los individuos alcanzan la madurez sexual ( $L_{50}$ ) mediante un modelo logístico (King 1995), usando el procedimiento no lineal de mínimos cuadrados, descrito como:

$$P = \frac{1}{1 + \exp[-r \times (LT - L_{50})]} \quad (1)$$

donde  $P$  es la proporción de individuos maduros dentro de la clase de talla (intervalos de 5 cm de longitud),  $r$  es la pendiente de la curva que describe la tasa de cambio en  $P$  de 0 a 1, y  $L_{50}$  es la LT a la cual 50% de los especímenes se encuentran sexualmente maduros. Este modelo logístico se ajustó a machos y hembras por separado y se utilizó la prueba de razón de verosimilitud (Kimura 1980) para determinar las diferencias entre sexos.

Se ajustaron regresiones no lineales entre peso y longitud para ambos sexos separadamente. Se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA) de los datos transformados logarítmicamente para comparar estas regresiones entre machos y hembras. Asimismo, el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) se calculó y presentó para cada regresión.

## RESULTADOS

Se examinaron 55 especímenes (22 machos y 33 hembras). La LT de las hembras varió de 33 a 73 cm (media = 54.6 cm, DE = 11.2 cm) y la de los machos de 31.5 a 61.6 cm

TL at which 50% of the specimens are sexually mature. This logistic model was fitted to males and females separately, and the likelihood ratio test (Kimura 1980) was used to test for differences between sexes.

Nonlinear regressions between weight and length were fitted for both sexes separately. An analysis of covariance (ANCOVA) was applied to the log-transformed data in order to compare these regressions between males and females. The coefficient of determination ( $r^2$ ) was also calculated and presented for each regression.

**RESULTS**

We examined 55 specimens (22 males and 33 females). Female TLs ranged from 33 to 73 cm (mean = 54.6 cm, SD = 11.2 cm), and male TLs from 31.5 to 61.6 cm (mean = 47.3 cm, SD = 7.5 cm) (fig. 2). Female TWs ranged from 1140 to 1600 g (mean = 711.1 g, SD = 451.3 g), and male TWs from 103 to 726 g (mean = 368.3 g, SD = 171 g).

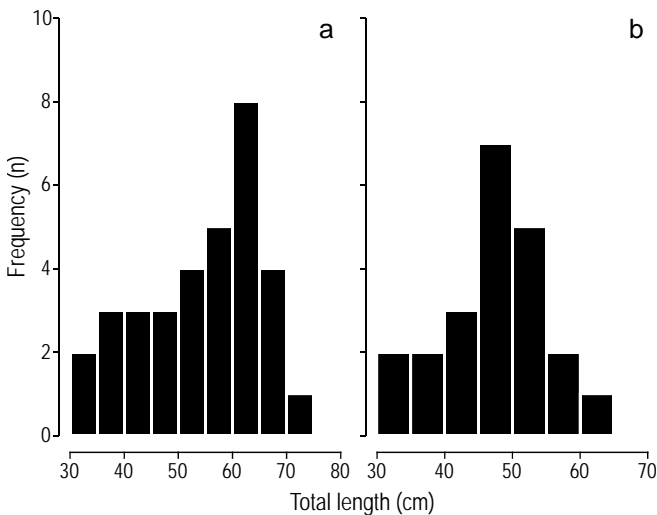
The length-weight relationship developed for each sex revealed significant differences in the slope coefficients of the linear regressions of the natural log-transformed TW-TL data for males ( $\text{LnTW} = 3.0637 \text{ LnTL} - 5.9910$ ,  $r^2 = 0.963$ ) and females ( $\text{LnTW} = 3.4832 \text{ LnTL} - 7.5566$ ,  $r^2 = 0.9785$ ) (ANCOVA:  $F = 0.88$ ;  $P < 0.05$ ). Thus, two separate regressions were calculated as follows:  $\text{TW} = 0.0026 \times \text{TL}^{3.0637}$  ( $r^2 = 0.963$ ) for males and  $\text{TW} = 0.0005 \times \text{TL}^{3.4832}$  ( $r^2 = 0.9785$ ) for females (fig. 3).

Upon dissection, roughly half (16) of the females were classified as adults and half (17) as juveniles. The weight of the ovaries in adult females varied between 6 and 277 g,

(media = 47.3 cm, DE = 7.5 cm) (fig. 2). El PT de las hembras varió de 1140 a 1600 g (media = 711.1 g, DE = 451.3 g) y el de los machos de 103 a 726 g (media = 368.3 g, DE = 171 g).

