UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Faculdade de Ciências e Tecnologia

ESTRUTURA POPULACIONAL DE *Electrona antarctica* (Günther, 1878) E *Gymnoscopelus braueri* (Lönnberg, 1905) NO MAR DE SCOTIA (OCEANO ANTÁRCTICO)

Rui Pedro Silva Vieira

Mestrado em Biologia Marinha

Especialização em Ecologia e Conservação Marinha

2011

UAlg
UNIVERSIDADE DO ALGARVE

ESTRUTURA POPULACIONAL DE *Electrona antarctica* (Günther, 1878) E *Gymnoscopelus braueri* (Lönnberg, 1905) NO MAR DE SCOTIA (OCEANO ANTÁRCTICO)

Rui Pedro Silva Vieira

Dissertação apresentada à Universidade do Algarve para a obtenção do grau de Mestre em Biologia Marinha, especialização em Ecologia e Conservação Marinha.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Projecto "Biologia, distribuição e abundância de fauna pelágica no Mar de Scotia (Antárctica)", financiado pelo Programa *Nova Geração de Cientistas Polares* da Caixa Geral de Depósitos.

Estrutura Populacional de *Electrona antarctica* (Günther, 1878) e *Gymnoscopelus braueri* (Lönnberg, 1905) no Mar de Scotia (Oceano Antárctico)

Rui Pedro Silva Vieira

Dissertação orientada por

Professor Doutor Jorge Gonçalves
Universidade do Algarve, Faculdade de Ciências e Tecnologia
CCMAR – Centro de Ciências do Mar

Professor Doutor Carlos A. Assis
Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Biologia Animal
Centro de Oceanografia

Doutor José Xavier
IMAR – Instituto do Mar da Universidade de Coimbra
British Antarctic Survey, Reino Unido

AGRADECIMENTOS

Esta Dissertação de Mestrado não seria possível sem o apoio de várias pessoas, às quais expresso a minha gratidão.

Ao Professor Doutor Jorge Gonçalves, por ter aceite ser meu orientador e por todo o empenho, conselhos e amizade. Sempre disponível, proporcionou-me uma das melhores experiências da minha jovem carreira de biólogo marinho.

Ao Doutor José Xavier pelo entusiasmo com que me motivou a realizar este trabalho. As oportunidades concedidas, como o estágio em La Rochelle e a estadia em Chizé, foram sem dúvida uma excelente oportunidade de conhecer novas técnicas laboratoriais e aprender aspectos muito interessantes sobre a ecologia do Oceano Antárctico.

Ao Professor Doutor Carlos Assis pela constante disponibilidade, conselhos e conhecimentos transmitidos.

À Sílvia Lourenço que, com a sua inesgotável paciência e preciosa ajuda, muito contribuiu para a conclusão deste trabalho.

Ao Professor Doutor Karim Erzini pela disponibilidade sempre que solicitei a sua ajuda.

Ao Doutor Rui Coelho pelo auxílio nos modelos de crescimento e informação facultada.

Ao pessoal do Centro de Oceanografia – Inês (a "croma" do R), Marisa, Rita V., Vanessa, Sofia, Miguel, Catarina, Marina, Noemie, Rita G., Susana, Susanne, Patrick, Valter e Célia. Sem vocês não seria a mesma coisa! Muito obrigado pela vossa ajuda.

À Doutora Vera Sequeira pelo auxílio e informação facilitada.

Ao Professor Doutor Leonel Gordo pelos importantes comentários e opiniões.

Ao Professor Doutor Pedro Ré pela ajuda, disponibilidade, conhecimentos e bibliografia facultada.

Ao Professor Doutor Henrique Cabral pelas noções de estatística que me transmitiu.

A todo o pessoal do K-team – Pedro Monteiro, Inês Sousa, Carlos Afonso, Mafalda Rangel, Pedro Veiga, Luís Bentes, Frederico Oliveira, Laura Leite e Isidoro Costa pela ajuda e pela forma como me acolheram no grupo ao longo dos meus estudos na Universidade do Algarve.

Ao David Abecasis pela bibliografia facultada.

Ao Doutor António Sykes pelo seu apoio.

Ao Doutor Paulo Gavaia pela disponibilidade para me ajudar com os otólitos de larvas e cedência do microscópio.

Ao Doutor Yves Cherel do Centre d'Etudes Biologiques de Chizé pela simpatia e conhecimentos transmitidos durante a estadia em Chizé.

Ao Doutor Pierre Richard do CNRS/Universidade de La Rochelle pela disponibilidade e ajuda durante o estágio no LIENSs - Littoral Environnement et Sociétés.

Ao Professor Doutor e amigo João Pedro Barreiros da Universidade dos Açores. Com o seu contagiante entusiasmo e motivação, sempre me ajudou quando precisei.

Aos amigos e colegas do Mestrado em Biologia Marinha e do Erasmus Mundus MSc. in Marine Biodiversity and Conservation, em especial à Ana, Catarina, Fernando, Samir, Buga, Moritz, Patrícia, Sara, Gerald, Sarah, Greg, Paula e Gian.

Ao "pessoal de Peniche" – Telma, "Gimbras", Mafalda, Henrique, Tirá, "Cascais", Ana Grade, "Mi", Ana Jarego, Henrique e Marta.

Aos meus amigos da Marinha Grande, Dina, Patrícia, Fábio e "Guita" por todos estes anos juntos.

À minha família por todo o apoio que sempre me deram.

A ti Ana, pela tua dedicação, amizade e paciência para me aturares durante as infindáveis horas de trabalho… Sem ti nada disto fazia sentido.

O conteúdo deste trabalho é da exclusiva responsabilidade do autor,

RESUMO

Os peixes da família Myctophidae são a principal alternativa ao krill *Euphausia superba*, a base da típica cadeia trófica antárctica. No Oceano Antárctico, estima-se uma biomassa de mictofídeos entre 70 e 200 milhões de toneladas. Devido às migrações verticais diárias que efectuam entre a superfície e os 1000 m de profundidade, os mictofídeos fornecem energia aos predadores de topo das camadas superficiais, tais como *Dissostichus eleginoides* (bacalhau-do-Antárctico), *Diomedea exulans* (albatroz-viajeiro) e *Aptenodytes patagonicus* (pinguim-rei).

Electrona antarctica e *Gymnoscopelus braueri* são duas espécies mesopelágicas da família Myctophidae, cujo conhecimento em termos de biologia e ecologia é actualmente escasso. A estrutura populacional e a idade e crescimento destas duas espécies de peixe-lanterna foram investigados. Os indivíduos provêm de cruzeiros realizados pela *British Antarctic Survey* no Mar de Scotia realizados entre 2004 e 2009. Uma amostra de 405 indivíduos *E. antarctica*, com comprimento padrão entre 30 mm e 112 mm foi usada para avaliar a idade através da análise de otólitos, e estimar os parâmetros da curva de crescimento de Von Bertalanffy. As idades estimadas variaram entre 2 e 8 anos. Os parâmetros da curva de crescimento de Von Bertalanffy foram L_∞ = 139 mm, k = 0,16 ano^{-1} e t_0 = -0,27 ano. A amostra de *G. braueri* foi constituída por 161 indivíduos de comprimento padrão entre 44 mm e 139 mm. Os parâmetros de crescimento estimados foram L_∞ = 128 mm, k = 0,33 $anos^{-1}$, t_0 = -0,36 ano e um máximo de 6 anos de idade para esta espécie.

Palavras-chave

Idade e crescimento, *Electrona antarctica*, *Gymnoscopelus braueri*, Mar de Scotia, Migrações verticais.

ABSTRACT

Myctophidae fish species are the main alternative to the krill *Euphausia superba*, the basis of typical Antarctic foodweb. In the Southern Ocean, the estimated biomass of myctophids ranges between 70 and 200 million tons. Due to carrying out daily vertical migrations between the surface and 1000 m deep, myctophids provide energy to top predators in the surface layers, such as *Dissostichus eleginoides* (Patagonian toothfish), *Diomedea exulans* (Wandering Albatross) and *Aptenodytes patagonicus* (King penguin).

Electrona antarctica and *Gymnoscopelus braueri* are two mesopelagic species of the family Myctophidae, whose knowledge in terms of biology and ecology is scarce. The population structure, age and growth of these two lanternfish species were investigated. Samples were collected during cruises conducted by the British Antarctic Survey in the Scotia Sea between 2004 and 2009. A sample of 405 individuals' *E. antarctica*, with standard length between 30 mm and 112 mm was used to assess age, through otolith analysis, and estimate the Von Bertalanffy growth curve parameters. The estimated ages ranged from 2 to 8 years. The estimated parameters were L_∞ = 139 mm, k = 0.16 year-1 and t_0 = -0.27 years. A *G. braueri* sample of 161 individuals, with standard length ranging from 44 mm and 139 mm, was used to estimate growth parameters. The estimated parameters were L_∞ = 128 mm, k = 0.33 $year^{-1}$, t_0 = -0.36 year and the maximum age observed was 6 years for this species.

Keywords

Age and growth, *Electrona antarctica*, *Gymnoscopelus braueri*, Scotia Sea, Vertical migration.

PREÂMBULO

A Dissertação de Mestrado aqui apresentada inseriu-se no Projecto "Biologia, distribuição e abundância da fauna pelágica do Mar de Scotia (Antárctica)" e fez parte do Programa internacional multidisciplinar **ICED - Integrating Climate and Ecosystem Dynamics in the Southern Ocean**.

O referido projecto contou com a colaboração da Universidade do Algarve, Universidade de Lisboa, IMAR – Instituto do Mar da Universidade de Coimbra, *British Antarctic Survey*, *South Georgia and South Sandwich Government*, *Centre Biologique de Chizé* - CNRS, *Scientific Committee for Antarctic Research* (SCAR) e da *Association of Polar Early Career Scientists* (APECS).

No Oceano Antárctico, os peixes mesopelágicos são importantes componentes dos ecossistemas onde se inserem e são presas para grandes predadores, incluindo baleias, focas e aves marinhas.

Neste trabalho, o autor procurou compreender a dinâmica populacional de duas espécies da Família Myctophidae. Devido à sua importância ecológica no suporte e transferência de energia entre diferentes níveis tróficos, os mictofídeos são o centro de grande interesse científico no presente, tendo sido alvo de exploração comercial no passado.

Focado numa região fortemente condicionada pela extrema sazonalidade das condições ambientais e características oceanográficas, este estudo fornece informação de base para compreender como as populações destes mictofídeos se estruturam ao longo do Mar de Scotia.

A amostragem, efectuada nos primeiros 1000 m de profundidade, situou-se entre a plataforma de gelo do continente Antárctida e a Frente Polar. Foi realizado um total de 159 lances, utilizando uma rede de arrasto pelágica (RMT25).

Considerando que o Mar de Scotia se situa no extremo austral do planeta, a realização de campanhas científicas requer um grande esforço financeiro e técnico-científico, razão pela qual este trabalho apresenta algumas limitações associadas a diversos constrangimentos de ordem técnica.

É importante salientar que o autor deste trabalho não participou no planeamento experimental nem no processo de amostragem, identificação e registo de dados biométricos. O autor trabalhou com otólitos previamente extraídos e com informação proveniente de uma base de dados da *British Antarctic Survey*.

Um dos aspectos mais importantes da caracterização das amostras utilizadas neste estudo prende-se com o facto de a amostragem não ter sido dirigida aos mictofídeos, tendo estes constituído uma captura colateral. Do total dos indivíduos amostrados, apenas de uma parte foram extraídos otólitos. Sempre que possível, foi determinado o sexo dos indivíduos.

Porém, as amostras revelaram-se muito heterogéneas no que se refere à abundância, à proporção dos sexos, à gama de comprimentos e ao número de otólitos disponíveis. Daí que análises em que se tornasse necessária ou conveniente o fraccionamento da amostra esbarrassem sempre na ausência de representatividade de uma ou de outra classe considerada.

Com o objectivo de proceder à validação do primeiro anel de crescimento dos otólitos, intentou-se a análise de 41 otólitos de larvas *E. antarctica*. No entanto, esta intenção foi frustrada na medida em que a resina utilizada na montagem (Neo-Mount©) não foi a mais apropriada, o que impossibilitou qualquer procedimento. Desta forma, estas experiências não são focadas nesta Dissertação.

Face a estes constrangimentos, apenas foram realizadas as análises permitidas pelas características das amostras. É também por esses motivos que o efectivo das amostras utilizadas nas análises que requeriam apenas comprimentos foi bastante superior ao daquelas que exigiam conhecimento sobre a idade dos espécimes.

Não obstante, este estudo representa uma melhoria significativa no estado do conhecimento de dois importantes componentes da fauna pelágica daquela região por integrar dados proveniente de quatro campanhas científicas realizadas em diferentes épocas do ano.

Actualmente, um dos principais desafios para a ciência é prever como a actividade humana e a mudança climática afectarão o Oceano Antárctico, e como as espécies que ali habitam e que dele dependem se irão adaptar. A monitorização e conservação de um ecossistema com tais características são, portanto, fundamentais.

ÍNDICE

1. Introdução 1
1.1 Unidades populacionais em biologia pesqueira 1
1.2 O Oceano Antárctico e o Mar de Scotia 2
1.2.1 Características oceanográficas 2
1.2.2 Ecologia do Oceano Antárctico e do Mar de Scotia 4
1.3 Os Myctophiformes 5
1.4 Estudos de idade e crescimento 9
2. Objectivos 13
3. Material e Métodos 15
3.1 Amostragem 15
3.2 Determinação da idade 16
3.3 Chaves de Idade-Comprimento 16
3.4 Distribuição de frequências de comprimentos 17
3.5 Modelação do crescimento 17
3.5.1 Método de ajuste linear Ford-Walford 17
3.5.2 Curva de Crescimento de Von Bertalanffy 18
3.5.3 Índice de Crescimento 18
3.5.4 Relação Peso-Comprimento 19
3.5.5 Análise Estatística 20
4. Resultados 21
4.1 *Electrona antarctica* 21
4.1.1 Distribuição de frequências de comprimentos 21
4.1.2 Distribuição espacial dos comprimentos 22
4.1.3 Determinação da idade através de otólitos 27
4.1.4 Relações morfométricas entre os otólitos e o comprimento dos peixes 33
4.1.5 Estimativa do crescimento 34
4.1.5.1 Método gráfico de Ford-Walford 34
4.1.5.2 Modelo de Crescimento de Von Bertalanffy 35
4.1.5.3 Índice de Crescimento (Φ') 37
4.1.5.4 Relações Peso-Comprimento 37

4.2 *Gymnoscopelus braueri* 39
4.2.1 Distribuição de frequências de comprimentos 39
4.2.2 Distribuição espacial dos comprimentos 40
4.2.3 Determinação da idade através de otólitos 47
4.2.4 Relações morfométricas entre os otólitos e o comprimento dos peixes 50
4.2.5 Estimativa do crescimento 52
4.2.5.1 Método gráfico de Ford-Walford 52
4.2.5.2 Modelo de Crescimento de Von Bertalanffy 52
4.2.5.3 Índice de Crescimento (Φ') 54
4.2.5.4 Relações Peso-Comprimento 54
5. Discussão 57
6. Considerações Finais 71
7. Referências Bibliográficas 73
Apêndice I. Estatística descritivo do total da amostra de *E. antarctica*.
Apêndice II. Chave idade-comprimento para o total da amostra de *E. antarctica*
Apêndice III. Chave idade-comprimento para fêmeas de *E. antarctica*
Apêndice IV. Chave idade-comprimento para machos de *E. antarctica*
Apêndice V. Estatística descritiva do total da amostra de *G. braueri*.
Apêndice VI. Chave idade-comprimento para o total da amostra de *G. braueri*
Apêndice VII. Chave idade-comprimento para fêmeas de *G. braueri*
Apêndice VIII. Chave idade-comprimento para machos de *G. braueri*

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Região do Mar de Scotia com representação das correntes superficiais na região em estudo. 3
Figura 2. *Electrona antarctica*, 60 mm SL. 7
Figura 3. *Gymnoscopelus braueri*, 95 mm SL. 8
Figura 4. Localização das estações de amostragem, no Mar de Scotia. 15
Figura 5. Distribuição de frequência de comprimento padrão da amostra de *E. antarctica*, por sexo e classe de comprimento padrão de 8 mm. 21
Figura 6. Distribuição de comprimentos padrão (mm) por sexo. 22
Figura 7. Distribuição de frequências de comprimentos padrão de *E. antarctica* nas diferentes regiões de amostragem. 23
Figura 8. Comprimento padrão médio nas diferentes regiões de amostragem. 24
Figura 9. Comprimento padrão médio de *E. antarctica* nas diferentes profundidades amostradas. 25
Figura 10. Distribuição dos comprimentos padrão de *E. antarctica* por estrato de profundidade durante o dia e noite. 26
Figura 11. Frequência de *E. antarctica* em diferentes profundidades, nas diferentes regiões de amostragem. 28
Figura 12. Comprimento padrão mediano em função da idade estimada. 29
Figura 13. Otólitos *sagitta* de *E. antarctica*. 30
Figura 14. Estrutura etária de fêmeas, de machos e para a amostra total (sexos em conjunto incluíndo indíviduos de sexo indeterminado) de *E. antarctica.* 31
Figura 15. Variação da abundância mensal de larvas de *Electrona* sp. na região da Geórgia do Sul ao longo do ano. 32
Figura 16. Distribuição mensal dos comprimentos padrão de larvas de *Electrona* sp. na região da Geórgia do Sul. 33
Figura 17. Relação morfométrica entre o comprimento padrão dos peixes e comprimento, altura e diâmetro dos otólitos. 34
Figura 18. Modelo não-linear de crescimento de Von Bertalanffy para os indivíduos *E. antarctica*. 36
Figura 19. Relações peso-comprimento para *E. antarctica***.** 38

Figura 20. Distribuição de frequência de comprimento padrão da amostra de *G. braueri*, por sexo e classe de comprimento padrão de 12 mm. 39
Figura 21. Distribuição de comprimentos padrão (mm) por sexo. 40
Figura 22. Distribuição de frequências de comprimentos padrão de *G. braueri* nas diferentes regiões de amostragem. 41
Figura 23. Comprimento padrão médio de *G. braueri* nas diferentes regiões de amostragem. 42
Figura 24. Distribuição dos comprimentos padrão de *G. braueri* por estrato de profundidade durante o dia e durante a noite. 44
Figura 25. Comprimento padrão médio e intervalos de confiança (95%) de *G. braueri* nas diferentes profundidades amostradas. 44
Figura 26. Frequência de *G. braueri* em diferentes profundidades, nas distintas regiões de amostragem. 46
Figura 27. Comprimento padrão dos indivíduos de *G. braueri* em função da idade estimada. 48
Figura 28. Otólito *sagitta* de *G. braueri* de um indivíduo com 4 anos de idade. 48
Figura 29. Estrutura etária de fêmeas, de machos e para a amostra total (sexos em conjunto e indivíduos de sexo indeterminado) de *G. braueri*. 49
Figura 30. Relações morfométricas entre o comprimento padrão de *G. braueri* e comprimento, altura e diâmetro dos otólitos. 51
Figura 31. Modelo não-linear de crescimento de Von Bertalanffy para os indivíduos *G. braueri*. 53
Figura 32. Relações peso-comprimento de *G. braueri*. 55
Figura 33. Índices de crescimento estimados em mictofídeos de diversas regiões e outros peixes demersais do Mar de Weddell. 69

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela I. Descrição dos cruzeiros realizados pela BAS no Mar de Scotia 15
Tabela II. Sumário da análise de variância entre o comprimento padrão em função da região de amostragem 23
Tabela III. Resultados do teste de Dunn para os comprimentos padrão de *E. antarctica* nas diferentes regiões amostradas 24
Tabela IV. Comprimento padrão médio dos indivíduos de *E. antarctica* capturados em diferentes alturas do dia no Mar de Scotia 25
Tabela V. Sumário da ANOVA entre o comprimento padrão médio e os estratos de profundidade estudados 26
Tabela VI. Características biométricas da amostra utilizada para a determinação da idade de *E. antarctica* 29
Tabela VII. Comparação dos comprimentos padrão médios à idade de fêmeas e machos 32
Tabela VIII. Parâmetros de crescimento estimados através do método de ajuste linear de Ford-Walford para machos, fêmeas e sexos em conjunto 35
Tabela IX. Parâmetros de crescimento estimados através do método não-linear de Von Bertalanffy para machos, fêmeas e sexos em conjunto de *E. antarctica* 35
Tabela X. Valores do índice de crescimento de *E. antarctica*, em função do sexo 37
Tabela XI. Relações de peso-comprimento de *E. antarctica* 37
Tabela XII. Sumário da análise de variância entre o comprimento padrão em função da região de amostragem 42
Tabela XIII. Resultados do teste de Dunn para os comprimentos padrão de *G. braueri* nas diferentes regiões amostradas 43
Tabela XIV. Comprimento padrão médio dos indivíduos *G. braueri* capturados em diferentes alturas do dia ao longo do Mar de Scotia 43
Tabela XV. Sumário da ANOVA entre o comprimento padrão médio de *G. braueri* e os estratos de profundidade estudados 45
Tabela XVI. Caracterização biométrica da amostra utilizada para a determinação da idade de *G. braueri* 47
Tabela XVII. Comparação dos comprimentos padrão médios à idade de fêmeas e machos *G. braueri* 50

Tabela XVIII. Parâmetros de crescimento estimados através do método de ajuste linear de Ford-Walford para machos, fêmeas e sexos em conjunto 52
Tabela XIX. Parâmetros de crescimento estimados através do método não-linear de Von Bertalanffy para machos, fêmeas e sexos em conjunto de *G. braueri* 52
Tabela XX. Valores do índice de crescimento de *G. braueri*, em função do sexo 54
Tabela XXI. Relações peso-comprimento de *G. braueri* 54
Tabela XXII. Sumário dos comprimentos padrão máximos registados para *E. antarctica* e *G. braueri* em estudos anteriores 57
Tabela XXIII. Relações morfométricas estimadas entre as dimensões dos otólitos e o comprimento padrão dos peixes úteis para estudos da ecologia alimentar de predadores 67
Tabela XXIV. Relações peso-comprimento estimadas em estudos prévios para algumas espécies de mictofídeos 68

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da biologia, ecologia e dinâmica populacional de espécies marinhas é fundamental para compreender o funcionamento dos ecossistemas. O estudo das espécies mesopelágicas, particularmente os mictofídeos, é extremamente importante devido à sua relevância ecológica e económica, de forma a conceber novas perspectivas sobre a conservação de uma região tão vulnerável como o Oceano Antárctico.

Os mictofídeos estão entre os organismos marinhos mais abundantes. O estabelecimento de extensas migrações verticais diárias e a presença de órgãos luminescentes, os fotóforos, tornam este grupo de animais único (Hulley, 1990).

Frequentemente também denominados peixes-lanterna, os mictofídeos assumem um papel fundamental na dinâmica da pirâmide trófica dos ambientes que habitam (Catul *et al.*, 2010; Cherel *et al.*, 2010). São um importante elo de ligação entre os consumidores primários e os predadores de topo, e representam uma via para o significativo transporte de partículas orgânicas entre a superfície e o oceano profundo (Cherel *et al.*, 2010).

1.1 Unidades populacionais em biologia pesqueira

Em teoria, para modelar a dinâmica de um recurso pesqueiro seria essencial ter disponíveis dados de capturas e abundância em toda a área de distribuição da espécie, bem como conhecer os movimentos e distribuição espácio-temporal de determinada pescaria (Murta, 2003). Contudo, estes pressupostos são difíceis de se praticarem, sobretudo quando se trata de espécies com uma vasta distribuição, devido à dificuldade de obtenção de dados pormenorizados e fiáveis. A solução passa por dividir espacialmente o recurso, estabelecendo-se populações, facilitando a avaliação dos recursos e a gestão das pescarias (Begg e Waldman, 1999; Begg *et al.*, 1999a).

De forma a simplificar a modelação da dinâmica de um recurso, divide-se a área de distribuição da espécie em sub-áreas onde se assume que existe uma população panmítica fechada, rejeitando-se a inclusão de parâmetros que considerem a migração entre áreas (Murta, 2003). No entanto, para serem fácil e correctamente definidos, devem ser aplicadas técnicas de genotipagem, marcadores estáveis e de acessível repetibilidade (Begg e Waldman, 1999; Booke, 1999). Uma alternativa passa pelo recurso à análise da composição química das estruturas calcificadas, como por exemplo os otólitos (Milton e Chenery, 2001), ou o uso de parasitas como marcadores biológicos (MacKenzie, 2002).

A análise das caracteristicas do ciclo de vida de uma população, como o crescimento, as migrações ou reprodução, tem sido apontada como uma ferramenta essencial na definição das unidades populacionais de qualquer recurso (Begg *et al*., 1999b; Secor, 1999; Stephenson, 1999; Cowen e Sponaugle, 2009). No entanto, apesar da reconhecida importância para a delimitação de áreas que poderão constituir unidades populacionais, o estudo do ciclo de vida por si só não permite a classificação dos indivíduos por população. Por outro lado, fornece informação essencial para a delimitação numa etapa inicial na identificação de populações (Begg *et al.,* 1999b). De igual forma, o conhecimento das características oceanográficas das regiões onde as espécies se distribuem assumem uma vital relevância na determinação da composição de uma unidade populacional (Begg *et al*., 1999a).

1.2 O Oceano Antárctico e do Mar de Scotia

O Oceano Antárctico é caracterizado por vários processos oceanográficos dos quais a circulação das massas de água oceânicas a nível global estão dependentes. A ausência de barreiras na Passagem de Drake permite um fluxo activo de água que interliga os três maiores oceanos e influencia o transporte de calor, água doce e outros indicadores climáticos (Garabato *et al.*, 2003).

1.2.1 Características Oceanográficas

O Oceano Antárctico é delimitado pela Corrente Circumpolar Antárctica (CCA), uma extensa massa de água ali existente que actua como barreira, separando o Oceano Antárctico dos oceanos adjacentes localizados a norte (Oceanos Atlântico, Índico e Pacífico). A CCA, que se estende desde a superfície até aos 4000 m de profundidade, é uma massa de água fria, com temperaturas que variam entre -1ºC e 5ºC (Brandon *et al*., 2004). A maioria do fluxo da CCA está associada a duas frentes: a Frente Subantárctica e a Frente Polar, com o restante volume associado a áreas entre, ou adjacentes às frentes referidas (Smith *et al.*, 2010).

Na Passagem de Drake (Figura 1), a CCA comprime-se e, entre a América do Sul e a Península Antárctica, emerge até o Mar de Scotia, onde atinge velocidades elevadas (Cunningham *et al*., 2003; Garabato *et al.*, 2003; Brandon *et al*., 2004; Smith *et al.*, 2010). A Este da Passagem de Drake, a CCA encontra uma grande barreira topográfica – o Arco de Scotia, uma formação que determina os limites Norte, Sul e Este do Mar de Scotia. O Arco de Scotia situa-se, aproximadamente, entre a Tierra del Fuego, o

extremo meridional da América do Sul, e a ilha de Geórgia do Sul (Smith *et al*., 2010). A região Sul do Mar de Scotia recebe ainda *inputs* de água provenientes da Península Antárctica e do Mar de Weddell (Murphy *et al*., 2007).

O Mar de Scotia é, portanto, dominado por massas de água originárias da Confluência Weddell-Scotia e correntes direccionadas para Este, que provocam um activo fluxo adventício, numerosos *eddies* e misturas (Cunningham *et al*., 2003; Garabato *et al.*, 2003; Smith *et al*., 2010).

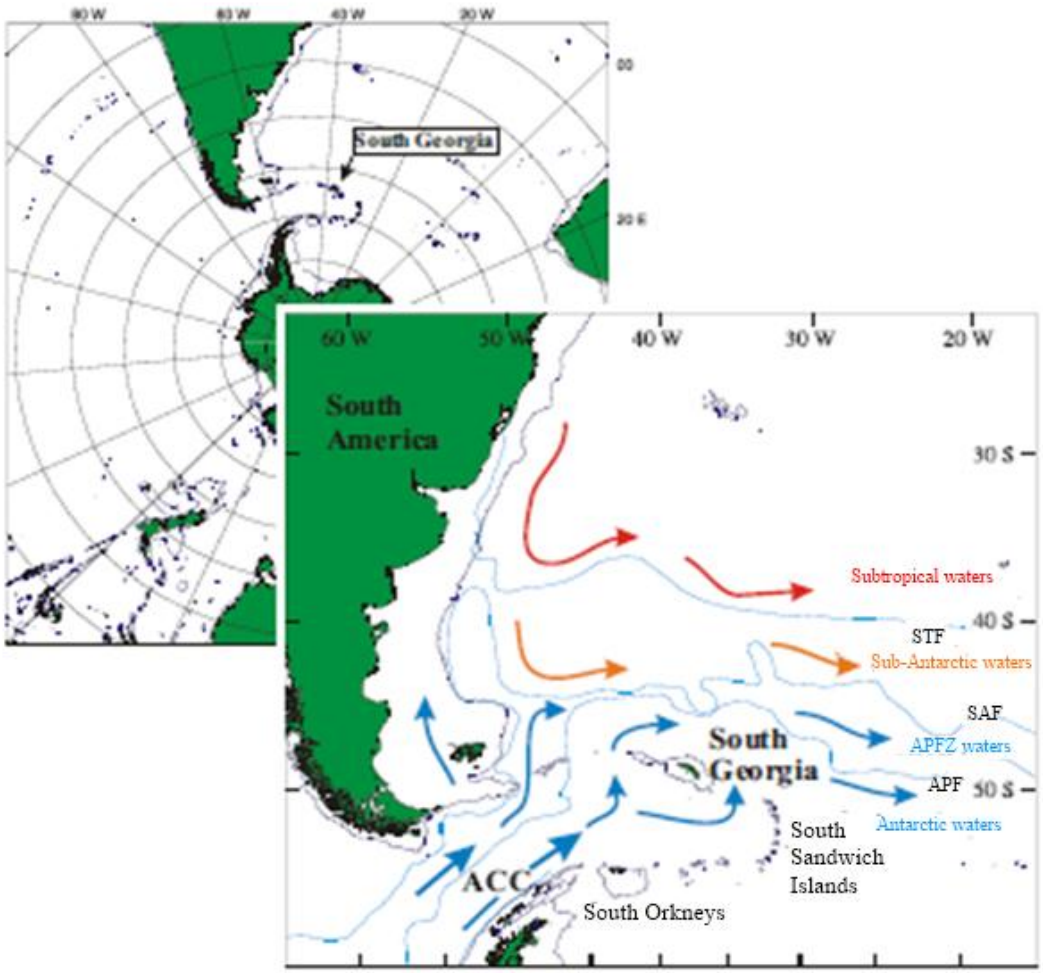


Figura 1. Região do Mar de Scotia com representação das correntes superficiais na região em estudo. As cores das setas correspondem à temperatura da água, do azul (águas mais frias) ao vermelho (águas mais quentes). Legenda: ACC: Corrente Circumpolar Antárcitca (*Antarctic Circumpolar Current*); APF: Frente Polar Antárctica (*Antarctic Polar Front*); SAF: Frente Sub-antárctica (*Sub-Antarctic Front*); STF: Frente Sub-tropical (*Sub-Tropical Front*) (segundo Xavier, 2002).

1.2.2 Ecologia do Oceano Antárctico e do Mar de Scotia

O Oceano Antárctico é um sistema altamente produtivo marcado pela forte circulação de massas de água descrita na secção anterior. O afloramento das massas de água profundas transporta nutrientes para as camadas superficiais em quantidades consideráveis (Clarke, 1988; Murphy *et al*., 2007). A luminosidade apresenta um regime sazonal, com uma maior intensidade de radiação disponível para fotossíntese no Verão, e pouco iluminado durante o Inverno. A temperatura superficial do oceano é constantemente baixa ao longo do ano (aproximadamente -2ºC a 0ºC perto do continente e -1ºC a 4ºC mais a Norte). Por sua vez, a temperatura da coluna de água varia entre os 0,3ºC a 1000 m e os -1,5ºC a 100 m de profundidade perto do continente antárctico e entre os 0ºC e os 2ºC às mesmas profundidades na zona de Convergência Antárctica (Torres e Somero, 1988). Estas condições oferecem um ambiente onde a variação da temperatura e a produção são independentes (Clarke, 1988).

O Mar de Scotia é caracterizado por uma marcada sazonalidade dos factores ambientais manifestando, por isso, uma grande variação na área da massa de gelo oceânico, que conduz a curtos períodos estivais com elevada produtividade e procura de alimento por parte dos elementos da teia trófica durante o Verão Austral (Clarke, 1988; Torres e Somero, 1988; Murphy *et al*., 2007).

De acordo com Murphy *et al.* (2007), a cadeia trófica do Mar de Scotia é altamente heterogénea e dinamicamente relacionada com a forte variabilidade na estrutura espacial e temporal, e relações estabelecidas, principalmente devido à dispersão dos predadores durante o Inverno, conduzido a uma redução na demanda energética nos níveis tróficos superiores. A estrutura trófica é mantida pela exigência de energia no eixo horizontal da coluna de água, na qual o krill, *Euphausia superba* Dana, 1852 (citada posteriormente apenas como krill), é um elemento chave (Murphy *et al.*, 2007). O efeito do controlo *top-down* é evidente nos produtores primários, onde o impacto da predação e herbivoria no plâncton afecta a dinâmica das comunidades planctónicas, e onde a alternância de abundância entre krill e copépodes afectam o desenvolvimento do fitoplâncton (Atkinson *et al.*, 2001; Murphy *et al.*, 2007).

No Mar de Scotia, os efeitos das alterações climáticas são mais evidentes. O degelo da Península Antárctica afecta as populações de krill, o que pode ter profundas implicações na estrutura trófica do Oceano Antárctico (Atkinson *et al*., 2004; Clarke *et al*., 2007).

1.3 Os Myctophiformes

Os Myctophiformes são peixes da Superordem Scopelomorpha. Exibem a cabeça e o corpo comprimido; olhos laterais; boca grande e terminal; barbatana adiposa presente; geralmente 8 raios pélvicos e 7-11 raios branquióstegos. Estes peixes dividem-se em duas famílias – Neoscopelidae e Myctophidae, com 35 géneros e, aproximadamente, 246 espécies (Hulley, 1984; Nelson, 2006; Catul *et al*., 2010). A maioria das espécies Myctophiformes são mictofídeos (família Myctophidae). Os mictofídeos caracterizam-se, principalmente, pela presença de grupos de pequenos fotóforos distribuídos ao longo da cabeça e do corpo (Catul *et al*., 2010). Exibem um comprimento padrão (SL, *Standard Length*) que varia entre 20 mm e 300 mm; dentes pequenos; origem da barbatana anal posterior ao nível da base da barbatana dorsal; escamas ciclóides ou ctenóides; presença de bexiga gasosa; e 28-45 vértebras (Hulley, 1990; Nelson, 2006). O ciclo de vida dos mictofídeos é caracterizado pela existência de fases larvares e pós-larvares, sendo a pigmentação, o número de fotóforos e algumas características da cabeça as características distintivas comparativamente aos indivíduos adultos (Hulley, 1984). Este grupo de peixes exibe um crescimento rápido, maturação sexual precoce e elevadas taxas de mortalidade (Catul *et al.*, 2010)

Os mictofídeos, extraordinariamente numerosos, em abundância e biomassa, distribuem-se desde a região do Árctico à Antárctida (Hulley, 1984), nas zonas meso e batipelágicas (Hulley, 1990; Nelson, 2006). A zona mesopelágica compreende a zona da coluna de água dos 200 m aos 1000 m de profundidade e situa-se entre a zona epipelágica (0-200 m) e a zona batipelágica (1000-6000 m).

As taxas metabólicas são igualmente afectadas como resposta à diminuição da temperatura, sabendo-se que o consumo de oxigénio e a actividade enzimática diminuem com a profundidade, em resposta à diminuição da temperatura (Torres e Somero, 1988). As espécies mesopelágicas executam migrações verticais diárias entre a superfície e os 1000 m, sendo que algumas exibem estratificação de comprimento em função da profundidade e/ou outras têm fases do ciclo de vida não migratórias, sendo este um factor de variabilidade dentro da família, uma vez que algumas espécies não executam migrações ou apenas o fazem com intervalos irregulares (Catul *et al.*, 2010). Por outro lado, as espécies batipelágicas não exibem movimentos verticais (Duhamel *et al.*, 2000; Collins *et al*., 2008).

A presença de fotóforos nestes peixes desempenha uma função ecológica importante nas migrações verticais que efectuam, tanto na procura de alimento como na comunicação intraspecifica (Duhamel *et al.*, 2000; Turner *et al.*, 2009; Catul *et al.*, 2010).

Os mictofídeos são designados como membros da *deep scattering layer*. Frequentemente, estes peixes são registados pelas sondas acústicas agregados em camadas compactas e dando uma falsa indicação do fundo do oceano, principalmente nas alturas do dia em que se encontram inactivos (Barham, 1966; Catul *et al.*, 2010).

No Oceano Antárctico, os mictofídeos são o *taxon* dominante em termos de biomassa e abundância (Barrera-Oro, 2002), estimando-se uma biomassa de 70 a 200 milhões de toneladas (Lubimova *et al.*, 1987 *in* Collins *et al*., 2008). No Mar de Scotia, a família Myctophidae domina a diversidade da ictiofauna, contando com 15 espécies, distribuídas por 5 géneros (Pusch *et al.*, 2004; Collins *et al.*, 2008).

Os mictofídeos desempenham um papel extremamente importante nas cadeias tróficas. São consumidores de segunda ordem, ocupando o terceiro nível dos sistemas tróficos (Cherel *et al*., 2010), alimentando-se maioritariamente de zooplâncton (Pakhomov *et al*., 1996; Pusch *et al*., 2004). Devido à sua elevada biomassa, os mictofídeos têm um enorme impacto no consumo de krill, bem como no suporte à produção dos predadores de topo da cadeia alimentar (Van de Putte *et al*., 2006; Shreeve *et al*., 2009; Catul *et al.*, 2010). A sua capacidade de armazenamento energético liga diferentes vias tróficas em períodos de elevada produtividade secundária epipelágica, potenciando uma rápida transferência de energia para as camadas profundas. Durante as épocas de baixa produção, os mictofídeos contam com essas reservas e com as comunidades de zooplâncton para se alimentarem (Van de Putte *et al*., 2006; Flores *et al*., 2008). Alguns autores sugerem ainda que os mictofídeos, devido à sua elevada capacidade de armazenamento energético (Barrera-Oro, 2002; Van de Putte *et al*., 2006), constituem a maior alternativa à normal cadeia trófica baseada em krill, no Oceano Antárctico (Kozlov, 1995; Pusch *et al*., 2004; Van de Putte *et al*., 2006; Murphy *et al.*, 2007; Collins *et al.*, 2008). Flutuações na abundância e biomassa de krill, em resposta a alterações na extensão das massas de gelo (Atkinson *et al*., 2004; Moline *et al.*, 2004) e, consequentemente, na composição do fitoplâncton (Moline *et al*., 2004), provocam uma mudança nas estratégias e preferências alimentares, em especial para mictofídeos, dos predadores (Murphy *et al*., 2007).

No Mar de Scotia, as espécies de mictofídeos mais importantes em termos de distribuição e abundância são *Electrona antarctica* (Günther, 1878), *E. carlsbergi* (Tåning, 1932), *Gymnoscopelus bolini* Andriashev, 1962, *G. braueri* (Lönneberg, 1905), *G. fraseri* (Fraser-Brunner, 1931), *G. nicholsi* (Gilbert, 1911), *Krefftichthys anderssoni* (Lönnberg, 1905), *Protomyctophum choriodon* Hulley, 1981 e *P. bolini* (Fraser-Brunner, 1949) (Pusch *et al*., 2004; Collins *et al*., 2008). O presente estudo incidiu em duas espécies, *Electrona antarctica* e *Gymnoscopelus braueri*.

Electrona antarctica

Electrona antarctica (Günther, 1878) (Figura 2) é a espécie da família Myctophidae mais comum a sul da Frente Polar Antárctica, à excepção do Mar de Ross (Hulley, 1990), sendo considerada uma espécie endémica daquela região do globo (Hulley, 1990; Greely *et al*., 1999).

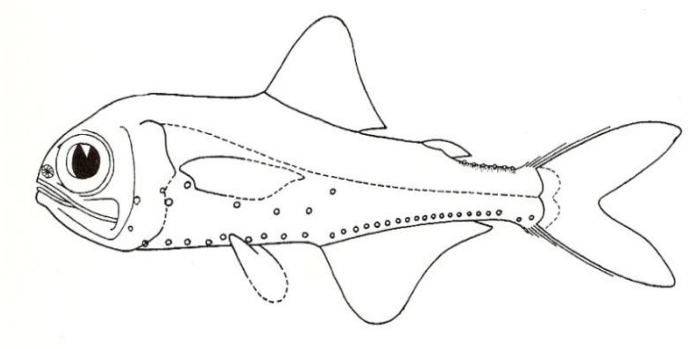


Figura 2. *Electrona antarctica*, 60 mm SL (adaptado de Hulley, 1986).

Esta espécie mesopelágica, encontrada entre a superfície e os 1000 m de profundidade, efectua migrações verticais diárias (Hulley, 1990; Piatkowski *et al*., 1994; Collins *et al*., 2008). No estudo realizado por Collins *et al*. (2008) na região Norte do Mar de Scotia, *E. antarctica* foi capturada em todas as profundidades amostradas (0-1000 m), excepto acima dos 200 m durante o período diurno, com um máximo de abundância de 0,14 indivíduos/1000 m^3 no intervalo 400-600 m.

Os indivíduos adultos são encontrados em latitudes elevadas, nas regiões das Ilhas Órcadas do Sul, Ilhas Shetland do Sul e Ilha de Pedro I, mas igualmente na zona de confluência do Mar de Weddell/Mar de Scotia. No entanto, tanto indivíduos adultos como juvenis estão presentes nas regiões das ilhas Geórgia do Sul, Sandwich do Sul e Bouvet (Hulley, 1990).

A dieta de *E. antarctica* consiste maioritariamente em copépodes e eufausiáceos, mas inclui igualmente poliquetas, quetognatos, ostracodos, anfípodes, decápodes, moluscos e peixes no estado juvenil (Rowedder, 1979b; Pakhomov *et al*., 1996; Pusch *et al.*, 2004; Flores *et al*., 2008; Shreeve *et al.*, 2009). Por outro lado, ocorre nos conteúdos estomacais de *Arctocephalus gazella* (Peters, 1875) (otária-do-antárctico), *Aptenodytes patagonicus* Miller, 1778 (pinguim-rei), *Thalassarche melanophris* (Temminck, 1828) (albatroz-de-sobrancelha-preta), *T. chrysostoma* (Forster, 1785) (albatroz-de-cabeça-cinzenta) e *Procellaria aequinoctialis* Linnaeus, 1758 (pardela) (Croxall *et al*., 1995; Guinet *et al*., 1996; Reid e Arnould, 1996; Reid *et al*., 1996; Cherel *et al.*, 2002; Xavier *et al*., 2003a, b; Arata *et al*., 2004).

De acordo com Hulley (1990), os indivíduos *E. antarctica* machos atingem um comprimento máximo de 82 mm, sendo que as fêmeas atingem maiores dimensões – 103 mm. No entanto, mais recentemente, foi registado um máximo de 112 mm SL para a mesma espécie (Collins *et al*., 2008). A maturação das fêmeas ocorre com, aproximadamente, 74 mm (Hulley, 1990). Linkowski (1987), num estudo de idade e crescimento, registou uma idade máxima de 11 anos para *E. antarctica*, muito longe da determinação realizada por outros autores que, nos seus estudos sobre a biologia de *E. antarctica*, determinaram como máxima a idade de 3 anos (Rowedder, 1979a; Greely *et al.*,1999).

Gymnoscopelus braueri

Gymnoscopelus braueri (Lönnberg, 1905) (Figura 3) é uma espécie circumpolar mesopelágica comum e abundante, geralmente distribuída entre a costa da Antárctica e as latitudes 33ºS (sudoeste do sector Atlântico), 46ºS (sector do Oceano Índico entre 50º-71ºE) e 46ºS (sector do Oceano Pacífico, ao largo do Chile) (Hulley, 1990).

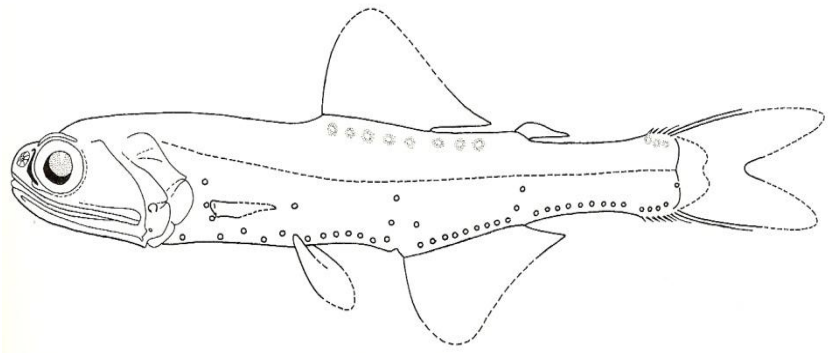


Figura 3. *Gymnoscopelus braueri*, 95 mm SL (adaptado de Hulley, 1986).