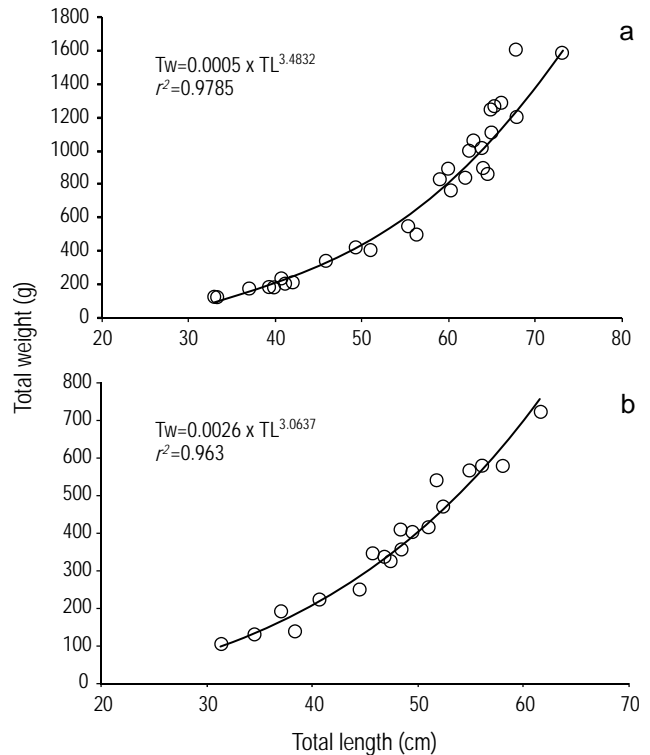
La relación peso-talla desarrollada para cada sexo mostró diferencias significativas en los coeficientes de las regresiones lineales de los datos de LT-PT transformados logarítmicamente para machos ( $\text{LnPT} = 3.0637 \text{ LnLT} - 5.9910$ ,  $r^2 = 0.963$ ) y hembras ( $\text{LnPT} = 3.4832 \text{ LnLT} - 7.5566$ ,  $r^2 = 0.9785$ ) (ANCOVA:  $F = 0.88$ ;  $P < 0.05$ ). Por tanto, se calcularon dos regresiones por separado:  $\text{PT} = 0.0026 \times \text{LT}^{3.0637}$  ( $r^2 = 0.963$ ) para machos y  $\text{PT} = 0.0005 \times \text{LT}^{3.4832}$  ( $r^2 = 0.9785$ ) para hembras (fig. 3).

Durante la disección, aproximadamente la mitad (16) de las hembras se clasificaron como adultas y la mitad (17) como jóvenes. El peso de los ovarios de las hembras adultas osciló entre 6 y 277 g, mientras que el de los ovarios traslúcidos, no desarrollados de las hembras jóvenes osciló entre 0.1 y 3 g (fig. 4a). El ancho de las glándulas oviductales varió de 3.6 a 11 mm en hembras adultas y de 1 a 3.6 mm en jóvenes; en estas últimas se observaron no desarrolladas, resultando difícil distinguirlas de los úteros (fig. 4b). El diámetro del folículo ovárico de mayor tamaño varió de 3.8 a 29



**Figure 2.** Size frequency distribution (5-cm-interval class) of (a) female and (b) male *Etmopterus bigelowi* caught off southeastern Brazil.

**Figura 2.** Distribución de la frecuencia de talla (intervalo de clase de 5 cm) de (a) hembras y (b) machos de *Etmopterus bigelowi* capturados en la costa sudoriental de Brasil.