À semelhança de *E. antarctica*, exibe migrações verticais (Piatkowski *et al*., 1994; Collins *et al*., 2008). É encontrada acima dos 200 m à noite, mas em profundidades superiores na região da convergência subtropical (Hulley, 1990). Collins *et al*. (2008) registou que *G. braueri* foi capturada dos 0-800 m, estando ausente acima dos 200 m durante o dia. No Mar de Scotia, o máximo de abundância de 0,3 indivíduos/1000 m^{-3} foi registado à noite entre a superfície e os 200 m de profundidade. Esta espécie alimenta-se essencialmente de krill, consumindo ainda copépodes, anfípodes e outros eufausiáceos (Shreeve *et al*., 2009), e existem registos que a incluem nos conteúdos estomacais de *Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898 (bacalhau-do-Antárctico), *Procellaria aequinoctialis*, *Thalassarche chrysostoma* e *Arctocephalus gazella* (Hulley, 1990; Croxall *et al*., 1995; Reid e Arnould, 1996; Cherel *et al.*, 1997; Pusch *et al*., 2004).

G. braueri atinge um máximo de 132 mm SL (Hulley, 1990), ocorrendo a maturação quando os indivíduos atingem, aproximadamente, 114 mm SL. Não existem estudos prévios relativos à determinação da idade e crescimento desta espécie.

1.4 Estudos de idade e crescimento

A estimação da idade e análise do crescimento é extremamente importante no estudo da dinâmica da estrutura do ecossistema marinho, particularmente dos recursos pesqueiros (Morales-Nin, 1992; Ashford *et al*., 2001; Abecassis *et al*., 2008) de modo a contribuir para uma melhor avaliação e gestão desses mesmos recursos. A idade corresponde à descrição quantitativa do tempo de vida de um indivíduo, sendo que o crescimento avalia a variação das dimensões do corpo ou de parte do corpo, em comprimento ou em peso, entre dois períodos temporais. A acção de factores ambientais (p. ex., temperatura) e genéticos reflecte-se no crescimento dos indivíduos (Clarke e North, 1991; Chícharo e Chícharo, 2008).

A variação do comprimento (ou peso) em função do tempo é um bom indicador de crescimento, sendo designada por *taxa de crescimento*. Embora descrevam aspectos diferentes, a estimação da idade está intimamente relacionada com os estudos de crescimento (Folkvord e Mosegaard, 2002). Em termos de ecologia, a informação obtida pode ser interpretada ao nível de população, e ciclo de vida e demografia das espécies, o que a torna fundamental na gestão de espécies valiosas para as pescas e de espécies protegidas (Begg *et al*., 2005).

Existem vários métodos para a determinação da idade, os quais consistem na análise de estruturas calcificadas, como otólitos, escamas, vértebras, raios de barbatanas, dentes e outros ossos (North, 1988; Fowler, 1990; Campana, 2001; Morales-Nin e Panfili, 2002a; Abecassis *et al*., 2008). Vários problemas são descritos por Ashford *et al.* (2001) e Panfili *et al*. (2002), incluindo a reabsorção e regeneração de escamas, e a não formação de anéis de crescimento distintos. Por sua vez, as estruturas ósseas requerem uma longa preparação e interpretação e estão sujeitas a reabsorção e remodelação, dificultado uma correcta análise da periodicidade da deposição dos incrementos.

O método de estimação de idade através de otólitos é vastamente utilizado (Begg *et al.*, 2005). Os otólitos são estruturas calcificadas, resultado da cristalização do carbonato de cálcio – essencialmente na forma de aragonite – sobre uma matriz proteica de fibras proteicas de otolina (Wright *et al*., 2002a). Os otólitos fazem parte do ouvido interno dos peixes ósseos, estrutura presente no interior do crânio, responsável pelo equilíbrio e audição nestes animais (Begg *et al*., 2005; Volpedo *et al*., 2008).

A morfologia e tamanho dos otólitos variam consoante as espécies (Assis, 2000, 2004; Tuset *et al*., 2008). Desta forma, as características inter e intra-específicas permitem, por exemplo, realizar estudos taxonómicos e paleontológicos, e determinar relações tróficas (Assis, 2000, 2004; Tuset *et al*., 2008). Os peixes ósseos possuem três pares de otólitos: 1) um par de *sagittae*, frequentemente de maior dimensão e mais comuns na determinação da idade; 2) um par de *asterisci*; e 3) um par de *lapilli.* Os *sagittae* e os *lapilli* são os primeiros otólitos a ser formados (Wright *et al.*, 2002a), enquanto que os *asterisci* se formam um pouco mais tarde ao longo do desenvolvimento.

A utilização de otólitos, considerados excelentes *data loggers* naturais, tem um grande potencial (Assis, 2000) e é extremamente útil devido ao facto de essas estruturas registarem incrementos de crescimento relativamente simples de visualizar (Gonçalves *et al.*, 2003; Begg *et al.*, 2005; Abecassis *et al*., 2008).

Diferentes taxas de deposição dos materiais orgânicos e inorgânicos constituem as diferenças na proporção relativa de cada componente, traduzindo-se em diferentes propriedades ópticas. Estes incrementos são classificados como: 1) *incrementos primários*, que permitem uma resolução de dias; 2) *incrementos sazonais*, com resolução de alguns meses ou um período específico de crescimento; 3) *incrementos anuais*, que permitem uma resolução anual; e 4) descontinuidades na estrutura,

correspondentes a situações de stress, motivadas por alterações ecológicas mais ou menos drásticas e não são necessariamente regulares ao longo o ciclo de vida de um indivíduo (Morales-Nin, 2000a; Meunier, 2002; Wright *et al*., 2002a; Abecassis *et al*., 2008). O processo deposição de cálcio nos otólitos depende ainda de numerosos factores, entre eles, a região (p. ex., temperada, polar, tropical) e a condição do indivíduo (Beamish e McFarlane, 1983; North, 1988; Campana, 2001).

O número de incrementos registado requer uma interpretação sistemática e validação, que garanta o estabelecimento de uma correcta relação entre a idade e o tempo (North, 1988; Campana, 2001; Begg *et al*., 2005; Power *et al*., 2006).

Resumidamente, de acordo com Morales-Nin e Panfili (2002a), a determinação da idade requer:

1. selecção da estrutura calcificada, considerando problemas de reabsorção ou a facilidade de amostragem das estruturas;
2. reconhecimento dos padrões de crescimento, incluindo a periodicidade das marcas de crescimento e a escala de tempo (sazonal ou anual);
3. escolha do método de preparação das estruturas, que normalmente pode incluir problemas técnicos respeitantes à preparação das peças e legibilidade das marcas de crescimento;
4. confirmação da consistência das leituras (precisão) e inter-calibração (com um ou mais leitores) – estudos de Verificação;
5. validação do rigor da interpretação (p. ex., o tempo que separa as marcas de crescimento);
6. aplicação dos resultados obtidos em estudos de crescimento, estrutura populacional e avaliação de *stocks* pesqueiros.

2. OBJECTIVOS

Considerando as características oceanográficas que particularizam o Mar de Scotia, é espectável uma variabilidade espacial na distribuição de *E. antarctica* e *G. braueri*. A importância ecológica destas espécies exige, por isso, a necessidade de se investigar a estrutura espacial e padrões demográficos, bem como a idade e crescimento destes mictofídeos.

Desta forma, dado o actual estado de conhecimento sobre *E. antarctica* e *G. braueri*, os objectivos do presente trabalho consistiram na:

1. avaliação da idade e crescimento das duas espécies de mictofídeos;
2. análise da distribuição etária e por tamanhos em profundidade e em função de da distância à costa (regiões costeiras *vs*. oceânicas);
3. verificação o padrão de migração vertical em função do tamanho e da idade;

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Amostragem

Os indivíduos das espécies *Electrona antarctica* e *Gymnoscopelus braueri* usados neste estudo foram capturados durante quatro cruzeiros de investigação da *British Antarctic Survey* (BAS) no Mar de Scotia, realizados entre 2004 e 2009 (Tabela I).

Tabela I. Descrição dos cruzeiros realizados pela BAS no Mar de Scotia

Cruzeiro	Data	Estação
JR 100	Março-Abril de 2004	Outono austral
JR 161	Outubro-Novembro de 2006	Primavera austral
JR 177	Janeiro-Fevereiro de 2008	Verão austral
JR 200	Fevereiro-Março de 2009	Verão austral

As amostras foram recolhidas com recurso a uma rede de arrasto pelágico rectangular de 25 m^2 (RMT25) em estações posicionadas entre o bordo gelado da Península Antárctica e a Frente Polar Antárctica (Figura 4), através de arrastos com duração de 30-60 min, estratificados por profundidade entre a superfície e os 1000 m (estratos de profundidade: 1000-700 m, 700-400 m, 400-200 m, 200-0 m).

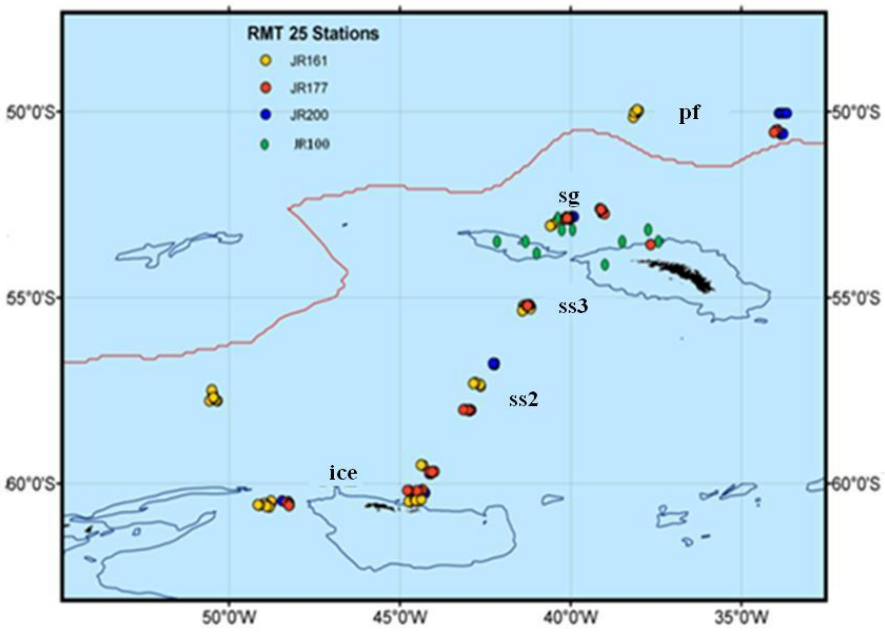


Figura 4. Localização das estações de amostragem, no Mar de Scotia. ICE: bordo gelado da Antárctica; SS1, SS2 e SS3: estações oceânicas; SG: Geórgia do Sul; PF: Frente Polar Antárctica (modificado de Collins *et al*. (em prep.)).

O saco da rede tinha uma malha de 5 mm e a velocidade de arrasto foi de 2,5 nós, Uma amostra representativa de otólitos foi recolhida, considerando a profundidade e a distribuição de comprimentos, e armazenada a seco em sacos de papel. A bordo, procedeu-se ao registo do comprimento padrão (SL, *Standard Length*) de todos os indivíduos, com aproximação a 1 mm, do peso total (W, *weight*) com aproximação a 0,01 g e do sexo.

3.2 Determinação da idade

A determinação da idade das duas espécies de mictofídeos foi realizada através análise macroscópica dos otólitos, recorrendo à ampliação mais conveniente em cada caso.

Análise dos otólitos de adultos *Electrona antarctica* e *Gymnoscopelus braueri*

Os otólitos *sagitta* de *E. antarctica* (n = 405) e *G. braueri* (n = 161) foram examinados sem processamento prévio com uma lupa binocular sob uma luz reflectida e imersos em etanol 96% numa placa de Petri sobre um fundo escuro, como descrito por Panfili *et al.* (2002). O núcleo e as zonas opacas tornam-se claros com a luz e os incrementos hialinos, translúcidos, aparecem escuros. Considerou-se que o conjunto de um incremento hialino e um incremento opaco corresponde a um *annulus* (North, 1988; Gartner, 1991a, b). A contagem dos incrementos foi realizada ao longo do eixo dorso-ventral na face lateral do otólito. O tipo de bordo, opaco ou hialino, foi registado.

Para determinar o período de recrutamento de *E. antarctica* e assim aferir a determinação de idades com base na leitura dos otólitos foram utilizados dados de abundância e comprimento padrão de larvas *E. antarctica*.

Essas larvas foram capturadas através de arrastos horizontais de plâncton, realizados semanalmente na baía de Cumberland (54º 17 'S, 36º 29' W), utilizando uma rede RMT1 (1 m^2 de abertura), entre Setembro de 2001 e Janeiro de 2007. Os arrastos tiveram a duração de 30 minutos, à velocidade de 2 nós. As abundâncias foram padronizadas dividindo-se o número de larvas capturadas pelo volume arrastado.

3.3 Chaves Idade-Comprimento

Com os valores obtidos a partir da leitura dos otólitos, foram elaboradas chaves idade-comprimento, tanto para sexos combinados, como separadamente para cada um dos sexos.

3.4 Distribuição de frequências de comprimentos

A distribuição de frequência de comprimentos foi analisada graficamente através de histogramas organizados em classes de 8 mm (*E. antarctica*) e de 12 mm (*G. braueri*), separadamente para machos e fêmea, e em função da região. O número de classes foi calculado pelo método de Sturges.

3.5 Modelação do crescimento

As curvas de crescimento traduzem o resultado da interacção entre o crescimento dos peixes e o ambiente em que se incluem (Fitzhugh Jr., 1976). Diversos modelos têm sido usados para descrever o crescimento dos peixes, incluindo o Modelo de Crescimento de Von Bertalanffy.

3.5.1 Método de ajuste linear Ford-Walford

De forma a calcular os valores iniciais utilizados no ajuste não-linear, foi aplicado o método de ajuste linear Ford-Walford. Este modelo é descrito pela função:

$$L_{t+1} = L_\infty (1 - e^{-k}) + L_t e^{-k}$$

em que

L_{t+1}: comprimento à idade t+1 (mm),
L_∞: comprimento assimptótico (mm),
L_t: comprimento à idade t (mm),
k: coeficiente de crescimento (ano^{-1}),
t: idade (ano).

O método de ajuste linear permite obter de forma rápida a estimação dos parâmetros L_∞ e k, comprimento máximo assimptótico e coeficiente de crescimento, respectivamente, através da computação gráfica e sem requerer cálculos complexos (Walford, 1949; Sparre e Venema, 1997). Este método é especialmente útil quando não são conhecidos estudos anteriores para a espécie em causa (Erzini e Castro, 1991).

3.5.2 Curva de Crescimento de Von Bertalanffy

A curva de crescimento de Von Bertalanffy (VBGF – *Von Bertalanffy Growth Function*) é o modelo frequentemente utilizado para descrever o crescimento de peixes, uma vez que o que melhor se ajusta ao tipo de crescimento que estes animais exibem (Erzini e Castro, 1991). O modelo proposto por Von Bertalanffy é ainda adequado para descrever o crescimento de outros grupos de animais, como por exemplo cefalópodes (Pauly, 1998; Ignatius *et al*., 2011) e crustáceos (Roa, 1993).

Este modelo traduzido pela função:

$$L_t = L_\infty (1 - e^{-k(t-t0)})$$

em que

L_t: comprimento à idade t (mm),
L_∞: comprimento assimptótico (mm),
k: coeficiente de crescimento (ano^{-1}),
t: idade (ano),
t_0: parâmetro de condição inicial, correspondendente à idade teórica em que o comprimento (L_t) = 0.

Geralmente, um valor de L_∞ baixo e um valor de k elevado caracterizam espécies pequenas e de crescimento rápido. Por outro lado, espécies com L_∞ elevado e k reduzido exibem um comprimento mais elevado e um crescimento mais lento. O valor t_0 não tem qualquer significado biológico (Erzini e Castro, 1991).

3.5.3 Índice de Crescimento

Para comparar os modelos de crescimento entre sexos e entre espécies, calculou-se o Índice de Crescimento (Φ') (*Growth Perfomance Index*) (Pauly e Munro, 1984; Pauly *et al.*, 1996)

$$\Phi' = \text{Log}_{10}\, k + 2\, \text{Log}\, L_\infty$$

Este índice deve apenas ser aplicado para comparar a performance de crescimento de espécies com morfologia semelhante (Pauly and Munro, 1984).

3.5.4 Relação Peso-Comprimento

Foram estabelecidas as relações peso-comprimento, tanto para ambos os sexos, como para sexos separados, de acordo com a seguinte expressão (Gonçalves *et al.*, 1997):

$$W = aSL^b$$

Esta expressão pode ser transformada numa regressão linear, após a transformação logarítmica:

$$\log W = \log a + b \log SL$$

em que

W*:* peso total (g),
SL: comprimento padrão (cm),
a e *b:* factor de condição e constante alométrica, respectivamente (Cadima, 2003).

O parâmetro *b* pode ser interpretado como:

- se $b < 3$ o crescimento é alométrico negativo,
- se $b = 3$ o crescimento é isométrico,
- se $b > 3$ o crescimento é alométrico positivo.

Foram estabelecidas as relações peso/comprimento para ambas as espécies, *E. antarctica* e *G. braueri*, tanto para sexos separados como para os sexos em conjunto. O grau de associação entre W e SL é dado pelo coeficiente de determinação, r^2. As relações peso/comprimento são muito úteis em estudos de dinâmica populacional uma vez que fornecem inúmeras informações (Petrakis e Stergiou, 1995; Gonçalves *et al*., 1997) e permitiram:

1. estimar o peso à idade a partir dos pesos dos indivíduos e das distribuições das frequências de comprimento;
2. converter as equações de crescimento em comprimento em equações de crescimento em peso, úteis na gestão pesqueira;
3. estimar índices de condição;
4. comparar morfologicamente populações de diferentes regiões.

3.5.5 Análise Estatística

A comparação dos comprimentos médios à idade por classe etária entre sexos, realizou-se através do teste *t-Student* (Zar, 1999).

A utilização de testes paramétricos ou não-paramétricos mais apropriados, permitiu investigar a variabilidade da distribuição do SL em função da região, estação do ano e profundidade. O cumprimento dos pressupostos estatísticos dos testes utilizados foi confirmado.

De forma a aferir diferenças no padrão de crescimento entre machos e fêmeas, foi aplicado o teste de Máxima Vermosimilhança (Λ) (*Maximum Likelihood test*). Este teste verifica os parâmetros de crescimento estimados através da comparação da média da soma ao quadrado dos erros residuais das duas regressões (Kimura, 1980; Gonçalves, 1999):

$$\Lambda = \left(\frac{\mathrm{MSE}_t^2}{\mathrm{MSE}_m^2}\right)^{\frac{-n_m}{2}} \mathrm{x} \left(\frac{\mathrm{MSE}_t^2}{\mathrm{MSE}_f^2}\right)^{\frac{-n_f}{2}}$$

em que

MSE_t^2: Média dos erros ao quadrado da curva de crescimento estimada para a amostra total,

MSE_m^2: Média dos erros ao quadrado da curva de crescimento estimada para os machos,

MSE_f^2: Média dos erros ao quadrado da curva de crescimento estimada para as fêmeas,

n_m: número de machos,

n_f: número de fêmeas.

Se -2Ln (Λ) > $^{2}_{3}$ (em que 3 graus de liberdade indicam os 3 parâmetros do VBGF estimados), as curvas de crescimento de machos e fêmeas são significativamente diferentes (α = 0,05) (Kimura, 1980).

De forma a comparar os parâmetros das regressões lineares das relações peso-comprimento, após transformação logarítmica, de machos e fêmeas, foi aplicado um teste *t-Student*, de acordo com Zar (1999).

4. RESULTADOS

Nesta secção, são apresentados resultados do estudo da estrutura populacional e crescimento de *Electrona antarctica* e *Gymnoscopelus braueri*.

4.1 *Electrona antarctica*

4.1.1 Distribuição de frequências de comprimentos

Os 2979 indivíduos *E. antarctica* utilizados neste estudo exibem comprimento padrão entre 25 mm e 115 mm, sendo o comprimento padrão médio de 71±16 mm (Figura 5). As fêmeas dominaram a amostragem contribuindo com 62% (n = 1836), contra 32% de machos (n = 949). Apenas 6% da amostra foram constituidos por indivíduos de sexo indeterminado (n = 194).

Considerando os sexos em conjunto, a classe de comprimento padrão mais representada foi a classe de 76 mm SL, com 211 fêmeas, 203 machos e 19 indivíduo de sexo indeterminado, constituindo 17% do total da amostra analisada. Examinados os sexos em separado, a classe mais representada dos machos foi, novamente, a classe de 76 mm SL (n = 203), representado 4% do total da amostra. Por outro lado, a classe de comprimento padrão mais representada nas fêmeas foi a de 60 mm (n = 264), constituindo 4% do total. É de realçar o facto de não aparecerem indivíduos machos nas classes de comprimento padrão superiores a 84 mm. Todas as classes de comprimento padrão seleccionadas estão representadas.

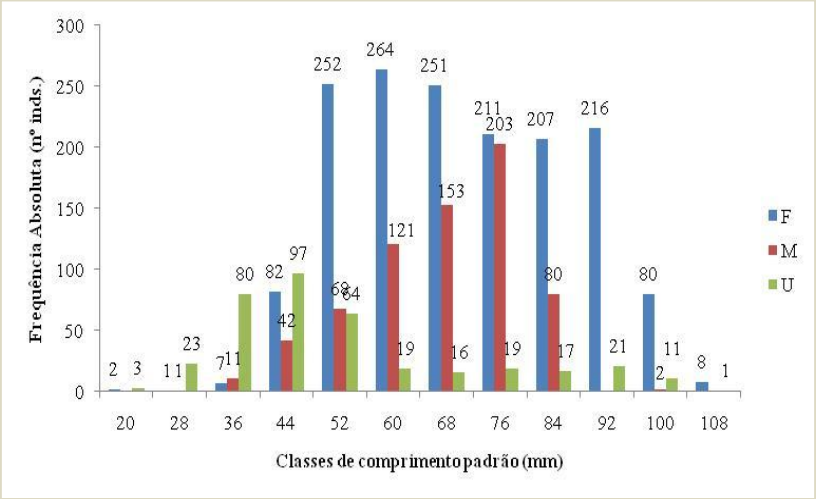


Figura 5. Distribuição de frequência de comprimento padrão da amostra de *E. antarctica*, por sexo e classe de comprimento padrão de 8 mm. F - fêmeas; M - machos; U - sexo indeterminado.

As fêmeas apresentaram tanto uma maior gama de comprimentos padrão, assim como os comprimentos padrão máximos e mínimos, quando comparadas com os dados obtidos para machos (Figura 6; Apêndice I), sendo que as diferenças encontradas entre os comprimentos padrão médios de fêmeas e machos são significativas (Teste *t-Student*: $t = 6{,}61$; $gdl = 2783$; $p < 0{,}05$).