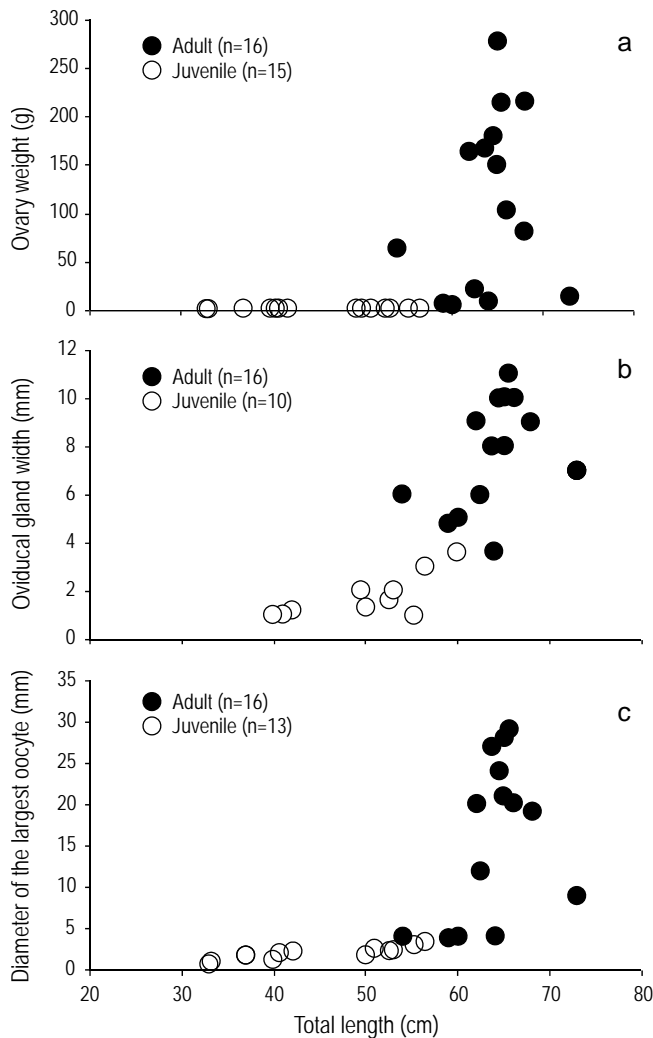


**Figure 3.** Total length-total weight relationship for (a) female and (b) male *Etmopterus bigelowi* caught off southeastern Brazil.

**Figura 3.** Relación entre la longitud total y el peso total para (a) hembras y (b) machos de *Etmopterus bigelowi* capturados en la costa sudoriental de Brasil.

while undeveloped, translucent ovaries of juveniles ranged from 0.1 to 3 g (fig. 4a). The widths of oviducal glands were from 3.6 to 11 mm in adults and from 1 to 3.6 mm in juveniles, where they were undeveloped and proved very difficult to distinguish from the uteri (fig. 4b). The diameter of the largest ovarian follicle ranged from 3.8 to 29 mm in adults, while in juveniles the ovarian follicles were underdeveloped, thin, and light, and ranged in diameter from 0.8 to 3.9 mm (fig. 4c).

Similarly, half (11) of the males were classified as adults and half (11) were classified as juveniles. Adult clasper lengths varied between 6 and 16 mm and the weights of the testes ranged from 0.5 to 5 g (fig. 5). The lengths of juvenile



**Figure 4.** Relationship between total length and (a) the weight of the ovary, (b) width of the oviducal gland, and (c) diameter of the largest ovarian oocyte for female *Etmopterus bigelowi* caught off southeastern Brazil.

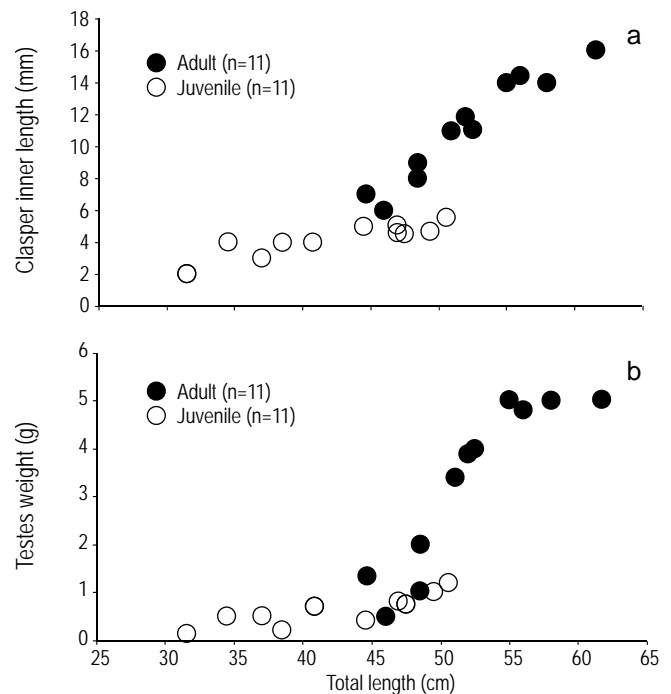
**Figura 4.** Relación entre la longitud total y (a) el peso del ovario, (b) el ancho de la glándula oviducal y (c) el diámetro del ovocito ovárico de mayor tamaño para hembras de *Etmopterus bigelowi* capturadas en la costa sudoriental de Brasil.

mm en hembras adultas, mientras que en hembras jóvenes los folículos ováricos aún no desarrollados fueron delgados y ligeros, y variaron en diámetro de 0.8 a 3.9 mm (fig. 4c).

De forma similar, la mitad (11) de los machos se clasificaron como adultos y la mitad (11) como jóvenes. En los adultos, la longitud del clasper varió de 6 a 16 mm y el peso de los testículos de 0.5 a 5 g (fig. 5). En los jóvenes, la longitud del clasper varió de 2 a 5.5 mm y el peso de los testículos no desarrollados fue de 0.1 a 1.2 g (fig. 5).

La hembra inmadura de mayor tamaño midió 60 cm LT y la hembra madura de menor tamaño, 54 cm LT (fig. 6). El macho inmaduro de mayor tamaño midió 50.5 cm LT y el macho maduro de menor tamaño, 44.7 cm LT (fig. 6). La LT promedio de hembras adultas fue de 63.9 cm (DE = 4.24,  $n = 16$ ) y la de machos adultos de 52.1 cm (DE = 5.17,  $n = 11$ ) (fig. 6).

Las hembras maduraron a tallas mayores que los machos, la talla de primera madurez siendo 56 cm LT para las hembras (DE = 0.47) y 45.1 cm LT para los machos (DE = 0.85) (fig. 7); sin embargo, resultó interesante observar que ambos sexos maduraban a tallas proporcionalmente similares en relación con la longitud máxima observada. Específicamente, las hembras maduraron a 76.7% y los machos a 73.2% de las LTs observadas. Se encontraron diferencias significativas en cuanto a la talla de madurez entre ambos sexos (prueba de



**Figure 5.** Relationship between total length and (a) clasper inner length and (b) testes weight for male *Etmopterus bigelowi* caught off southeastern Brazil.

**Figura 5.** Relación entre la longitud total y (a) la longitud interior del clasper y (b) el peso de los testículos para machos de *Etmopterus bigelowi* capturados en la costa sudoriental de Brasil.

claspers extended from 2 to 5.5 mm and the weights of the undeveloped testes ranged from 0.1 to 1.2 g (fig. 5).

The largest sexually immature female was 60 cm TL and the smallest adult female was 54 cm TL (fig. 6). The largest immature male was 50.5 cm TL and the smallest adult male was 44.7 cm TL (fig. 6). The average TL of adult females was 63.9 cm (SD = 4.24,  $n = 16$ ), and the average size of adult males was 52.1 cm TL (SD = 5.17,  $n = 11$ ) (fig. 6).

Females matured at larger sizes than males, with estimated sizes at first maturity of 56 cm TL for females (SD = 0.47) and 45.1 cm TL for males (SD = 0.85) (fig. 7). However, it was interesting to notice that both sexes were maturing at sizes proportionally similar with regards to the maximum observed length. Specifically, females matured at 76.7% and males at 73.2% of the maximum observed TLs. Significant differences were found in the size at maturity between the two sexes (likelihood ratio test:  $\chi^2 = 36.39$ ;  $P < 0.05$ ). For both sexes, the logistic models produced good fits to the observed data with high  $r^2$  values: 0.987 for females and 0.972 for males.

## DISCUSSION

Krefft (1968) recorded *E. pusillus* (possibly misidentifications of *E. bigelowi* as noted by Shirai and Tachikawa 1993) ranging from 16.9 to 66.6 cm TL for males and from 19.4 to 64.6 cm TL for females in southwestern Atlantic waters. More recently, Gianetti and Vooren (2008) reported on 88 specimens of *E. bigelowi* caught off southern Brazil and noted a length range of 17.4–66.6 cm TL. Compagno *et al.* (2005) noted that *E. bigelowi* females may attain sizes larger than 67 cm TL; in our study, the largest female examined was 73 cm TL. In our sample, females attained larger sizes than males, a trend in sexual dimorphism that appears to be common in squaliform sharks (e.g., Yano and Tanaka 1988, Coelho and Erzini 2008a).

One unfortunate shortcoming of this study is that we did not encounter neonates, the smallest specimen being a 31.5 cm TL male. This could be attributed to the locations operated by the fishing fleet, as most of the samples obtained in the present study came from sets made at depths of 500–600 m and only a few sets were made in shallower areas of the upper continental slope. Several previous studies have demonstrated that squaliform species inhabit differing depth strata based on ontogenetic size-age class (Yano and Tanaka 1988, Yano 1991, Wetherbee 1996, Jakobsdottir 2001, Coelho and Erzini 2010), with nursery areas of some species located in either deeper (e.g., Yano and Tanaka 1988, Girard and DuBuit 1999) or shallower (e.g., Coelho and Erzini 2010) waters than those frequented by adults. Although not enough samples were obtained in the present study to determine whether the juveniles of *E. bigelowi* were occurring in either deeper or shallower waters, we may now hypothesize that, like other squaliform sharks, *E. bigelowi* also shows