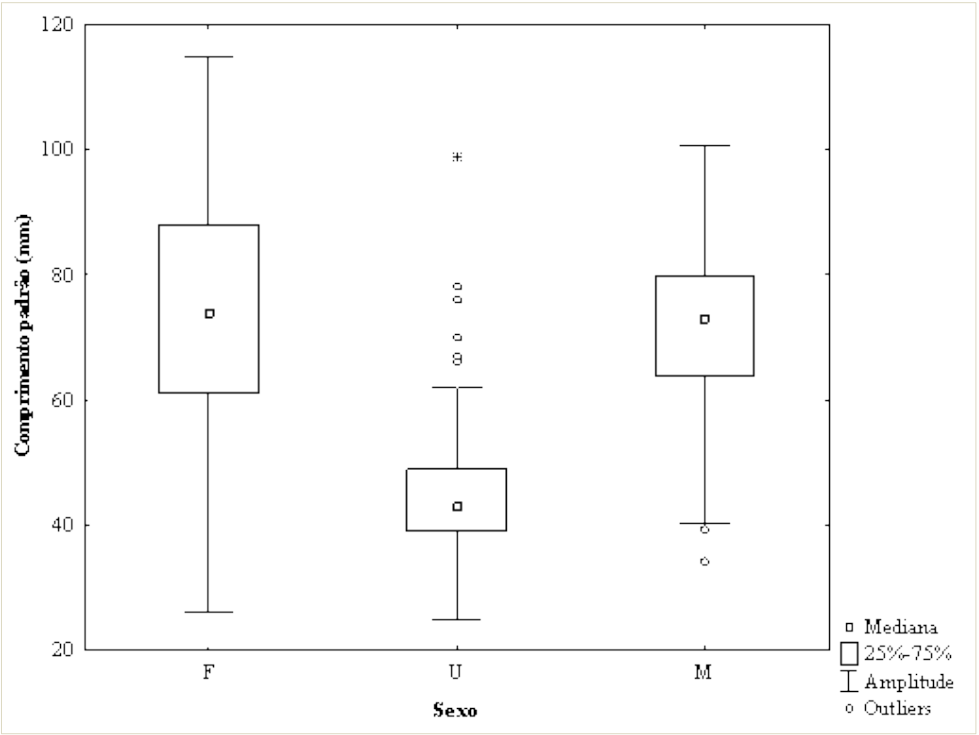


Figura 6. Distribuição de comprimentos padrão (mm) por sexo. F – fêmeas; U – indivíduos de sexo indeterminado; M - machos.

4.1.2 Distribuição espacial dos comprimentos

A figura 7 ilustra a distribuição de comprimentos padrão ao longo da região de amostragem. Verificou-se a presença de indivíduos de menor comprimento padrão nas áreas oceânicas ss2, ss3 e pf (ver Figura 4). Por sua vez, os indivíduos de comprimento padrão superior foram amostrados nas zonas costeiras da Geórgia do Sul (sg).

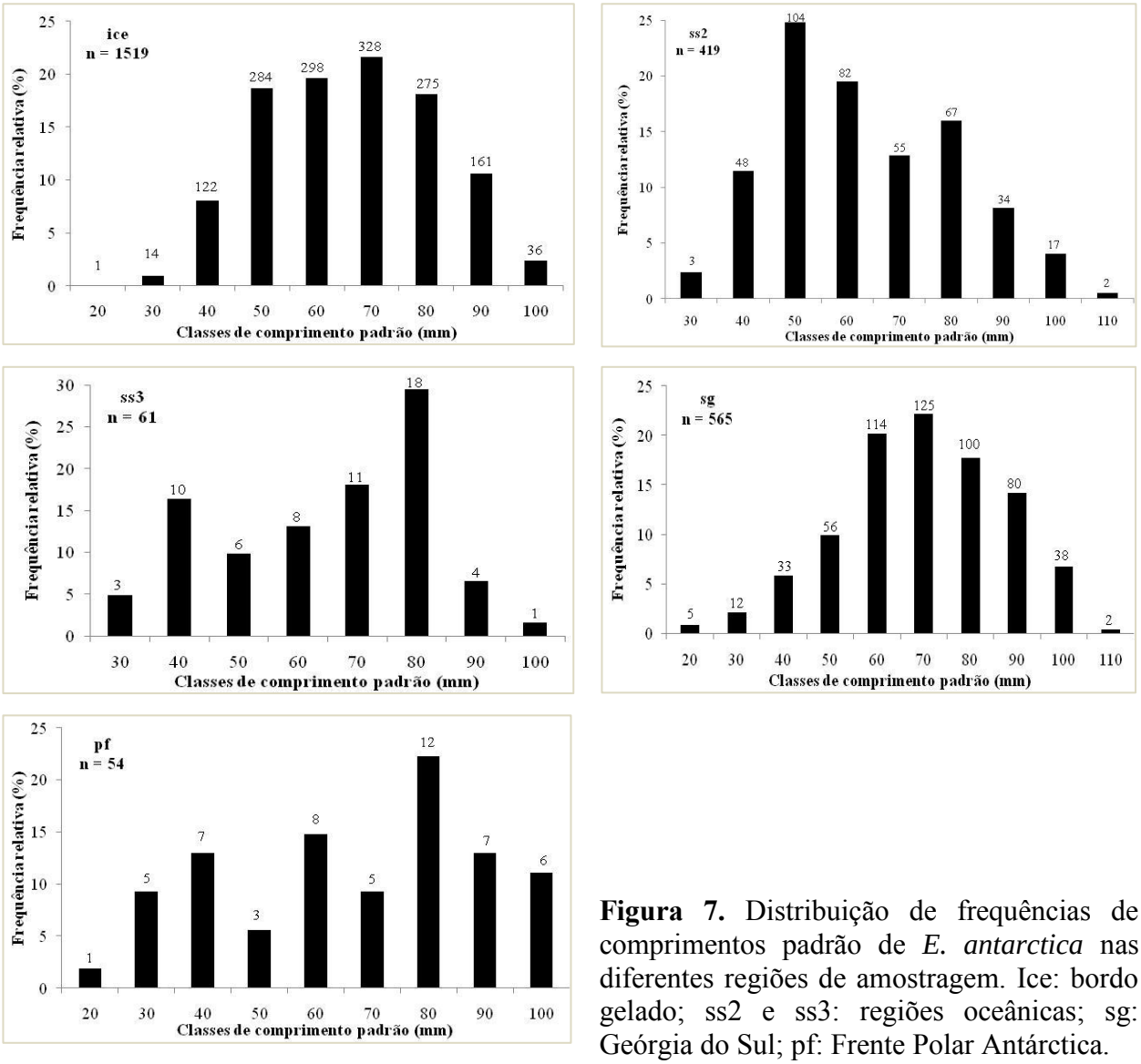


Figura 7. Distribuição de frequências de comprimentos padrão de *E. antarctica* nas diferentes regiões de amostragem. Ice: bordo gelado; ss2 e ss3: regiões oceânicas; sg: Geórgia do Sul; pf: Frente Polar Antárctica.

Através da análise de variância, foram encontradas diferenças significativas entre o comprimento médio dos indivíduos nas regiões amostradas (ANOVA: F = 9,87; *gdl* = 4; p < 0,001) (Tabela II).

Tabela II. Sumário da análise de variância entre o comprimento padrão em função da região de amostragem

Efeito	SS	*gdl*	MS	F	p
Intercepção	3140707	1	3140707	11509,82	< 0,001
Região	10771	4	2693	9,87	< 0,001
Erro	713014	2613	273		
Total	723786	2617			

SS: soma dos quadrados dos resíduos; *gdl*: graus de liberdade; MS: média dos quadrados dos resíduos.

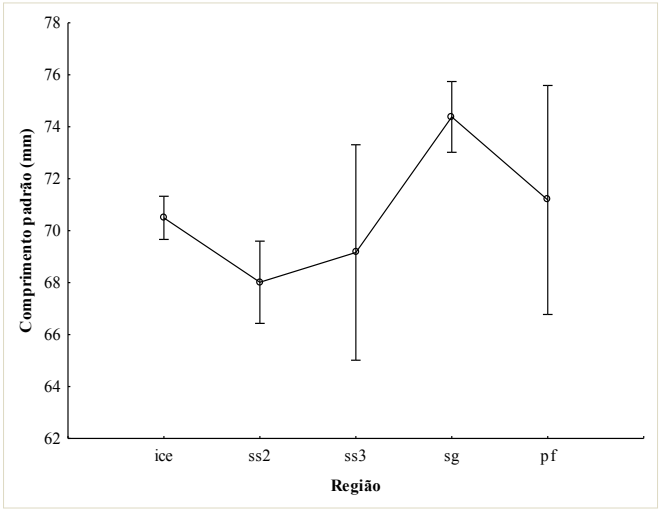


Figura 8. Comprimento padrão médio nas diferentes regiões de amostragem. Ice: bordo gelado; ss2 e ss3: regiões oceânicas; sg: Geórgia do Sul; pf: Frente Polar Antárctica.

De forma a testar a igualdade dos valores médios de comprimento padrão médio nas diferentes regiões (Figura 8), realizou-se o teste de Dunn. Foram encontradas diferenças significativas entre as regiões costeiras (ice e sg) e a região oceânica (ss2) ($p < 0,05$) (Tabela III), sendo que a população das regiões costeiras apresenta, em média, comprimentos padrão superiores.

Tabela III. Resultados do teste de Dunn para os comprimentos padrão de *E. antartica* nas diferentes regiões amostradas

	Q	Qcrit (0,05, K=5)		Erro padrão
ice *vs.* ss2	2,832	2,807	p < 0,05	41,711
ice *vs.* ss3	0,214	2,807	NS	98,707
ice *vs.* sg	1,789	2,807	NS	101,873
ice *vs.* pf	0,811	2,807	NS	104,677
ss2 *vs.* ss3	0,937	2,807	NS	103,588
ss2 *vs.* sg	6,163	2,807	p < 0,05	48,734
ss2 *vs.* pf	1,857	2,807	NS	109,292
ss3 *vs.* sg	1,996	2,807	NS	101,873
ss3 *vs.* pf	0,750	2,807	NS	141,237
sg *vs.* pf	0,904	2,807	NS	107,668

Qcrit: valor critico; K: número de grupos; NS: diferenças não significativas.
H_0: $Q_{região1} = Q_{região2}$; H_1: $Q_{região1} \neq Q_{região2}$; rejeitar H_0 se $p > 0,05$.

O comprimento médio padrão de *E antarctica* variou de acordo com o estrato de profundidade. No estrato mais superfícial, o comprimento médio padrão (± desvio padrão) foi menor que nos restantes estratos (66 (±15) mm), aumentando no estrato 2 (74 (±16) mm), no estrato 3 o comprimento médio padrão foi de 69 (±18) mm e na profundidade 4 encontrou-se o comprimento padrão máximo de 76 (±15) mm (Figura 9).

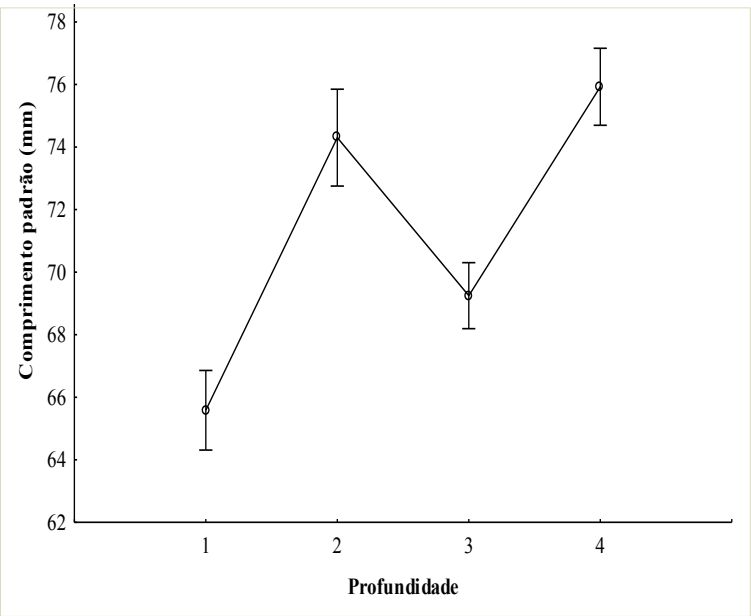


Figura 9. Comprimento padrão médio de *E. antarctica* nas diferentes profundidades amostradas. Estratos de profundidade: (1) 0-200 m; (2) 200-400 m; (3) 400-700 m; (4) 700-1000 m.

A migração vertical diária claramente domina os padrões de distribuição de *E. antarctica*. Existem diferenças significativas de comprimentos padrão entre indivíduos amostrados de dia e de noite (ANOVA: $F = 28{,}91$; $gdl = 1$; $p < 0{,}001$). A amostragem de *E. antarctica* foi menor durante o dia (n = 853), mas um maior número de indivíduos foram capturados durante as amostragens nocturnas (n = 1719) (Tabela IV), principalmente nas profundidades menores (Figura 10).

Tabela IV. Comprimento padrão médio dos indivíduos de *E. antarctica* capturados em diferentes alturas do dia no Mar de Scotia

	Comprimento padrão médio (mm)	Erro padrão	Limite de confiança inferior	Limite de confiança superior	n
Dia	73	0,57	72	75	853
Noite	70	0,39	69	71	1719

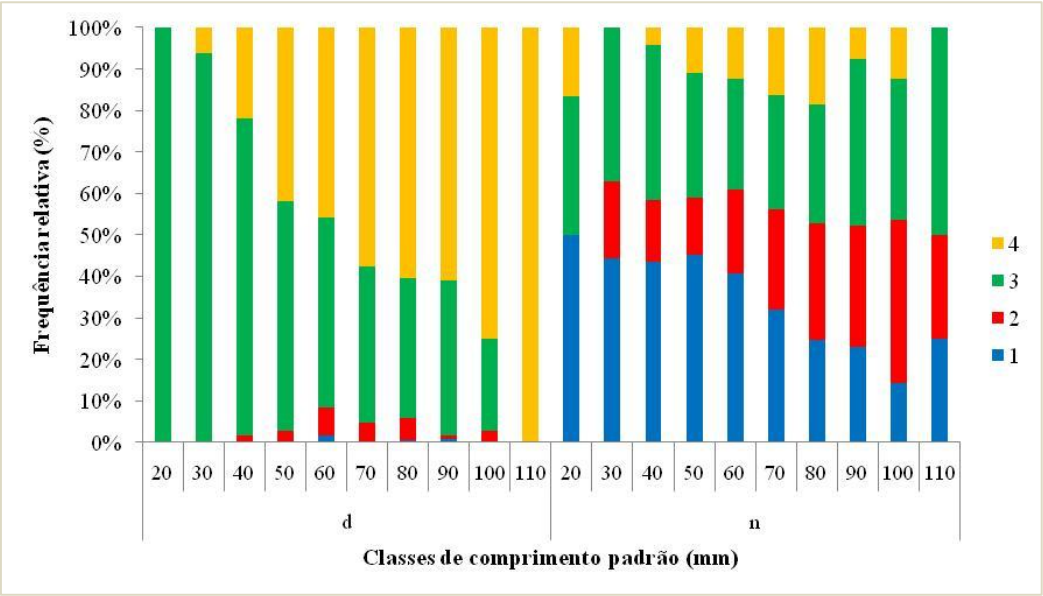


Figura 10. Distribuição dos comprimentos padrão de *E. antarctica* por estrato de profundidade durante o dia (d) e noite (n). Estrato de profundidade profundidade: (1) 0-200 m; (2) 200-400 m; (3) 400-700 m; (4) 700-1000 m.

Diferenças significativas detectadas no comprimento padrão médio de *E. antarctica* entre os quatro estratos de profundidade amostrados (ANOVA: $F = 53{,}03$; *gdl* = 3; $p < 0{,}001$) suportam esta hipótese (Tabela V). No entanto, uma vez que não foram amostrados indivíduos com tamanho inferior a 20 mm, e que apenas 4 indivíduos foram capturados nos primeiros 200 m de profundidade durante o dia, a hipótese, embora suportada pela ANOVA, está associada a uma margem considerável de incerteza. O número de indivíduos amostrados durante o dia difere do número das capturas nocturnas.

Tabela V. Sumário da ANOVA entre o comprimento padrão médio e os estratos de profundidade estudados

Efeito	SS	*gdl*	MS	F	p
Intercecção	12169280	1	12169280	47001,12	< 0,001
Profundidade	41189	3	13730	53,03	< 0,001
Erro	667223	2577	259		

SS: soma dos quadrados dos resíduos; *gdl*: graus de liberdade; MS: média dos quadrados dos resíduos.

A análise de variância factorial revela que as diferenças de comprimentos médios dependem de factores como a região, a profundidade e da altura do dia. Verificou-se que existem claras diferenças significativas no comprimento padrão dos indivíduos

entre as diferentes profundidades em função da região (ANOVA factorial "nested": $F = 6{,}16$; $gdl = 16$; $p < 0{,}001$), bem como entre dia e noite nos quatro estratos de profundidade definidos (ANOVA factorial "nested": $F = 5{,}97$; $gdl = 3$; $p < 0{,}001$).

A frequência de *E. antarctica* nos diferentes estratos de profundidade amostrados, em função do período do dia, ao longo das diversas regiões de estudo mostra que, durante o período nocturno, existe uma maior frequência de indivíduos nas profundidades inferiores, entre 0-200 m, em todas as regiões (Figura 11). Por sua vez, durante o período diurno, é evidente uma maior frequência de *E. antarctica* em profundidades superiores (400-1000 m). A análise desta figura comprova a execução de migrações verticais diárias desta espécie de mictofídeo. É importante salientar que, durante o período diurno, não foram encontrados quaisquer indivíduos entre a superfície e os 700 m de profundidade nas estações de amostragem da região ss2.

4.1.3 Determinação da idade através de otólitos

Para a determinação de idades, a amostra foi constituída por 405 indivíduos *E. antarctica* (ver ponto 3.2). Um otólito de cada par de *sagittae* foi analisado a fim de estimar a idade dos indivíduos e foram elaboradas chaves de idade-comprimento, tanto para os sexos em conjunto, como separadamente para fêmeas e machos (Apêndices II, III e IV). A gama de comprimentos padrão dos 405 indivíduos situou-se entre 30 mm e 112 mm (Tabela VI), com 50% dos indivíduos entre 62 mm e 88 mm SL (Figura 12). O comprimento padrão médio (± desvio padrão) foi de 75 (±16) mm.

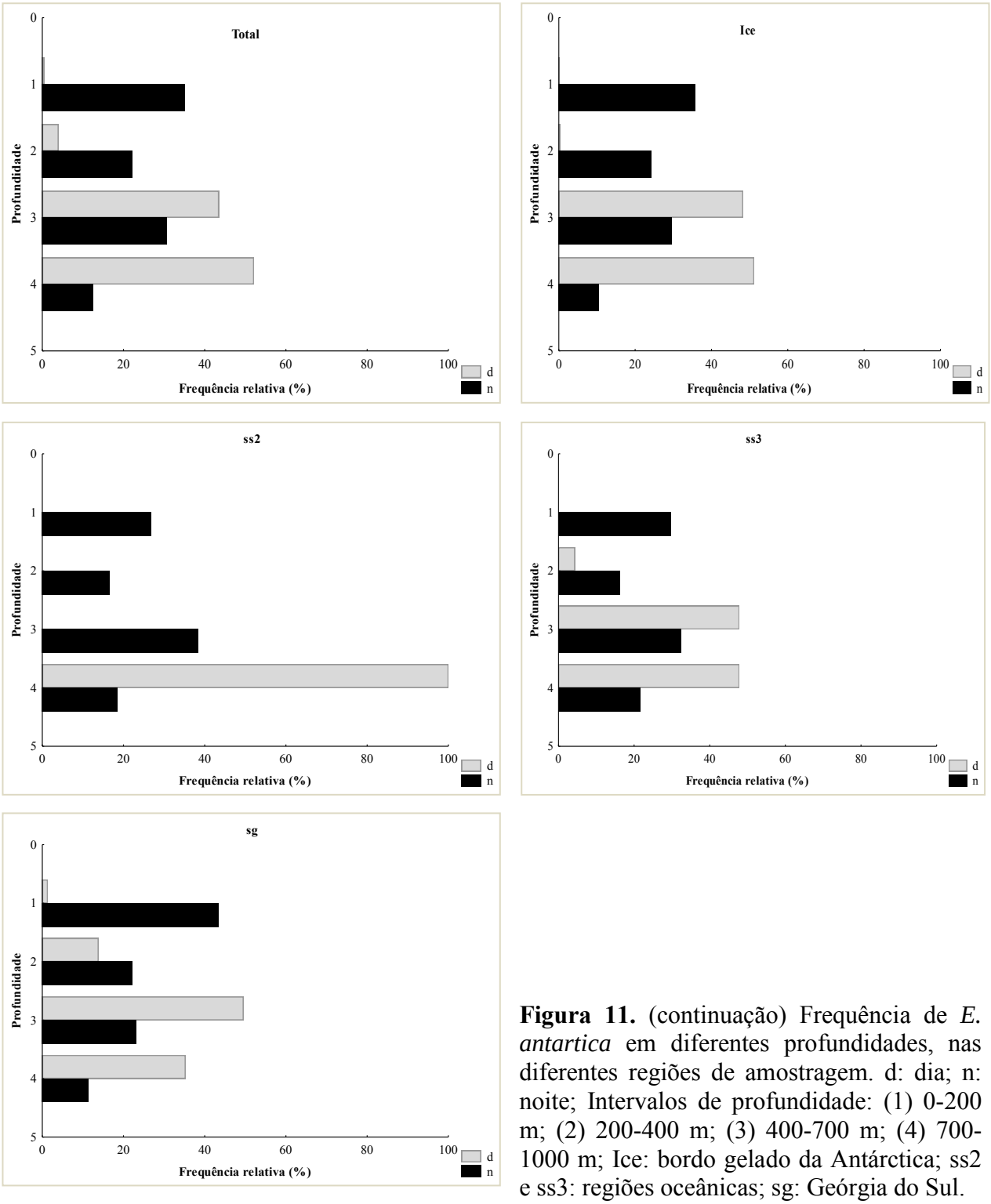


Figura 11. (continuação) Frequência de *E. antartica* em diferentes profundidades, nas diferentes regiões de amostragem. d: dia; n: noite; Intervalos de profundidade: (1) 0-200 m; (2) 200-400 m; (3) 400-700 m; (4) 700-1000 m; Ice: bordo gelado da Antárctica; ss2 e ss3: regiões oceânicas; sg: Geórgia do Sul.

Tabela VI. Características biométricas da amostra utilizada para a determinação da idade de *E. antarctica*

		Sexos conjunto (mm)	Fêmeas (mm)	Machos (mm)
N		405 inds.	287 inds.	94 inds.
Máximo SL		112	112	100
Mínimo SL		30	46	41
Média	**Média SL**	75	78	72
	Limite inferior de confiança (95%)	74	76	69
	Limite superior de confiança (95%)	77	80	74
Mediana		77	80	73
Amplitude		82	66	59
Erro padrão		0,81	0,94	1,16
Desvio padrão	**Desvio padrão**	16	16	11
	Limite inferior de confiança (95%)	15	15	10
	Limite superior de confiança (95%)	17	17	13

SL: Comprimento padrão (mm).