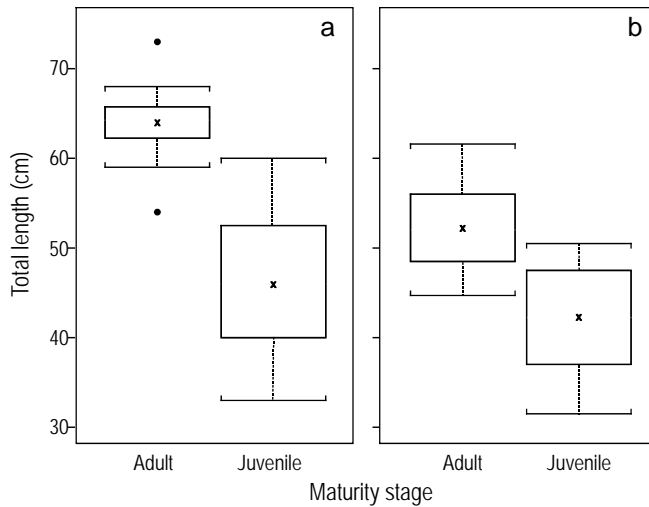
razón de verosimilitud:  $\chi^2 = 36.39$ ;  $P < 0.05$ ). Para ambos sexos, los modelos logísticos proporcionaron buenos ajustes a los datos observados con valores altos de  $r^2$ : 0.987 para hembras y 0.972 para machos.

## DISCUSIÓN

Krefft (1968) observó *E. pusillus* (posiblemente identificaciones erróneas de *E. bigelowi* según Shirai y Tachikawa 1993) en aguas del Atlántico sudoccidental, y registró una LT de 16.9 a 66.6 cm para machos y de 19.4 a 64.6 cm para hembras. Más recientemente, Gianetti y Vooren (2008) analizaron 88 especímenes de *E. bigelowi* capturados en aguas del sur de Brasil, con una LT de 7.4 a 66.6 cm. Según Compagno *et al.* (2005), las hembras de *E. bigelowi* pueden alcanzar tallas mayores que 67 cm LT; en el presente estudio, la hembra de mayor tamaño fue de 73 cm LT. En nuestra muestra, las hembras alcanzaron mayores tallas que los machos, un patrón de dimorfismo sexual que parece ser común en tiburones escuálidos (e.g., Yano y Tanaka 1988, Coelho y Erzini 2008a).

Desafortunadamente, en este estudio no se encontraron neonatos, el espécimen más pequeño siendo un macho de 31.5 cm LT. Esto se podría atribuir a que la mayoría de las muestras se obtuvieron de arrastres realizados a profundidades de 500 a 600 m y sólo unos cuantos se realizaron en zonas más someras del talud continental superior. Varios trabajos han mostrado que las especies del orden Squaliformes habitan diferentes niveles de profundidad según su desarrollo ontogenético (Yano y Tanaka 1988, Yano 1991, Wetherbee 1996, Jakobsdottir 2001, Coelho y Erzini 2010), con las zonas de crianza de algunas especies localizadas ya sea en aguas más profundas (e.g., Yano y Tanaka 1988, Girard y DuBuit 1999) o más someras (e.g., Coelho y Erzini 2010) que las frecuentadas por adultos. A pesar de que en el presente trabajo no se obtuvieron suficientes muestras para determinar si los jóvenes de *E. bigelowi* se encontraban en aguas más profundas o someras, se puede hipotetizar que, al igual que otros tiburones escuálidos, *E. bigelowi* muestra una segregación de la población relacionada con la profundidad en cuanto a su ciclo de reproducción y crecimiento.

Se encontró que los machos pesaron significativamente menos que las hembras de la misma talla, probablemente debido a los mayores requerimientos de biomasa para el proceso reproductivo de las hembras (gónadas, úteros y embriones) y, posiblemente, a un incremento en el peso del hígado en adultos como almacenamiento energético para la reproducción. Gianetti (2005), sin embargo, no observó diferencias entre sexos en las relaciones peso-talla de *E. bigelowi* en aguas del sur de Brasil y proporcionó una sola relación para machos y hembras. Una posible razón para esta discrepancia puede ser las diferencias en los intervalos de talla analizados en cada estudio, ya que la mayoría de los especímenes examinados por Gianetti (2005) fueron jóvenes



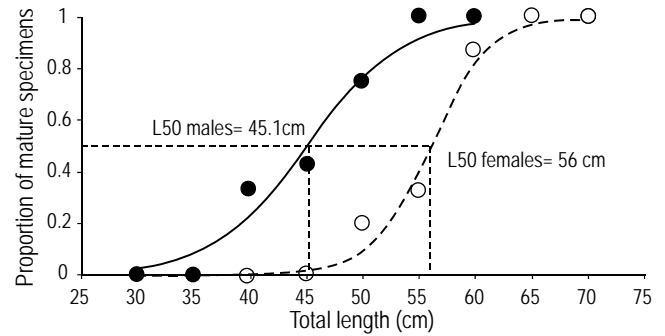
**Figure 6.** Box-plot of total length per maturity stage for (a) female and (b) male *Etmopterus bigelowi* caught off southeastern Brazil. The cross indicates the mean value of total length.