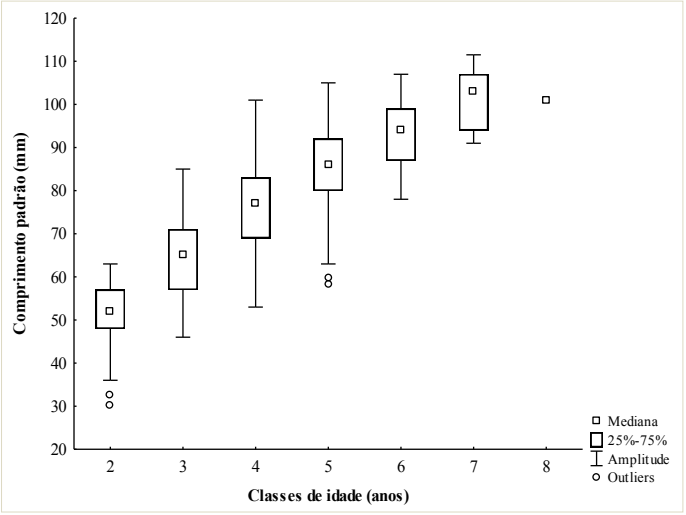


Figura 12. Comprimento padrão mediano em função da idade estimada.

Os otólitos desta espécie exibiram, no geral, um bom contraste entre as zonas opacas e hialinas permitindo o reconhecimento de *annuli* (Figura 13). O número de incrementos variou entre 2 (n = 53) e 8 (n = 1).

A B

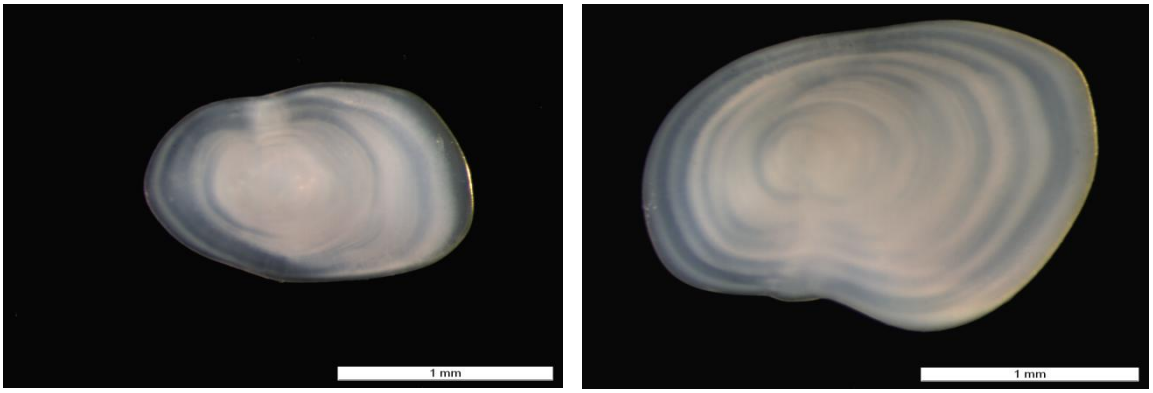


Figura 13. Otólitos *sagitta* de *E. antarctica*. A. indivíduo com 3 anos; B. indivíduo com 5 anos.

Verificou-se que estão representados 7 grupos etários para as fêmeas, correspondentes a idades entre 2 e 8 anos, e apenas 5 grupos de idades para os machos (idades de 2 a 6 anos). A maioria dos incrementos anuais registados foi 4, para os sexos em conjunto (n = 115) e para fêmeas (n = 92), e de 3 para os machos (n = 32) (Figura 14). Todos os otólitos exibem uma região central bem distinta. O bordo dos otólitos foi registado como opaco (n = 136) ou hialino (n = 269). A natureza do bordo do otólito mostrou-se difícil de definir e parece ser independente da época de captura.

Através do teste *t-Student*, constatou-se que os comprimentos médios por grupo etário (ou os comprimentos médios à idade) são significativamente diferentes entre machos e fêmeas, rejeitando-se a hipótese nula de igualdade dos comprimentos médios (Teste *t-Student*: $t = 3{,}69$; $gdl = 379$; $p < 0{,}001$) (Tabela VII).

As diferenças de comprimentos médios entre grupos etários são também significativamente diferentes sendo que, as maiores diferenças de comprimentos ocorrem entre as idades 2 e 3, e 3 e 4 para os machos (15 mm e 8 mm, respectivamente), e entre as idades 3 e 4, e 4 e 5 para as fêmeas (11 mm e 10 mm, respectivamente). Estas diferenças são, provavelmente, uma indicação da maior taxa de crescimento nos primeiros anos de vida e poderá estar associada às fases imediatamente anteriores à reprodução. Contudo, os dados disponíveis não permitem explorar estas hipóteses.

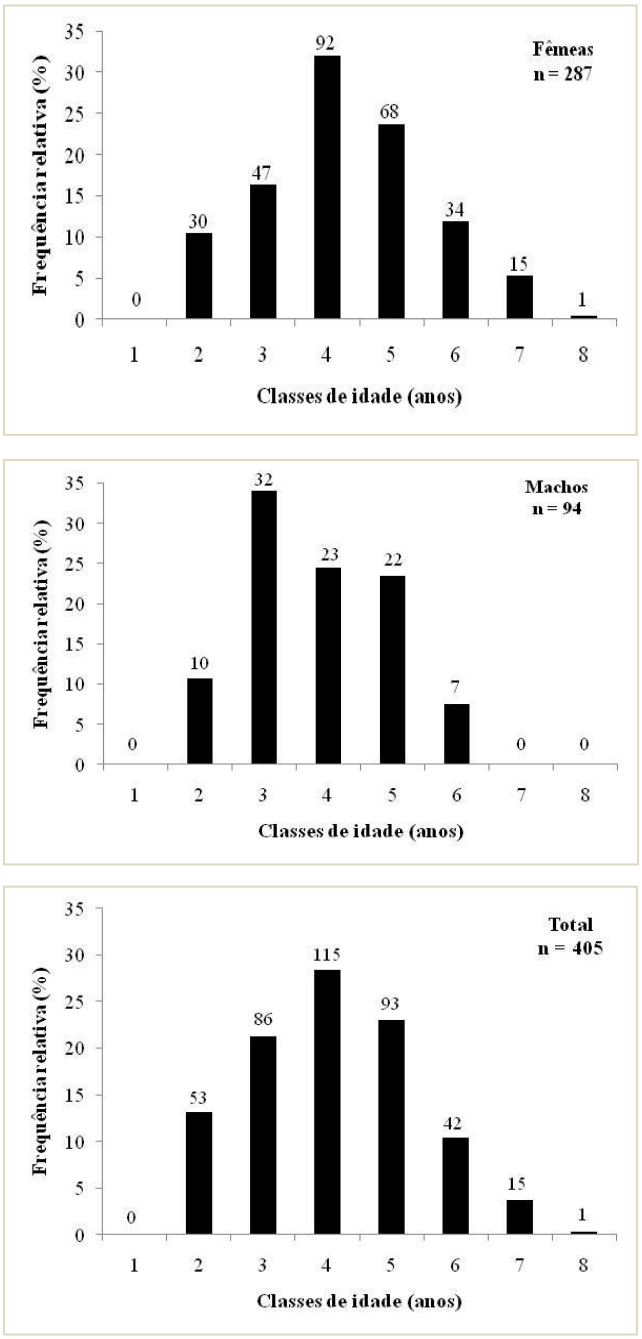


Figura 14. Estrutura etária de fêmeas, de machos e para a amostra total (sexos em conjunto incluíndo indívíduos de sexo indeterminado) de *E. antarctica.*

Tabela VII. Comparação dos comprimentos padrão médios à idade de fêmeas e machos

Idade	Fêmeas			Machos			p
	SLm	SD	n	SLm	SD	n	
2	55	5	30	52	6	10	0,085
3	65	10	47	67	7	32	0,327
4	77	11	92	75	6	23	0,503
5	87	10	68	81	6	22	0,009
6	95	7	34	85	7	7	0,001
7	101	7	15	-	-	-	-
8	101	-	1	-	-	-	-
A	78	16	287	72	11	94	< 0,001
B	75	16	1836	71	11	949	< 0,001

SLm: Comprimento padrão médio (mm); SD: Desvio padrão; A: amostra utilizada na estimação das idades; B: amostra total.

Determinação da época de recrutamento

O registo da abundância de larvas do género *Electrona*, capturadas na baía de Cumberland, mostra um máximo em Julho (Figura 15). Este período coincide com a captura de indivíduos de menor comprimento padrão (Figura 16). Conjuntamente, estas evidências parecem indicar que o maior pico de recrutamento para *E. antarctica* ocorre durante o Inverno austral.

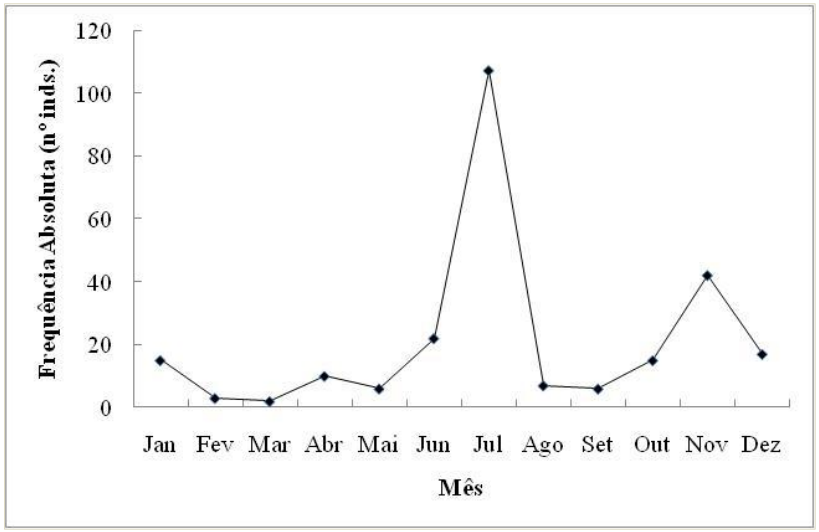


Figura 15. Variação da abundância mensal de larvas de *Electrona* sp. na região da Geórgia do Sul ao longo do ano.

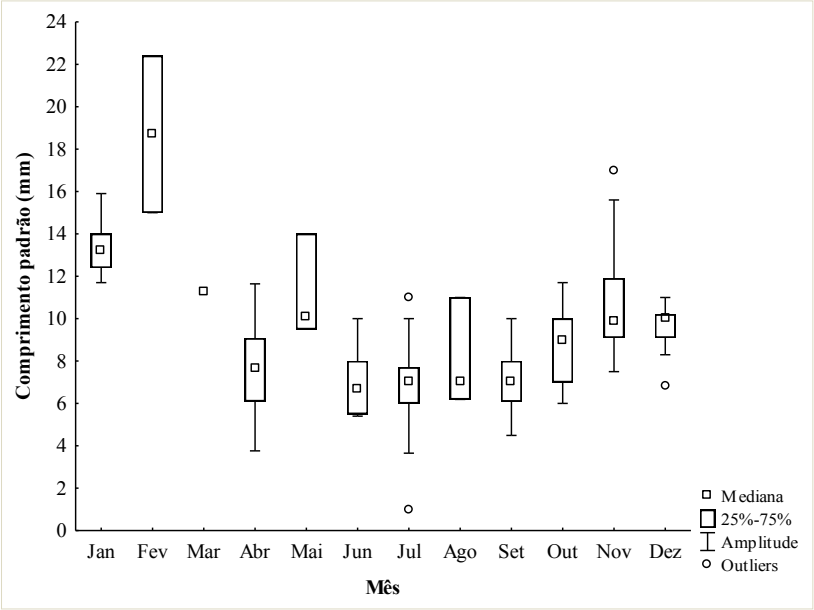


Figura 16. Distribuição mensal dos comprimentos padrão de larvas de *Electrona* sp. na região da Geórgia do Sul.

No entanto, deve-se ter em consideração que estes factos podem reflectir a coexistência das duas espécies mais abundantes na região, *E. antarctica* e *E. carlsbergi* (Collins *et al.*, 2008), e portanto esta é apenas uma indicação da época de desova para usar como critério para a determinação da idade de *E. antarctica.*

4.1.4 Relações morfométricas entre os otólitos e o comprimento dos peixes

A existência de relações do tipo linear entre o comprimento e a altura dos otólitos e o comprimento padrão dos peixes, demonstram que o crescimento dos otólitos acompanha positivamente o aumento do tamanho dos indivíduos (Figura 17). Não foram encontradas diferenças significativas entre as regressões dos otólitos esquerdo e direito (Teste *t-Student*: $t = 0{,}32; -0{,}12; 0{,}53$; $gdl = 324$; $p > 0{,}05$).

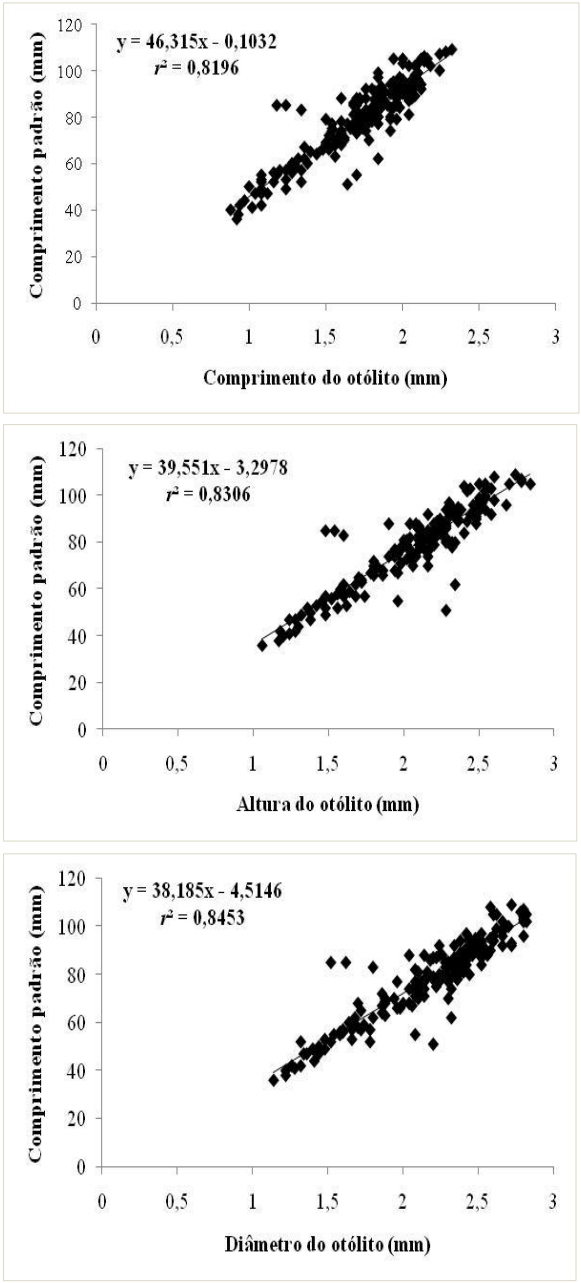


Figura 17. Relação morfométrica entre o comprimento padrão dos peixes e comprimento, altura e diâmetro dos otólitos.

4.1.5 Estimativa do crescimento

4.1.5.1 Método gráfico de Ford-Walford

Através do método de ajuste linear de Ford-Walford, calcularam-se os parâmetros aproximados de crescimento da curva de crescimento de Von Bertalanffy, cujos resultados se apresentam na Tabela VIII, para os sexos em conjuntos, para os machos e para as fêmeas. Estes são usados como parâmetros iniciais no ajuste dos modelos iteractivos.

Tabela VIII. Parâmetros de crescimento estimados através do método de ajuste linear de Ford-Walford para machos, fêmeas e sexos em conjunto

Parâmetro	Sexos conjunto	Machos	Fêmeas
L_∞ (mm)	150	90	168
k (anos^{-1})	0,14	0,48	0,11

4.1.5.2 Modelo de Crescimento de Von Bertalanffy

Na Tabela IX apresentam-se os parâmetros de crescimento estimados através do modelo não-linear de Von Bertalanffy para a espécie de mictofídeos *E. antarctica*. Os valores foram calculados para os sexos em conjunto e para cada um dos sexos em separado. Foram igualmente ajustadas as respectivas curvas de crescimento (Figura 18).

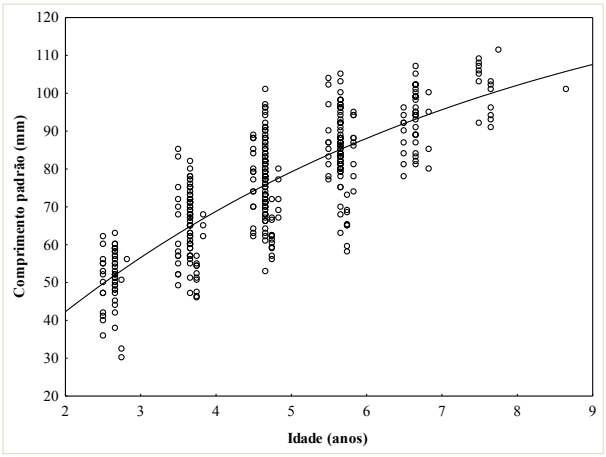
Tabela IX. Parâmetros de crescimento estimados através do método não-linear de Von Bertalanffy para machos, fêmeas e sexos em conjunto de *E. antarctica*

Estimativa		Erro padrão	t	p	Limite de confiança inferior	Limite de confiança superior
Sexos em conjunto						
L_∞ (mm)	139	18,86	7,395	< 0,001	102	177
k (ano^{-1})	0,16	0,05	3,385	0,001	0,07	0,25
t_0 (ano)	-0,27	0,43	-0,621	0,535	-1,11	0,58
Machos						
L_∞ (mm)	88	4,46	19,806	< 0,001	80	97
k (ano^{-1})	0,51	0,14	3,759	< 0,001	0,24	0,78
t_0 (ano)	0,92	0,41	2,253	0,027	0,11	1,74
Fêmeas						
L_∞ (mm)	165	41,84	3,939	< 0,001	83	247
k (ano^{-1})	0,11	0,06	2,067	0,039	0,01	0,22
t_0 (ano)	-0,89	0,71	-1,251	0,212	-2,29	0,51

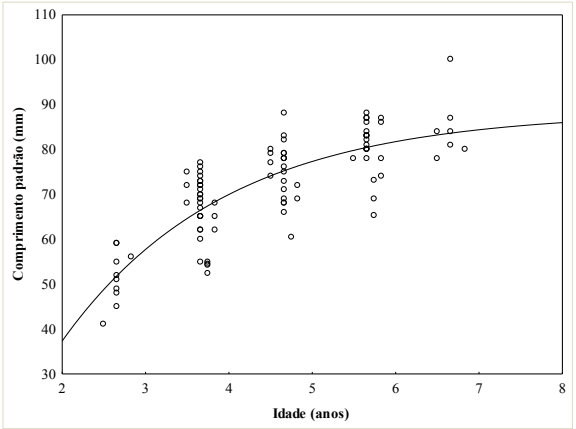
Verifica-se que machos e fêmeas *E. antarctica* possuem taxas de crescimento e comprimentos máximos assimptóticos diferentes, sendo que as apresentam taxa de crescimento superior e também atingem um comprimento assimptótico superior.

Pela aplicação do teste de máxima verosimilhança, verificou-se que não existem diferenças significativas entre os parâmetros estimados para machos e fêmeas ($\Lambda = 6{,}15$; $^{2}_{0{,}05;\ 3} = 7{,}81$; $p > 0{,}05$). No entanto, o comprimento máximo teórico estimado, tanto para a amostra total, como para os sexos individualizados, foi muito superior ao indivíduo de maior comprimento da amostra.

A



B



C

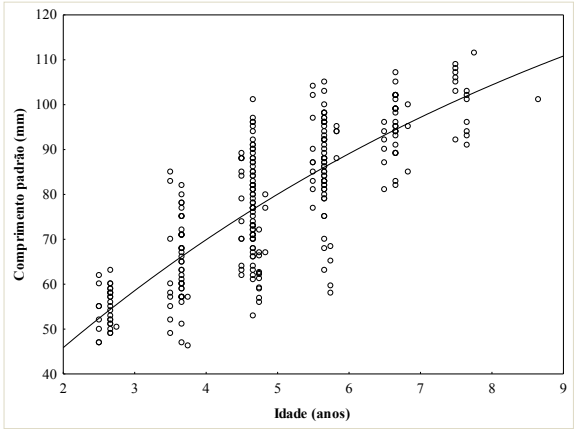


Figura 18. Modelo não-linear de crescimento de Von Bertalanffy para os indivíduos *E. antarctica*. A: sexos em conjunto incluíndo indíviduos de sexo indeterminado; B: machos; e C: fêmeas.

4.1.5.3 Índice de crescimento Φ'

Os valores do índice de crescimento Φ' foram estimados com base nos parâmetros determinados pelo modelo de Von Bertallanfy e estão representados na Tabela X. Verifica-se que o valor de Φ' estimado para as fêmeas é muito semelhante ao valor do total da amostra, que inclui indivíduos de sexo indeterminado.

Tabela X. Valores do índice de crescimento de *E. antarctica,* em função do sexo

Sexo	Φ'
Total	3,5
Machos	3,6
Fêmeas	3,5

4.1.5.4 Relações Peso-Comprimento

Os parâmetros da relação peso-comprimento, descritos na Tabela XI, foram estimados tanto para os sexos em conjunto (n = 1480), como discriminadamente para machos (n = 412) e fêmeas (n = 976).