**Figura 6.** Diagrama de caja de la longitud total por estado de madurez para (a) hembras y (b) machos de *Etmopterus bigelowi* capturados en la costa sudoriental de Brasil. La cruz indica el valor medio de la longitud total.

depth-related population segregation in regards to its growth and reproductive cycle.

We observed that males weighed significantly less than the same-sized females, likely a function of the greater biomass requirements of the female reproductive process (gonads, uteri, and embryos) and, perhaps, an increase in liver weights in adults as an energy store for reproduction. Gianetti (2005), however, did not observe any differences between sexes in the length-weight relationships of *E. bigelowi* off southern Brazil and provided a single relation for combined sexes. One possible reason for this discrepancy can be attributed to the differences in size ranges analyzed by each study, given that the majority of the specimens sampled by Gianetti (2005) were juveniles while in the present study there was a higher proportion of larger specimens and adults.

The size at maturity of *E. bigelowi* in southeastern Brazilian waters was estimated at 56.0 cm for females and 45.1 cm for males. These values were corroborated by what we macroscopically observed in the development of the reproductive organs, such as the rapid increase in ovary weight and diameter of the oocytes in females larger than 60 cm TL, and the relative growth of the claspers and enlargement of testes in males larger than 45 cm TL. The differences we found between sexes are significant and this type of sexual dimorphism in terms of size at maturity is common in elasmobranch fishes, with females usually maturing later and at larger sizes than males (Springer and Gold 1989). This has been previously described for other species in the genus *Etmopterus*, including *E. princeps* (Jakobsdottir 2001), *E. baxteri* (Irvine *et al.* 2006), and *E. spinax* and *E. pusillus*



**Figure 7.** Maturity ogives for female (dashed line) and male (black line) *Etmopterus bigelowi* off southeastern Brazil. The size at maturity estimation ( $L_{50}$ ) is also indicated.

**Figura 7.** Ojivas de madurez para hembras (línea discontinua) y machos (línea sólida) de *Etmopterus bigelowi* del sudeste de Brasil. También se indica la estimación de la talla de madurez ( $L_{50}$ ).

mientras que en el presente estudio se analizó una mayor proporción de especímenes adultos y de mayor tamaño.

La talla de primera madurez de *E. bigelowi* en aguas sudorientales de Brasil se estimó en 56.0 cm para hembras y 45.1 cm para machos con base en las ojivas de madurez. Estos valores fueron corroborados con observaciones macroscópicas del desarrollo de los órganos reproductivos, tal como el aumento rápido del peso ovárico y el diámetro de los ovocitos en hembras mayores que 60 cm LT, y el crecimiento relativo de los claspers y el agrandamiento de los testículos en machos mayores que 45 cm LT. Se encontraron diferencias significativas entre sexos y este tipo de dimorfismo sexual en cuanto a la talla de madurez es común en peces elasmobranquios, con las hembras generalmente madurando después y a tallas mayores que los machos (Springer and Gold 1989). Esto ya ha sido descrito para otras especies del género *Etmopterus*, tal como *E. princeps* (Jakobsdottir 2001), *E. baxteri* (Irvine *et al.* 2006), y *E. spinax* y *E. pusillus* (Coelho and Erzini 2005). Aun así, fue interesante notar que a pesar de que la talla de madurez fue significativamente diferente entre machos y hembras, ambos sexos maduraron a alrededor de 75% de las tallas máximas observadas, un valor que parece ser común para peces elasmobranquios (Cortés 2000).

Existe poca información sobre la talla de primera madurez de *E. bigelowi*; sin embargo, de acuerdo con Shirai y Tachikawa (1993), tanto los machos como las hembras alcanzan la madurez a 42 cm LT, aunque estos autores sólo encontraron huevos fertilizados en hembras mayores que 50 cm LT. En contraste, Gianetti (2005) propuso una talla de primera madurez de 63.7 cm LT para hembras y de 60 cm LT para machos. Las diferencias en la talla de madurez de *E. bigelowi* entre nuestras estimaciones y las de Gianetti (2005) podrían atribuirse simplemente al número y tamaño de los tiburones analizados, aunque también podrían existir diferencias poblacionales entre las dos áreas de estudio.

(Coelho and Erzini 2005). Nevertheless, it was interesting to note that although the size at maturity between sexes was significantly different, both sexes matured at around 75% of the maximum observed sizes, a value that seems to be common for many elasmobranch species (Cortés 2000).

There is scarce information available regarding size at first maturity of *E. bigelowi*, but according to Shirai and Tachikawa (1993), both males and females reach maturity at 42 cm TL, though these authors only found fertilized ova in females larger than 50 cm TL. In contrast, Gianetti (2005) proposed that size at first maturity occurs at 63.7 cm TL for females and 60 cm TL for males. The differences in maturity size for *E. bigelowi* between our estimates and those of Gianetti (2005) may simply reflect the number and size of the sharks sampled, although these differences can possibly also be attributed to population differences in the two study areas.

Deep-water squaloid sharks are very vulnerable to over-fishing because they usually have limiting life history parameters such as late maturity, prolonged gestation, low fecundity, and slow growth rates when compared with many other shallow-water shark species (Yano and Tanaka 1988). Although information on population dynamics, such as reproductive biology, age, and growth, is essential for proper management of populations, there is still little information available for deep-sea sharks (Kyne and Simpfendorfer 2007). The present study provides important preliminary information regarding the size at maturity and length-weight relationship of *E. bigelowi* in southeastern Brazilian waters, and this information can now be used for population dynamics and incorporated into stock assessment models, essential for creating efficient management practices aimed at avoiding overexploitation of these vulnerable deep-sea sharks.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The first author acknowledges receipt of a scholarship from the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq, Brazil). The authors are grateful to the skipper of the commercial trawler *Capitão Lucas* for collaborating in collecting specimens for this study. Special thanks go to M Queiroz Santiago and MB Alonso for their help in sampling and laboratory procedures. Finally, the authors acknowledge CA Arfelli for providing helpful comments during the laboratory procedures.

## REFERENCES

- Bernardes RA, Figueiredo JL, Rodrigues AR, Fischer LG, Vooren CM, Haimovici M, Rossi-Wongtschowski CLDB. 2005. Peixes da Zona Econômica Exclusiva da região sudeste-sul do Brasil: Levantamento com armadilhas, pargueiras e rede de arrasto de fundo. 1st ed. EDUSP Press, São Paulo.
- Coelho R, Erzini K. 2005. Length at first maturity of two species of lantern sharks (*Etmopterus spinax* and *Etmopterus pusillus*) of southern Portugal. J. Mar. Biol. Assoc. UK 85: 1163–1165.

Los tiburones escuálidos de aguas profundas son muy vulnerables a la sobrepesca ya que, en comparación con otras especies de tiburones de aguas someras, presentan algunos parámetros de historia de vida que son limitantes, como son una madurez tardía, gestación prolongada, baja fecundidad y bajas tasas de crecimiento (Yano y Tanaka 1988). A pesar de que es esencial contar con información sobre la dinámica poblacional (e.g., edad, crecimiento y biología reproductiva) para el manejo apropiado de las poblaciones, aún existe poca información sobre los tiburones de aguas profundas (Kyne y Simpfendorfer 2007). El presente trabajo proporciona información preliminar importante sobre la talla de madurez y la relación peso-talla de *E. bigelowi* de aguas sudorientales de Brasil. Tal información puede ser incorporada en modelos de evaluación de riesgo y dinámica poblacional, los cuales son esenciales para proponer medidas de manejo dirigidas a evitar la sobrepesca de estos vulnerables tiburones de profundidad.

## AGRADECIMIENTOS

El primer autor fue apoyado con una beca del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq, Brasil). Los autores agradecen al capitán del barco de arrastre comercial *Capitão Lucas* su colaboración en la recolección de especímenes para este trabajo, a M Queiroz Santiago y MB Alonso su asistencia en los procedimientos de muestreo y laboratorio, y a CA Arfelli sus comentarios valiosos durante los procedimientos de laboratorio.

Traducido al español por Christine Harris.

- Coelho R, Erzini K. 2007. Population parameters of the smooth lantern shark, *Etmopterus pusillus*, in southern Portugal (NE Atlantic). Fish. Res. 86: 42–57.
- Coelho R, Erzini K. 2008a. Life history of a wide-ranging deepwater lantern shark in the north-east Atlantic, *Etmopterus spinax* (Chondrichthyes: Etmopteridae), with implications for conservation. J. Fish Biol. 73: 1419–1443.
- Coelho R, Erzini K. 2008b. Effects of fishing methods on deep-water shark species caught as by-catch off southern Portugal. Hydrobiologia 606: 187–193.
- Coelho R, Erzini K. 2010. Depth distribution of the velvet belly, *Etmopterus spinax*, in relation to growth and reproductive cycle: The case study of a deep-water lantern shark with a wide ranging critical habitat. Mar. Biol. Res. 6: 381–389.
- Compagno LJV, Dando M, Fowler S. 2005. Sharks of the World. 1st ed. Collins Press, London.
- Cortés E. 2000. Life history patterns and correlations in sharks. Res. Fish. Sci. 8: 299–344.
- Gianetti MD. 2005. Distribuição espacial e composição das populações de tubarões do gênero *Etmopterus* do talude continental do sul do Brasil. M.Sc. thesis, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brazil.
- Gianetti MD, Vooren CM. 2008. Identification of the sharks of the genus *Etmopterus* Rafinesque, 1810 (Elasmobranchii: Etmopteridae) from the upper slope of southern Brazil, with