Tabela XI. Relações de peso-comprimento para *E. antarctica*

	n	Comprimento padrão (mm)			Peso (mm)			*a*	*b*	r^2	Erro padrão
		Média	Min	Max	Média	Min	Max				
Total	1480	71	25	113	5,23	0,16	22,12	$3,70e^{-06}$	3,273	0,96	0,069
Machos	976	74	26	113	5,87	0,25	22,12	$3,05e^{-06}$	3,319	0,96	0,069
Fêmeas	412	72	41	100	4,68	0,70	13,60	$9,67e^{-06}$	3,046	0,94	0,061

Obtiveram-se as seguintes expressões:

total: $W = 3,70e^{-06} \times SL^{3,273}$

machos: $W = 3,05e^{-06} \times SL^{3,319}$

fêmeas: $W = 9,67e^{-06} \times SL^{3,046}$

em que

W: Peso (g);

SL: comprimento padrão (mm);

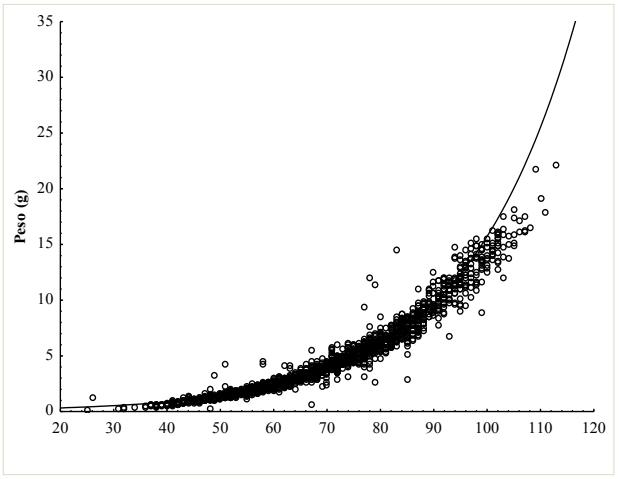
n: nº de indivíduos;

Min: mínimo;

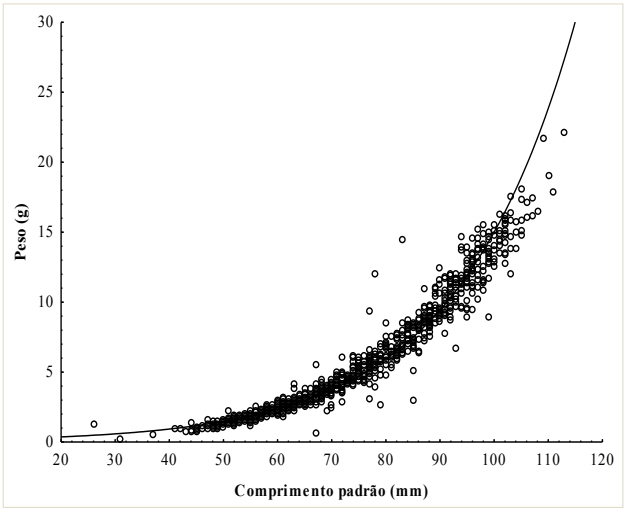
Max: máximo;

r^2: coeficiente de determinação.

A



B



C

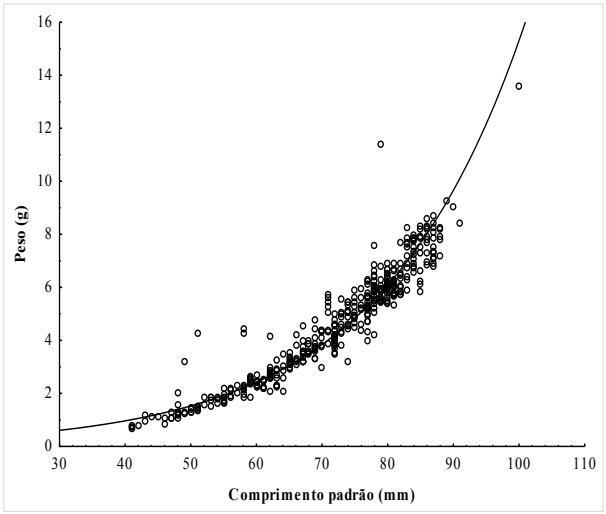


Figura 19. Relações peso-comprimento para *E. antarctica*. A: sexos em conjunto incluíndo indíviduos de sexo indeterminado; B: machos; C: fêmeas.

As regressões (Figura 19) foram comparadas através de um teste *t-Student*, tendo sido encontradas diferenças significativas entre machos e fêmeas (Teste *t-Student*: $t = 2{,}37$; $gdl = 1384$; $p < 0{,}05$), rejeitando-se a hipótese de que machos e fêmeas exibem um crescimento semelhante.

4.2 *Gymnoscopelus braueri*

4.2.1 Distribuição de frequências de comprimentos

Para o estudo da distribuição de frequências de comprimentos de *G. braueri* (Figura 20), usou-se uma amostra de 2001 indivíduos, com comprimentos padrão entre os 34 mm e 176 mm. O comprimento padrão médio (± desvio padrão) foi de 85 (±24) mm. O número de indivíduos de sexo indeterminado foi muito superior ao número de fêmeas e de machos, contribuindo com 64% (n = 1287), contra 21% de fêmeas (n = 418) e 15% de machos (n = 296).

A classe de comprimento padrão mais representada foi a classe de 78 mm, com 63 fêmeas, 91 machos e 191 indivíduos de sexo indeterminado, constituindo 17% do total examinado. Discriminadamente, a classe de comprimento padrão mais representada das fêmeas foi 102 mm de comprimento padrão (n = 114), caracterizando 6% do total da amostra. Por sua vez, a classe de comprimento padrão mais representada nos machos foi a de 78 mm (n = 91), contribuindo para 5% do total. É de realçar a ausência de indivíduos na classe de comprimento padrão de 150 mm.

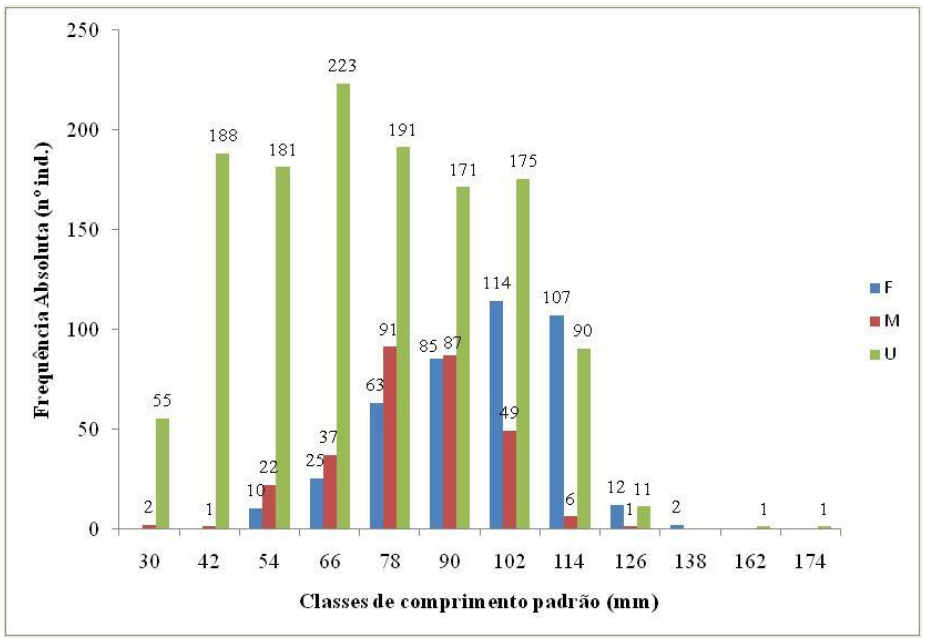


Figura 20. Distribuição de frequência de comprimento padrão da amostra de *G. braueri*, por sexo e classe de comprimento padrão de 12 mm. F - fêmeas; M - machos;. U – sexo indeterminado.

As fêmeas exibiram tanto uma maior gama de comprimento padrão, como de valores máximos, quando comparadas com os machos (Figura 21; Apêndice V). Da mesma forma, as fêmeas exibem um valor de comprimento padrão médio (± desvio padrão) superior aos machos (102 (±16) mm e 88 (±15) mm, respectivamente). Através de um teste *t-Student*, foram confirmadas estas diferenças dos comprimentos padrão médios entre sexos (Teste *t-Student*: t = -11,71; gdl = 712; $p < 0,05$).

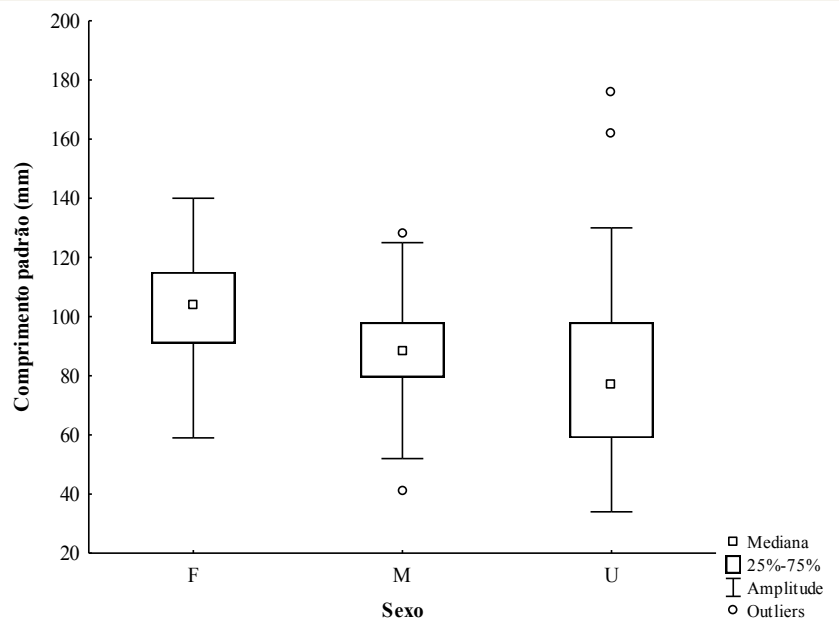


Figura 21. Distribuição de comprimentos padrão (mm) por sexo. F – fêmeas; M - machos; U – indivíduos de sexo indeterminado.

4.2.2 Distribuição espacial dos comprimentos

Através da análise da figura 22, verificou-se que os indivíduos de menor tamanho dominam as áreas oceânicas (ss2, ss3, pf). Distintamente, os indivíduos de comprimento padrão superior dominam as áreas costeiras do bordo gelado da Antárctida (ice) e da Geórgia do Sul (sg), tal como acontece com *E. antarctica*.

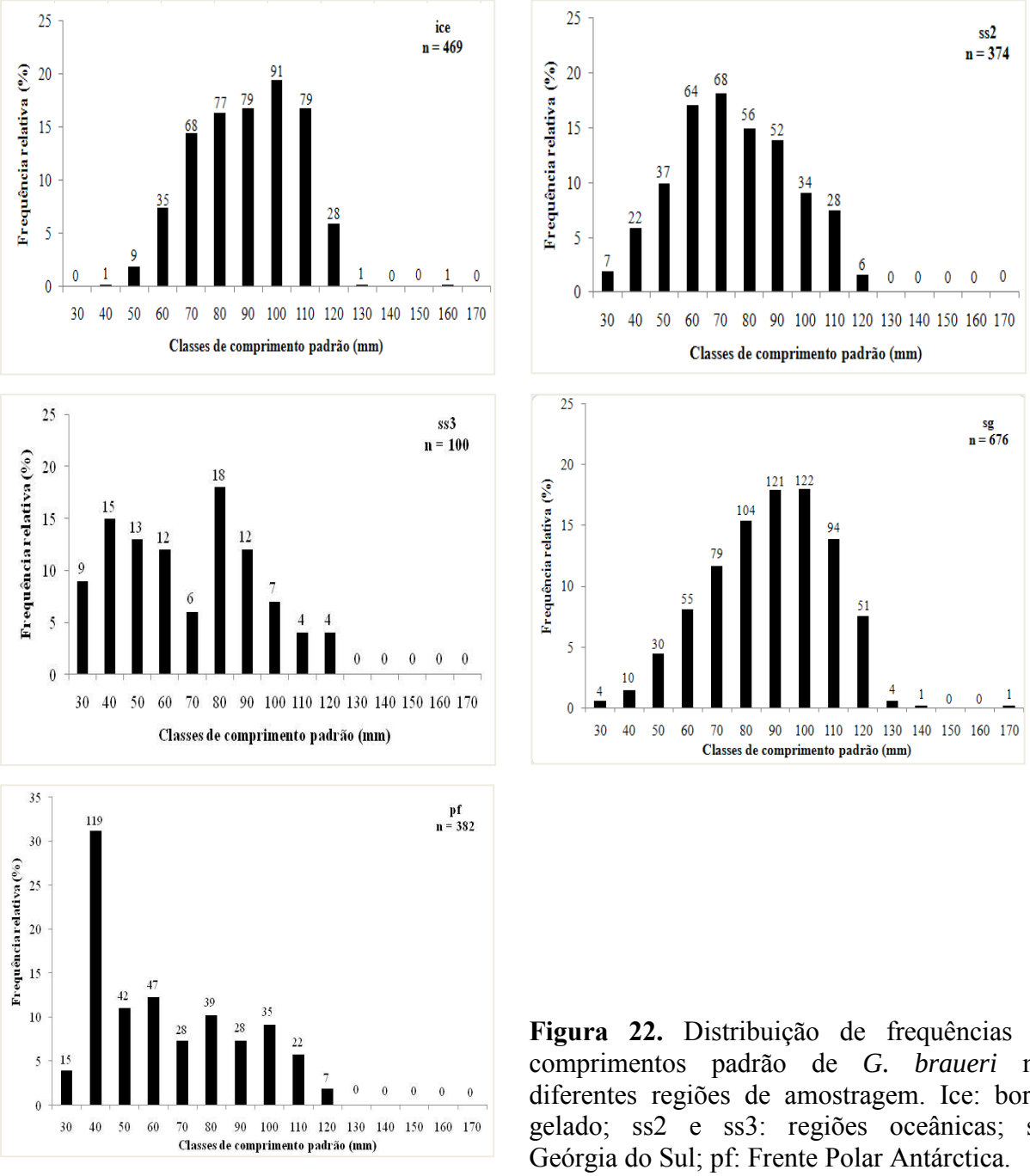


Figura 22. Distribuição de frequências de comprimentos padrão de *G. braueri* nas diferentes regiões de amostragem. Ice: bordo gelado; ss2 e ss3: regiões oceânicas; sg: Geórgia do Sul; pf: Frente Polar Antárctica.

Realizou-se um teste ANOVA (Tabela XII) para determinar se existem diferenças significativas entre o comprimento médio dos indivíduos nas diferentes regiões de amostragem, mostrando que havia diferenças significativas entre regiões. A figura 23 mostra a distribuição de comprimentos padrão por região de amostragem. *G. braueri* exibiu um menor comprimento padrão médio na zona da Frente Polar Antárctica (69 mm). As regiões costeiras (ice e sg) são as zonas onde os peixes desta espécie apresentaram um maior comprimento padrão médio (94 mm e 92 mm, respectivamente).

Tabela XII. Sumário da análise de variância entre o comprimento padrão em função da região de amostragem

	SS	*gdl*	MS	F	p
Intersecção	8769747	1	8769747	19512,47	< 0,001
Região	204701	4	51175	113,86	< 0,001
Erro	897088	1996	449		

SS: soma dos quadrados dos resíduos; *gdl*: graus de liberdade; MS: média dos quadrados dos resíduos.

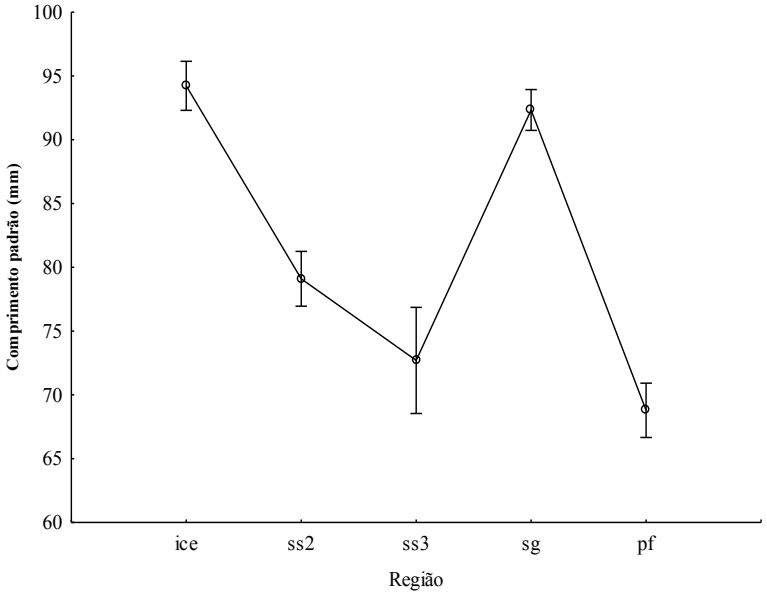


Figura 23. Comprimento padrão médio de *G. braueri* nas diferentes regiões de amostragem. Ice: bordo gelado da Antárctica; ss2 e ss3: regiões oceânicas; sg: Geórgia do Sul; pf: Frente Polar Antárctica.

Para testar a igualdade dos comprimentos padrão médios entre regiões, recorreu-se o teste não-paramétrico *post-hoc* de Dunn. Foram novamente detectadas diferenças significativas entre as regiões costeiras (ice e sg) e as regiões de características oceânicas (ss2, ss3 e pf) ($p < 0,05$) (Tabela XIII).

Tabela XIII. Resultados do teste de Dunn para os comprimentos padrão de *G. braueri* nas diferentes regiões amostradas

	Q	Qcrit (0,05; K=5)		Erro padrão
ice vs. ss2	9,399	2,807	$p < 0,05$	40,055
ice vs. ss3	7,892	2,807	$p < 0,05$	63,641
ice vs. sg	-0,717	2,807	NS	61,905
ice vs. pf	-14,714	2,807	$p < 0,05$	39,821
ss2 vs. ss3	-1,933	2,807	NS	65,046
ss2 vs. sg	8,919	2,807	$p < 0,05$	37,235
ss2 vs. pf	-4,984	2,807	$p < 0,05$	42,030
ss3 vs. sg	7,396	2,807	$p < 0,05$	61,905
ss3 vs. pf	-1,290	2,807	NS	64,902
sg vs. pf	14,644	2,807	$p < 0,05$	36,983

Qcrit: valor critico; K: número de grupos; NS: diferenças não significativas.
H_0: $Q_{região1} = Q_{região2}$; H_1: $Q_{região1} \neq Q_{região2}$; rejeitar H_0 se $p > 0,05$.

A migração vertical diária efectuada por *G. braueri* é evidente. Através de um teste ANOVA foram encontradas diferenças significativas no comprimento padrão dos indivíduos entre as diferentes alturas do dia (ANOVA: $F = 19,21$; $gdl = 1$; $p < 0,001$), com indivíduos maiores de capturados durante a noite. A amostragem de *G. braueri* foi menor durante o dia (n = 277), mas um maior número de indivíduos foram capturados durante a noite (n = 1589) (ver Tabela XIV), especialmente nos estratos de profundidade superiores (Figura 24).

Tabela XIV. Comprimento padrão médio dos indivíduos *G. braueri* capturados em diferentes alturas do dia ao longo do Mar de Scotia

	Comprimento padrão médio (mm)	Erro padrão	Limite de confiança inferior	Limite de confiança superior	n
Dia	90	1,40	88	93	277
Noite	84	0,58	83	85	1589

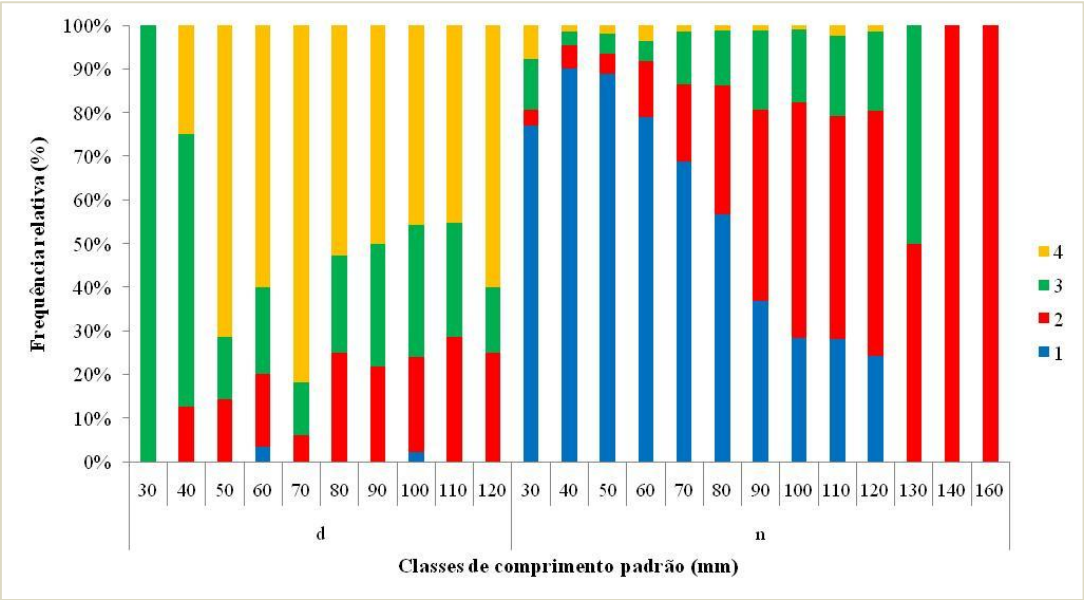


Figura 24. Distribuição dos comprimentos padrão de *G. braueri* por estrato de profundidade durante o dia (d) e durante a noite (n). Estrato de profundidade profundidade: (1) 0-200 m; (2) 200-400 m; (3) 400-700 m; (4) 700-1000 m.

Pela análise da figura 25, verifica-se que os indivíduos de menor comprimento padrão reúnem-se entre a superfície e os 200 m de profundidade, enquanto os indivíduos maiores encontram-se preferencialmente entre os 200 m e os 400 m. Os dados obtidos sugerem que os indivíduos de menor tamanho movem-se para profundidades superiores (200-1000 m) após atingirem um determinado comprimento.

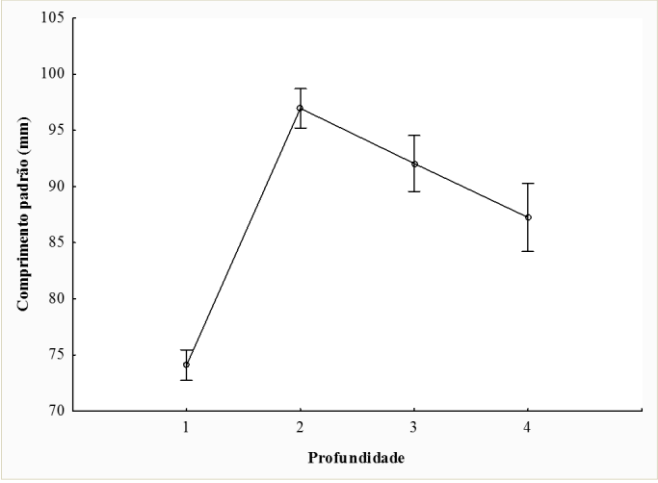


Figura 25. Comprimento padrão médio e intervalos de confiança (95%) de *G. braueri* nas diferentes profundidades amostradas. Estratos de profundidade: (1) 0-200 m; (2) 200-400 m; (3) 400-700 m; (4) 700-1000 m.

Foram encontradas diferenças significativas no comprimento padrão médio de *G. braueri* entre os quatro estratos de profundidade amostrados (ANOVA: F = 153,09; *gdl* = 3; p < 0,001) (Tabela XV).

Tabela XV. Sumário da ANOVA entre o comprimento padrão médio de *G. braueri* e os estratos de profundidade estudados

	SS	***gdl***	**MS**	**F**	**p**
Intercepção	9997206	1	9997206	23144,82	< 0,001
Profundidade	198382	3	66127	153,09	< 0,001
Erro	814641	1886	432		

SS: soma dos quadrados dos resíduos; *gdl*: graus de liberdade; MS: média dos quadrados dos resíduos.

A figura 26 apresenta a frequência de *G. braueri* nos diferentes estratos de profundidade, em função da altura do dia, ao longo das diversas regiões amostradas.

Durante o período nocturno, existe uma maior frequência de indivíduos nas profundidades inferiores, entre 0-200 m, com excepção da amostra obtida junto à plataforma de gelo junto da Antárctica, onde se verifica a agregação de indivíduos entre os 200 m e os 400m de profundidade.

No período diurno, é clara uma maior frequência de *G. braueri* em profundidades superiores (400-1000 m). No entanto, é evidente um reduzido número de amostras em todas as regiões, excepto ao largo da Geórgia do Sul, onde foram encontrados indivíduos em todas as profundidades amostradas.

A análise desta figura reflecte a realização de migrações verticais diárias destes mictofídeos. É importante salientar que, durante o período diurno, a frequência de indivíduos de *G. braueri* capturados entre a superfície e os 700 m de profundidade nas estações de características oceânicas (ss2, ss3 e pf) (ver Figura 4) é muito reduzido (n =10). Contrariamente, nas zonas costeiras (ice e sg) foi capturado um maior número indivíduos (n = 117).

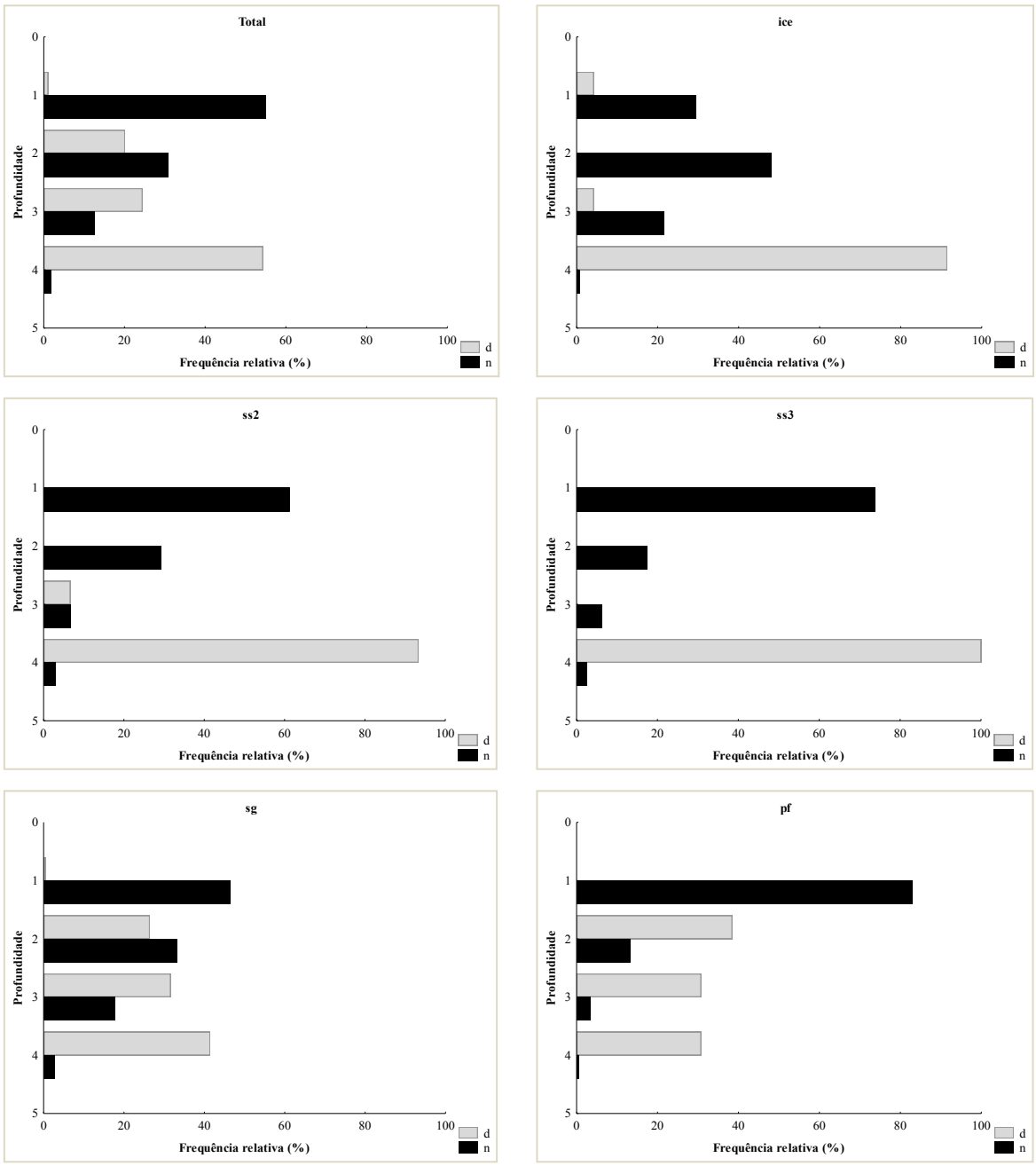


Figura 26. Frequência de *G. braueri* em diferentes profundidades, nas distintas regiões de amostragem. d: dia; n: noite; Intervalos de profundidade: (1) 0-200 m; (2) 200-400 m; (3) 400-700 m; (4) 700-1000 m; Ice: bordo gelado da Antárctica; ss2 e ss3: regiões oceânicas; sg: Geórgia do Sul; pf: Frente Polar Antárctica.

Através de um teste ANOVA verificou-se que existem as diferenças significativas entre o tamanho padrão em função da região, da profundidade e da altura do dia. Os resultados indicam que o comprimento padrão dos indivíduos de *G. braueri* difere significativamente em profundidade quando comparado entre regiões (ANOVA factorial "nested": $F = 15,09$; $gdl = 16$; $p < 0,001$). No entanto, não existem diferenças significativas no comprimento dos indivíduos entre o dia e a noite, nos quatro estratos de profundidade definidos (ANOVA factorial "nested": $F = 1,26$; $gdl = 3$; $p > 0,05$).

4.2.3 Determinação da idade através de otólitos

A amostra foi constituída por 161 indivíduos de *G. braueri* (ver 3.2). Um otólito de cada par de *sagittae* foi analisado para estimar a idade dos indivíduos e foram elaboradas chaves de idade-comprimento, tanto para os sexos em conjunto, como separadamente para fêmeas e machos (Apêndices VI, VII e VIII).

O intervalo de comprimentos padrão dos 161 indivíduos situou-se entre 44 mm e 139 mm (Tabela XVI), com 50% dos indivíduos entre 74 mm e 102 mm (Figura 27). O comprimento padrão médio (± desvio padrão) foi de 89 (±19) mm.

Tabela XVI. Caracterização biométrica da amostra utilizada para a determinação da idade de *G. braueri*

		Sexos conjunto (mm)	Fêmeas (mm)	Machos (mm)
N		161 inds.	58 inds.	43 inds.
Máximo SL		139	139	112
Mínimo SL		44	60	57
Média	**Média SL**	89	100	85
	Conf. 95% Inferior SL	86	96	80
	Conf. 95% Superior SL	92	105	89
Mediana		88	100	86
Amplitude		95	79	55
Erro padrão		1,5	2,2	2,1
Desvio padrão	**Desvio padrão**	19	17	14
	Conf. 95% Inferior	17	14	11
	Conf. 95% Superior	22	21	17

SL: Comprimento padrão (mm).

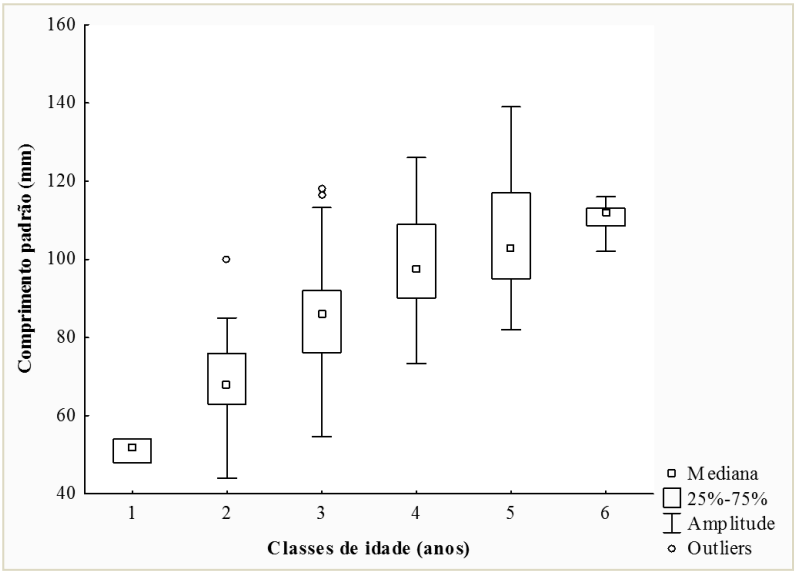


Figura 27. Comprimento padrão dos indivíduos de *G. braueri* em função da idade estimada.

Contrariamente à amostra de *E. antarctica*, os otólitos de *G. braueri* foram difíceis de examinar. A maioria dos otólitos não mostrou um bom contraste entre as zonas opacas e hialinas, e a presença de anéis supranumerários dificultou o reconhecimento de *annuli* (Figura 28). O número de incrementos variou entre 1 (n = 3) e 6 (n = 4).

Figura 28. Otólito *sagitta* de *G. braueri* de um indivíduo com 4 anos de idade.

Estão representados 5 grupos etários nas fêmeas e nos machos, correspondentes a idades entre 2 e 6 anos (Figura 29). A maioria dos incrementos anuais registados foi 3, tanto para os sexos em conjunto (incluindo indivíduos de sexo indeterminado) (n = 53), como para os machos (n = 16). Por sua vez, o número de incrementos melhor representado nas fêmeas foi 5 (n = 20). No geral, os otólitos exibiram uma região central bem distinta.

O bordo dos otólitos foi registado: opaco (n = 41) e hialino (n = 120). A natureza do bordo dos otólitos foi difícil de definir e parece ser independente da época de captura.

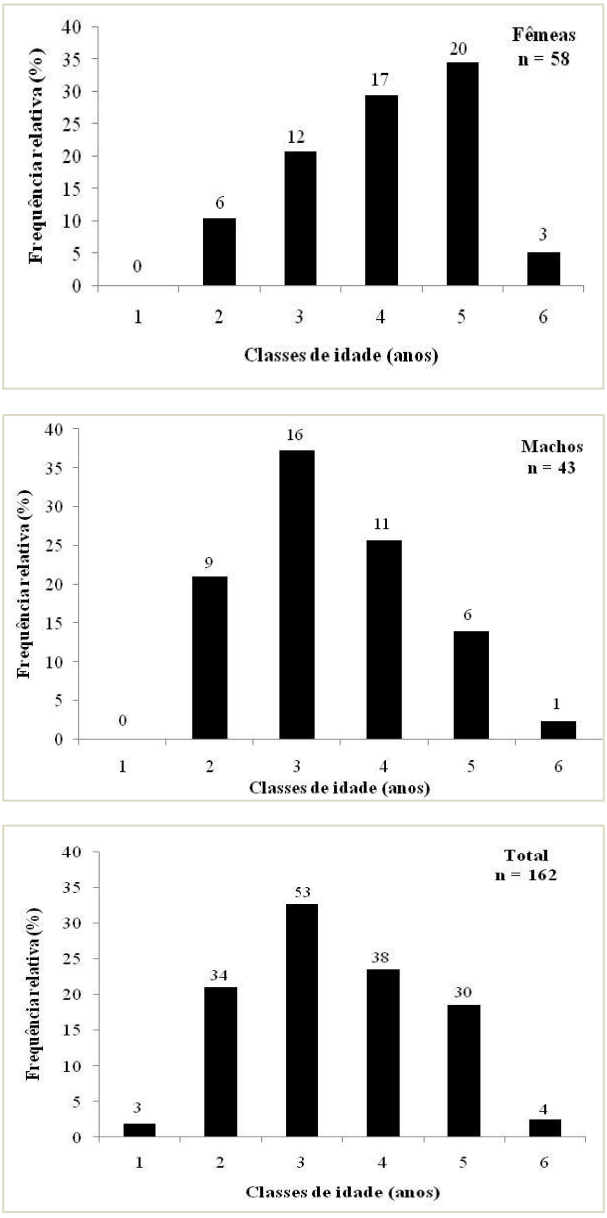


Figura 29. Estrutura etária de fêmeas, de machos e para a amostra total (sexos em conjunto e indivíduos de sexo indeterminado) de *G. braueri*.

Através de um teste *t-Student*, verificaram-se diferenças significativas nos comprimentos padrão médios entre machos e fêmeas, rejeitando-se a hipótese nula de igualdade dos comprimentos médios (Teste *t-Student*: $t = 4{,}95$; $gdl = 99$; $p < 0{,}001$). As maiores diferenças de comprimentos médios ocorrem entre as idades 2 e 3 para os

machos (15 mm), e entre as idades 3 e 4 nas as fêmeas (18 mm) (Tabela XVII). Estas diferenças são, provavelmente, uma indicação da maior taxa de crescimento nos primeiros anos de vida e poderá estar associada às fases imediatamente anteriores à reprodução. Porém, os dados disponíveis não permitem investigar estes factos.

Tabela XVII. Comparação dos comprimentos padrão médios à idade de fêmeas e machos *G. braueri*

Idade	Fêmeas			Machos			p
	SLm	SD	n	SLm	SD	n	
2	79	13	6	68	7	9	0,064
3	86	13	12	83	11	16	0,494
4	104	13	17	93	11	11	0,026
5	110	14	20	92	9	6	0,006
6	110	7	3	112	-	1	0,863
A	100	17	58	85	14	43	< 0,001
B	102	16	418	88	15	296	< 0,001

SLm: Comprimento padrão médio (mm); SD: Desvio padrão; A: amostra utilizada na estimação das idades; B: amostra total.

4.2.4 Relações morfométricas entre os otólitos e o comprimento dos peixes

A existência de relações lineares entre o comprimento, altura e diâmetro dos otólitos e o comprimento padrão dos peixes, demonstram que o crescimento dos otólitos acompanha positivamente o aumento do comprimento dos peixes (Figura 30).

À semelhança de *E. antarctica*, a existência de uma razão linear, com declive positivo, valida a contagem dos incrementos ao longo do eixo dorso-ventral dos otólitos de *G. braueri*. Com o desenvolvimento do otólito, tornou-se difícil distinguir os incrementos periféricos, devido ao facto do crescimento nesta zona ser mais lento, dificultando a determinação da idade e do tipo de bordo. Não foram encontradas diferenças significativas entre as regressões dos otólitos esquerdo e direito (Teste *t-Student*: $t = 0,02; 0,62; 0,35$; $gdl = 298$; $p > 0,05$).

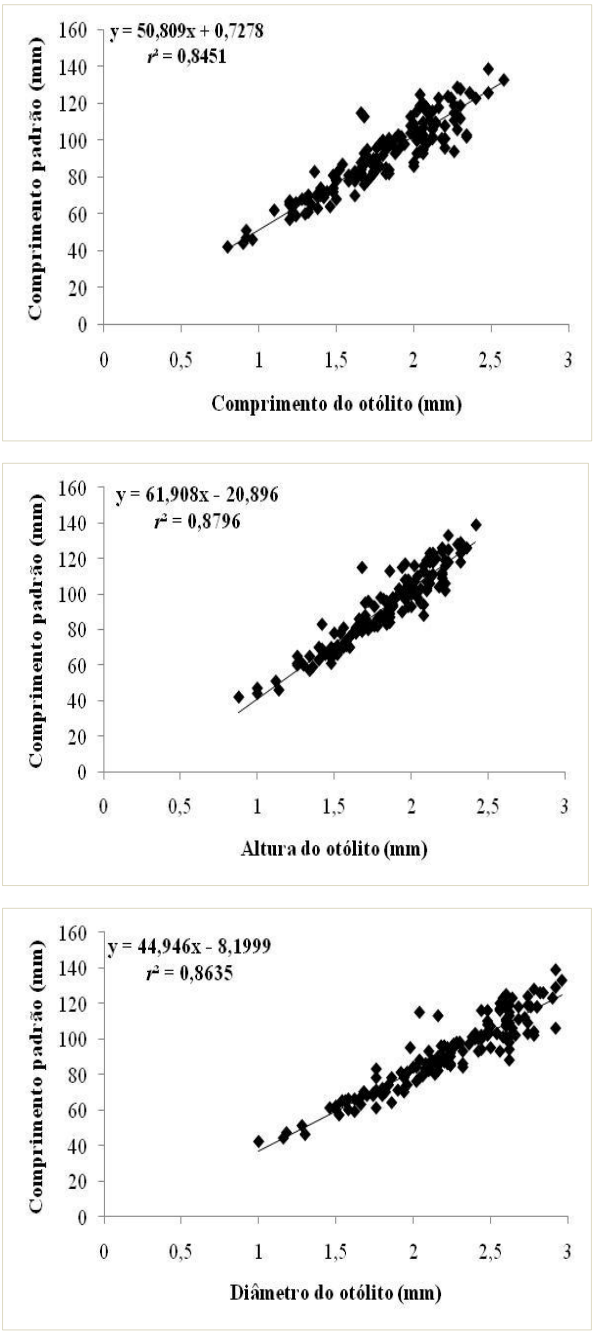


Figura 30. Relações morfométricas entre o comprimento padrão de *G. braueri* e comprimento, altura e diâmetro dos otólitos.

4.2.5 Estimativa do crescimento

4.2.5.1 Método gráfico de Ford-Walford

Através do método de linear de Ford-Walford, calcularam-se os parâmetros aproximados de crescimento da curva de crescimento de Von Bertalanffy, cujos resultados se apresentam na Tabela XVIII, para os sexos em conjuntos (incluindo indivíduos de sexo indeterminado), para os machos e para as fêmeas.

Tabela XVIII. Parâmetros de crescimento estimados através do método de ajuste linear de Ford-Walford para machos, fêmeas e sexos em conjunto

Parâmetro	Sexo conjunto	Machos	Fêmeas
L_∞ (mm)	55	70	80
k (anos^{-1})	2,72	3,06	3,24

4.2.5.2 Modelo de Crescimento de Von Bertalanffy

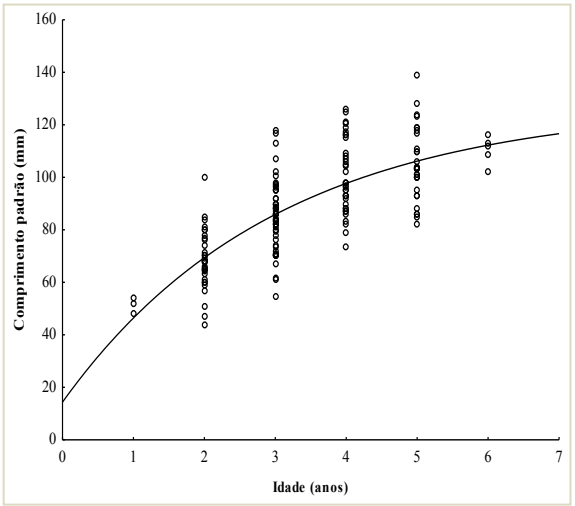
Na Tabela XIX apresentam-se os parâmetros de crescimento estimados através do modelo não-linear de von Bertalanffy para *G. braueri*. Os valores foram calculados para os sexos em conjunto, incluindo indivíduos de sexo indeterminado, e individualmente para machos e fêmeas, e traçadas as respectivas curvas de crescimento (Figura 31).

Tabela XIX. Parâmetros de crescimento estimados através do método não-linear de Von Bertallanfy para machos, fêmeas e sexos em conjunto de *G. braueri*

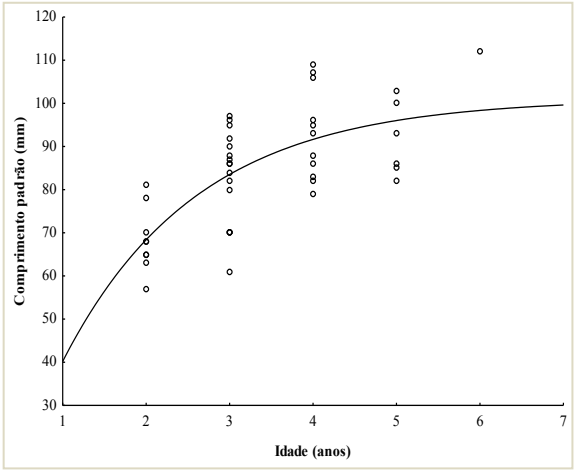
Estimativa		Erro padrão	t	p	Limite de confiança inferior	Limite de confiança superior
Sexos em conjunto						
L_∞ (mm)	128	13,06	9,778	< 0,001	102	154
k (ano^{-1})	0,33	0,11	2,964	0,004	0,11	0,55
t_0 (ano)	-0,36	0,48	-0,749	0,455	-1,31	0,59
Machos						
L_∞ (mm)	101	9,11	11,099	< 0,001	83	120
k (ano^{-1})	0,62	0,36	1,735	0,090	-0,10	1,35
t_0 (ano)	0,19	0,89	0,215	0,830	-1,55	1,92
Fêmeas						
L_∞ (mm)	131	30,41	4,292	< 0,001	70	192
k (ano^{-1})	0,31	0,29	1,069	0,290	-0,27	0,90
t_0 (ano)	-0,79	1,82	-0,436	0,664	-4,44	2,85

A análise dos parâmetros estimados permite verificar que machos e fêmeas de *G. braueri* têm comprimentos máximos assimptóticos e taxas de crescimento diferentes, sendo que as fêmeas crescem mais do que os machos, mas de forma mais lenta. No entanto, o comprimento máximo teórico estimado (L_∞), tanto para a amostra total, como para os sexos individualizados, foi inferior ao indivíduo de maior comprimento da amostra (139 mm). Através do teste de máxima verosimilhança, verificou-se que não existem diferenças significativas entre os parâmetros estimados para machos e fêmeas ($\Lambda = 8{,}42$; $^{2}_{0{,}05;\,3} = 7{,}81$; $p < 0{,}05$).

A



B



C

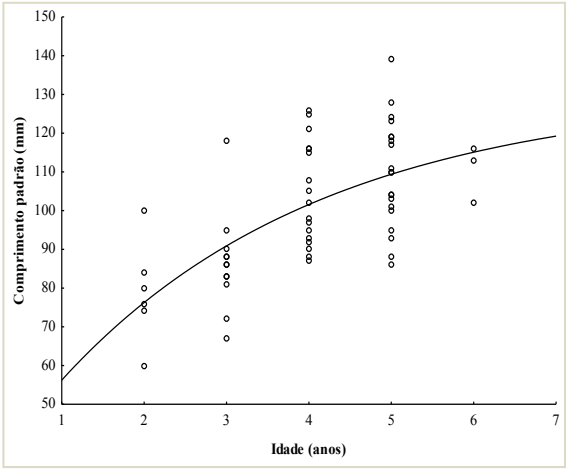


Figura 31. Modelo não-linear de crescimento de Von Bertalanffy para os indivíduos *G. braueri*. A: sexos em conjunto incluíndo indivíduos de sexo indeterminado; B: machos; C: fêmeas.