- comparison between the species *E. bigelowi* Shirai and Tachikawa, 1993 and *E. pusillus* Lowe, 1839. *Braz. J. Oceanogr.* 56: 139–143.
- Girard M, DuBuit MH. 1999. Reproductive biology of two deep-water sharks from the British Isles, *Centroscymnus coelolepis* and *Centrophorus squamosus* (Chondrichthyes: Squalidae). *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 79: 923–931.
- Irvine SB, Stevens JD, Laurenson LJB. 2006. Comparing external and internal dorsal-spine bands to interpret the age and growth of the giant lantern shark, *Etmopterus baxteri* (Squaliformes: Etmopteridae). *Environ. Biol. Fish.* 77: 253–264.
- Jakobsdottir KB. 2001. Biological aspects of two deep-water squalid sharks: *Centroscyllium fabricii* (Reinhardt 1825) and *Etmopterus princeps* (Collett 1904) in Icelandic waters. *Fish. Res.* 51: 247–265.
- Kimura DK. 1980. Likelihood methods for the von Bertalanffy growth curve. *Fish. Bull.* 77: 765–776.
- King M. 1995. Reproduction and recruitment. In: King M (ed.), *Fisheries Biology, Assessment and Management*. Fishing News Books, Oxford, pp. 151–165.
- Krefft G. 1968. Neue und erstmalig nachgewiesene Knorpelfische aus dem Archibenthal des Südwestatlantiks, einschlie ßlich einer Diskussion einiger *Etmopterus*. Arten südlicher Meere. *Arch. Fischereiwiss.* 19: 42 pp.
- Kyne PM, Simpfendorfer CA. 2007. A collation and summarization of available data on deepwater Chondrichthyans: Biodiversity, life history and fisheries. IUCN and Marine Conservation Biology Institute, 165 pp.
- Neiva J, Coelho R, Erzini K. 2006. Feeding habits of the velvet belly lanternshark *Etmopterus spinax* (Chondrichthyes: Etmopteridae) off the Algarve, southern Portugal. *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 86: 835–841.
- Sadowsky V, Arfelli CA, Amorim AF. 1986. First record of broad-banded lanternshark, *Etmopterus gracilispinis* Krefft, 1968 (Squalidae), in Brazilian waters. *Bol. Inst. Pesca.* 13: 1–4.
- Shirai S, Tachikawa H. 1993. Taxonomic resolution of the *Etmopterus pusillus* species group (Elasmobranchii, Etmopteridae), with a description of *E. bigelowi*, n. sp. *Copeia* 2: 483–495.
- Soto JMR. 2000. Revisão da ocorrência de tubarões etmopteríneos na costa brasileira, com dois novos registros de *Etmopterus bigelowi* Shirai and Tachikawa, 1993 (Chondrichthyes, Dalatiidae, Etmopterinae). *Biotemas* 13: 167–178.
- Soto JMR. 2001. First record of southern lanternshark *Etmopterus granulosus* (Günther 1880) (Squaliformes, Dalatiidae), on the Brazilian coast. *Mare Magnum* 1: 7–10.
- Springer VG, Gold JP. 1989. *Sharks in Question: The Smithsonian Answer Book*. Smithsonian Institution Press, Washington.
- Yano K. 1991. Catch distribution, stomach contents and size at maturity of two squaloid sharks, *Deania calceus* and *D. crepidalbus*, from the southeast Atlantic of Namibia. *Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr.* 55: 189–196.
- Yano K, Tanaka S. 1988. Size at maturity, reproductive cycle, fecundity, and depth segregation of the deep sea Squaloid sharks *Centroscymnus owstoni* and *C. coelolepis* in Suruga Bay, Japan. *Nippon Suisan Gakk.* 54: 167–174.
- Wetherbee BM. 1996. Distribution and reproduction of the southern lantern shark from New Zealand. *J. Fish Biol.* 49: 1186–1196.

Received March 2010;  
accepted August 2010.