4.2.5.3 Índice de crescimento Φ'

Os valores do índice de crescimento Φ' foram estimados com base nos parâmetros determinados pelo modelo de Von Bertallanfy e são apresentados na Tabela XX. Verifica-se que o valor de Φ' estimado para as fêmeas é muito semelhante ao valor do total da amostra, que inclui indivíduos de sexo indeterminado.

Tabela XX. Valores do índice de crescimento de *G. braueri*, em função do sexo

Sexo	Φ'
Total	3,7
Machos	3,8
Fêmeas	3,7

4.2.5.4 Relações Peso-Comprimento

Os parâmetros da relação peso-comprimento de *G. braueri* são descritos na Tabela XX. Os parâmetros foram estimados para os sexos em conjunto (n = 888), incluindo indivíduos de sexo indeterminado, machos (n = 205) e fêmeas (n = 294).

Tabela XXI. Relações peso-comprimento de *G. braueri*

	n	Comprimento padrão (mm)			Peso (mm)			*a*	*b*	r^2	Erro padrão
		Média	Min	Max	Média	Min	Max				
Total	888	81	34	162	5,25	0,25	19,49	$4,86e^{-06}$	3,098	0,93	0,115
Machos	205	87	41	128	5,59	1,05	19,25	$1,61e^{-05}$	2,836	0,79	0,107
Fêmeas	294	99	59	140	8,22	1,26	19,49	$1,21e^{-05}$	2,903	0,80	0,112

Obtiveram-se as seguintes expressões:

total: $W = 4,86e^{-06} \times SL^{3,098}$

machos: $W = 1,61e^{-05} \times SL^{2,836}$

fêmeas: $W = 1,21e^{-05} \times SL^{2,903}$

em que

W: Peso (g);

SL: comprimento padrão (mm);

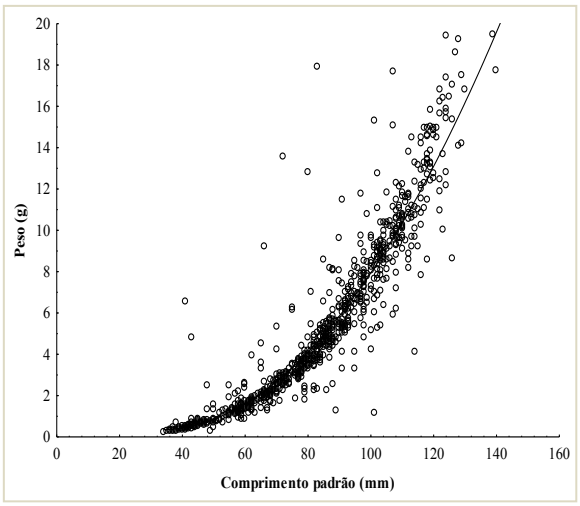
n: nº de indivíduos;

Min: mínimo; Max: máximo;

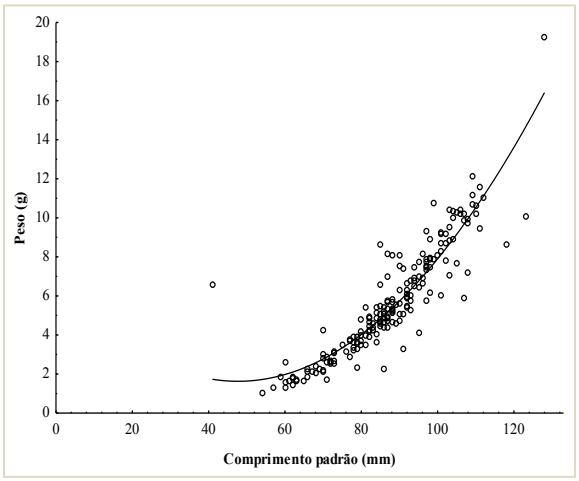
r^2: coeficiente de determinação.

Foi realizado um teste *t-Student* para comparar as regressões de machos e fêmeas (Figura 32 B e C). Foram encontradas diferenças significativas entre os indivíduos dos dois sexos (Teste *t-Student*: $t = 7{,}06$; $gdl = 495$; $p < 0{,}05$), rejeitando-se a hipótese de que machos e fêmeas exibem um crescimento semelhante.

A



B



C

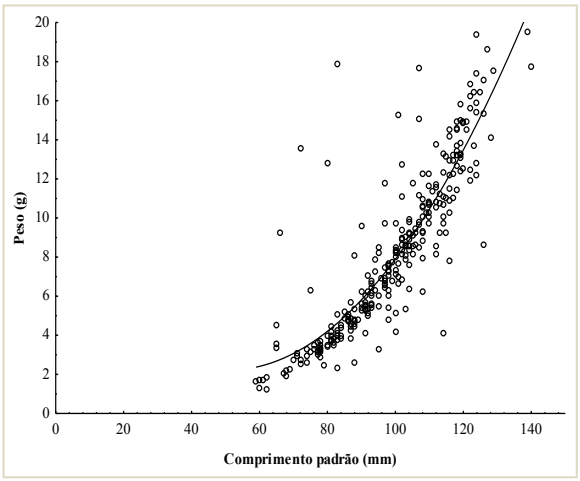


Figura 32. Relações peso-comprimento de *G. braueri*. A: sexos em conjunto incluindo indivíduos de sexo indeterminado; B: machos; C: fêmeas.

5. DISCUSSÃO

As espécies de peixes mictofídeos *Electrona antarctica* e *Gymnoscopelus braueri* exibem um padrão distribuição circumpolar e estão geralmente associadas a particulares massas de água e temperaturas (McGinnis, 1982), especialmente a frentes oceânicas (Pakhomov *et al.*, 1996). A região de amostragem localizou-se no sul da Frente Polar Antárctica, no Mar de Scotia. Esta zona caracteriza-se por ser oceanograficamente dinâmica e exibir uma elevada produção primária (Loots *et al.*, 2007), dominada por uma estrutura trófica centrada no krill (Atkinson *et al*., 2001; Murphy *et al.*, 2007). As condições ambientais são, desta forma, reflectidas no crescimento individual e no padrão de deposição de carbonato de cálcio nos otólitos de *E. antarctica* e *G. braueri* (Greely *et al.*, 1999).

Este estudo, cuja amostragem foi efectuada nos primeiros 1000 m de profundidade, desde a plataforma de gelo do continente Antárctida até à Frente Polar, fornece informação de base para compreender como estes mictofídeos se estruturam ao longo do Mar de Scotia.

Crescimento em comprimento

Comparativamente com outros estudos relativos aos mictofídeos *E. antarctica* e *G. braueri* (Tabela XXII), os valores máximos de comprimentos deste estudo estão de acordo com os valores apresentados, excepto para um exemplar *G. braueri*, que exibiu um raro comprimento padrão, muito superior a estudos prévios (176 mm).

Tabela XXII. Sumário dos comprimentos padrão máximos registados para *E. antarctica* e *G. braueri* em estudos anteriores (continua)

Espécie	Região	Comp. Máximo (mm)	Autores
E. antarctica	Mar de Scotia	104	Rowedder, 1979a
	Mar de Scotia	125	Linkwosky, 1987
	Oceano Antárctico	103	Hulley, 1990
	Ilhas Shetland do Sul	118	Liu e Chen, 1995
	Mar de Lazarev e Região de Geórgia do Sul	85	Pakhomov *et al*., 1996
	Mar de Weddell e Mar de Scotia	103	Greely *et al.* 1999
	Ilhas Shetland do Sul	113	Pusch *et al.*, 2004
	Mar de Scotia	112	Collins *et al*., 2008
	Mar de Scotia	115	Presente estudo

Tabela XXII. (continuação) Sumário dos comprimentos padrão máximos registados para *E. antarctica* e *G. braueri* em estudos anteriores

G. braueri	Oceano Antárctico	132	Hulley, 1990
	Mar de Scotia (Ilhas Shetland do Sul)	128	Pusch *et al.*, 2004
	Mar de Scotia	133	Collins *et al*., 2008
	Mar de Scotia	176	Presente estudo

Distribuição geográfica dos comprimentos de *E. antarctica* e G. *braueri*

Analogamente a outras áreas oceânicas, à excepção do Árctico (Catul *et al.*, 2010), os mictofídeos dominam a zona mesopelágica do Mar de Scotia (Duhamel *et al.*, 2000; Pusch *et al*., 2004; Collins *et al.*, 2008), particularidade comum a outras regiões do Oceano Antárctico (Hulley, 1990; Pakhomov *et al.*, 1994; Duhamel *et al.*, 2000; Pusch *et al*., 2004). O presente estudo confirma a presença dos mictofídeos *E. antarctica* e *G. braueri* ao longo do Mar de Scotia, espécies que exibem uma distribuição circum-Antárctica (Hulley, 1990; presente estudo).

A distribuição dos mictofídeos está relacionada com as características hidrográficas e a região de amostragem (Koubbi *et al*., 1993; Collins *et al.*, 2008). A análise da estrutura populacional nas diferentes regiões de amostragem no Mar de Scotia indica que *E. antarctica* e *G. braueri* estão fortemente conectadas às zonas costeiras, tendo sido capturados um maior número de indivíduos nas regiões junto às plataformas de gelo do continente da Antárctida e da Geórgia do Sul. Todas as classes de comprimentos estão bem representadas nestas regiões. Contrariamente, nas áreas oceânicas situadas a latitudes inferiores (ss3 e pf) estas espécies são menos numerosas. Este padrão de distribuição já foi também registado em outras regiões da Antárctica (Flores *et al.*, 2008; ver abaixo).

A Frente Polar Antárctica é uma importante zona oceanográfica que influência o padrão de distribuição de *E. antarctica* (Koubbi *et al.*, 1993). Esta massa de água está relacionada com a concentração de clorofila *a* e portanto com a abundância de zooplâncton (Loots *et al.*, 2007), item alimentar preferencial de *E. antarctica* (Shreeve *et al.* 2009). No entanto, como sugerido por Loots *et al*. (2007), a zona norte da Frente Polar (região de amostragem: pf) exibe uma menor abundância desta espécie por representar o limite norte de distribuição (Hulley, 1990), em concordância com os resultados obtidos no presente estudo.

As áreas costeiras parecem ser importantes para os indivíduos maiores e os resultados sugerem que ocorre distribuição diferencial nestas regiões em relação às áreas oceânicas. A maior abundância de indivíduos junto às plataformas de gelo poderá estar associado à maior disponibilidade de nutrientes e krill (Clarke, 1988; Ward *et al.*, 2006; Murphy *et al*., 2007; Cisewski *et al.*, 2010), consequência de eventos de afloramento nesta região e mistura de diferentes massas de água na região de confluência do Mar de Weddell com o Mar de Scotia (Ducklow *et al.*, 2007; Atkinson *et al.*, 2008; ver também Benoit-Bird *et al*., 2001). Apesar de ser importante em termos de abundância, esta região parece ter menos relevância durante o crescimento inicial dos indivíduos destas espécies e dai a sua dependência das regiões *offshore* das ilhas de Geórgia do Sul. No entanto, são necessários estudos sobre a reprodução para aprofundar estas questões.

As diferenças na distribuição de comprimentos ao longo do gradiente latitudinal de amostragem sugerem que a batimetria e as características hidrológicas têm uma grande influência na distribuição dos organismos (Koubbi *et al.*, 1993; Flores *et al.*, 2008; Koubbi *et al.*, 2009). Os resultados obtidos para ambas as espécies em estudo indicam a presença de indivíduos de menor comprimento padrão nas áreas oceânicas. Em concordância com este padrão de distribuição, White e Piatkowski (1993) mostraram que os giros ("gyres") formados ao largo da região do Mar de Weddell influenciam a distribuição de *Pleuragramma antarcticum*, impulsionando os indivíduos larvares para fora da plataforma continental. Hoddell *et al.* (2000) encontrou um padrão semelhante e refere que as larvas de nototenióides são transportadas pelos giros para regiões situadas a norte plataforma continental da Antárctica e regressam acompanhando as correntes após o estágio de desenvolvimento pelágico das larvas e pós-larvas.

Por outro lado, os indivíduos de comprimento padrão médio superior foram capturados nas regiões costeiras – plataforma gelada da Antárctica e ao largo das ilhas da Geórgia do Sul. Estes resultados estão de acordo com o observado nas proximidades da Geórgia do Sul por Collins *et al*. (2008), para a qual é sugerido que a profundidade da coluna de água é um dos principais factores que influenciam a distribuição dos organismos mesopelágicos nesta região. A existência de distintos agrupamentos que diferenciaram as áreas costeiras das regiões de características oceânicas foi também detectada no Mar de Lazarev por Flores *et al.* (2008).

O estabelecimento de migrações verticais na coluna de água é um fenómeno comum nos mictofídeos e está amplamente documentado para a Antárctica (McGinnis, 1982; Torres e Somero, 1988; Hulley, 1990; White e Piatkowski, 1993; Piatkowski *et al*., 1994; Robison, 2003; Loots *et al*., 2007; Collins *et al*., 2008) e para outras regiões do planeta (Barham, 1966; Hulley, 1992; Stefanescu *et al.*, 1992; Linkowski, 1996; Ross *et al.*, 2010). Ambas as espécies de mictofídeos (*E. antarctica* e *G. braueri*) foram capturadas na maioria dos lances efectuados, tendo sido a principal excepção nos lances diurnos entre a superfície e os 200 m de profundidade; neste estrato de profundidade, apenas foram capturados 4 indivíduos *E. antarctica* e 2 indivíduos *G. braueri*, provavelmente por efectuarem uma migração ocasional nas camadas superficiais. Além disso, é indicado em trabalhos anteriores que os mictofídeos conseguem evitar redes de pesca durante os períodos diurnos (Collins *et al.*, 2008).

A ausência destas espécies próximo da superfície durante o período do dia em que a luminosidade é intensa foi anteriormente relatada (Torres e Somero, 1988; Robison, 2003; Collins *et al*., 2008) e poderá estar associada comportamentos de defesa contra os predadores. Os mictofídeos, em particular *E. antarctica* e *G. braueri*, constituem a dieta de numerosos predadores, incluindo o pinguim-rei, para o qual *E. antarctica* representa 2,1% da biomassa total da dieta (Charrassin e Bost, 2001; Bost *et al*., 2002), e a otária-do-antárctico (0,8% e 0,4%, respectivamente, em termos de biomassa) (Cherel *et al*., 1997), predadores capacitados para mergulhar até grandes profundidades. No entanto *E. antarctica* também tem ocorrido na dieta de albatrozes que se alimentam junto à superficie (Xavier *et al*., 2003a), corroborando que esta espécie efectua migrações ocasionais até aos estratos superficiais. Auster *et al.* (1992) sugerem também que os mictofídeos tendem em formar agregados e misturar-se com outros grupos pelágicos de forma reduzirem a probabilidade de predação.

A migração nocturna dos mictofídeos para as camadas superficiais da coluna de água está relacionada com a periodicidade da alimentação. O meso e macrozooplâncton (particularmente copépodes e eufausiáceos) constituem os itens preferenciais de alimentação dos mictofídeos (Pakhomov *et al.*, 1996; Shreeve *et al*., 2009). Estudos prévios demonstraram a capacidade do zooplâncton realizar migrações verticais (Duhamel *et al*., 2000; Cisewski *et al.*, 2010). Braham (1966) e Duhamel *et al.* (2000) detectaram alterações no posicionamento da *deep scattering layer* (DSL), predominantemente formada por zooplâncton. No seu estudo, Duhamel *et al.* (2000) realizaram observações acústicas durante o dia e detectaram a DSL entre os 320 m e os

425 m de profundidade e com alguns, mas fragmentados, registos entre os 70 m e os 170 m e entre 170 m e 260 m de profundidade. As observações nocturnas revelaram a presença da DSL apenas nos primeiros 100 m de profundidade. As observações de Duhamel *et al*. (2000) sustentam a ausência de *E. antarctica* e *G. braueri* nas camadas epi- e mesopelágica superior durante o dia, mas uma incursão destas espécies para profundidades menores durante a noite (observada no presente estudo), acompanhando o ciclo migratório do zooplâncton.

Em relação à profundidade na coluna de água, tanto *E. antarctica* como *G. braueri* exibem um padrão muito particular. Para ambas as espécies, os indivíduos de menor comprimento padrão agrupam-se no estrato epipelágico. Inversamente, os indivíduos maiores foram capturados em profundidades superiores.

As diferenças nos padrões de distribuição dos comprimentos de acordo com a profundidade são evidenciadas quando estudadas as variações em função dos períodos diurno e nocturno. As diferenças na distribuição vertical dos mictofídeos são uma consequência da regular migração vertical diária (Duhamel *et al*., 2000; Robison, 2003; presente estudo), também encontrada em espécies de latitudes inferiores, como *Benthosema suborbitale* e *Hygophum* spp. (Gartner, 1991b; Linkowski, 1996). Auster *et al*. (1992) encontrou um padrão semelhante ao verificado neste estudo. No seu trabalho, referem que indivíduos maiores de mictofideos do nordeste Atlântico são encontrados em profundidades superiores, consequência da estratificação na coluna de água de espécies e de classes de comprimento. O mesmo autor sugere que a probabilidade de um indivíduo solitário ser alvo de predação é superior e que, citado Frank & Leggett (1982), a agregação de larvas de peixes reduz em cinco vezes a mortalidade diária. Portanto, se a predação está relacionada com o tamanho dos indivíduos, os mictofídeos têm vantagem em se estratificar na coluna em função do seu comprimento.

Determinação da idade e crescimento

Electrona antarctica

A amostra utilizada neste estudo mostrou que *E. antarctica* pode atingir os 8 anos de idade. No entanto, para a estimação da idade de *E. antarctica*, a amostra não continha indivíduos larvares, nem juvenis (< 20 mm). Desta forma, não foram encontrados indivíduos com idade 0, nem com idade 1. A ausência de indivíduos destas idades foi já anteriormente relatada (p. ex., Moteki *et al.*, 2009; Van de Putte *et al.*,

2010) e poderá estar relacionada com comportamento migratório ontogénico desta espécie e com as características oceanográficas. Por outro lado, a utilização da rede de arrasto RMT25 poderá ter sido inadequada para capturar indivíduos de comprimentos inferiores a 20 mm (ver Rodhouse *et al.*, 1994; Koubbi *et al*., 2009). Também nas classes de comprimento maiores foram amostrados poucos indivíduos. No entanto, esta situação é previsível, uma vez que, à medida que as coortes envelhecem, o número de indivíduos diminui e por isso a probabilidade de captura é menor. A ausência de indivíduos em estádios larvares ou pós-larvares pode conduzir a uma sobrestimação das taxas de crescimento (k) e da idade teórica de comprimento zero (t_0).

As larvas *E. antarctica* são encontradas preferencialmente nas zonas oceânicas entre a Frente Polar e junto à plataforma de gelo (Hoddell *et al.*, 2000; Koubbi *et al.*, 2009; Van de Putte *et al*., 2010) e eclodem durante o Inverno austral nas zonas costeiras da Geórgia do Sul (este estudo). Possuem um padrão de distribuição semelhante ao descrito por Flores *et al.* (2008) para o Mar de Lazarev. Nesse trabalho, foram identificados dois agrupamentos distintos – um oceânico e outro costeiro. Os clusters oceânicos são dominados por larvas *E. antarctica* e *Notolepis coatsi* (Flores *et al*., 2008; ver também Hoddell *et al*., 2000). Por outro lado, os agrupamentos costeiros são constituídos exclusivamente por larvas de nototenióides, especialmente da espécie *Pleurogramma antarcticum*, resultado semelhante a Hoddell *et al.* (2000) e Van de Putte *et al.* (2010). Estes resultados evidenciam a importância, em termos de abundância, do aumento da latitude no crescimento de *E. antarctica*.

A informação sobre os estados larvares (presente estudo) é meramente indicativa do comportamento das larvas *E. antarctica*. Os dados disponíveis sobre os indivíduos larvares capturados na região da Geórgia do Sul são relativos a muitos exemplares que apenas foram identificados ao nível do género. As duas espécies mais abundantes do género *Electrona*, *E. antarctica* e *E. carlsbergi*, coexistem nesta região, mas diferem consideravelmente em tamanho e comportamento. Enquanto *E. antarctica* exibe um comprimento padrão máximo de 115 mm e uma distribuição multimodal, *E. carlsbergi* atinge um comprimento 93 mm e uma distribuição unimodal na região (Collins *et al*., 2008). No entanto, Flores *et al*. (2008) e Moteki *et al.* (2009) afirmam que os indivíduos larvares de *E. antarctica* são os mais abundantes na região Sul adjacente à Frente Polar. Tendo por base estas informações, considerou-se que a época de reprodução de *E. antarctica* coincidirá com Inverno austral.

Nas profundidades estudadas, entre a superfície e os 1000 m, as fêmeas *E. antarctica* dominaram a amostra, sendo duas vezes mais abundantes do que os machos. Estudos preliminares indicam que as fêmeas desta espécie atingem a maturidade com, aproximadamente, 80 mm, quando alcançam os 4 anos de idade (Lourenço, com. pess.). Clarke (1983) sugere que algumas espécies de mictofídeos exibem uma tendência de aumento do rácio sexual a favor das fêmeas quando a maturidade é alcançada, referindo que os machos exibem um comprimento inferior ao das fêmeas. Clarke (1983) refere que o mictofídeo *Notolychnus valdiviae* apresenta um rácio sexual uniforme, mas encontrou mais machos sexualmente maturos com comprimentos menores ao das fêmeas igualmente maturas. Por outro lado, o mesmo autor encontrou uma evidente diferença nos rácios e diferenças significativas nos comprimentos entre machos e fêmeas dos mictofídeos *Triphoturus nigrescens* e *Lampanyctus steinbecki*.

O indivíduo com a maior idade amostrado neste estudo atinge 8 anos de idade e comprimento padrão de 101 mm. O crescimento de *E. antarctica* segue o modelo de crescimento de Von Bertalanffy. Foram encontradas diferenças entre sexos, com fêmeas a atingir comprimentos maiores (L_∞ = 165 mm) do que os machos (L_∞ = 88 mm). No entanto, apesar de não existiram diferenças significativas no comportamento de crescimento entre sexos, os machos exibem uma taxa de crescimento superior, comparativamente com as fêmeas (k_{machos} = 0,51 ano^{-1}; $k_{fêmeas}$ = 0,11 ano^{-1}). Para a amostra total, o comprimento máximo assimptótico (± erro padrão) estimado foi de 139 (± 19) mm, superior ao estimado em estudos anteriores, nomeadamente por Linkowski (1987) que estimou um o comprimento máximo assimptótico de 129 (± 6) mm para fêmeas e 97 (± 4) mm para machos, mostrando valores mais baixos para ambos os sexos em comparação com o presente estudo.

As taxas de crescimento estimadas neste estudo, com base na leitura de otólitos, foram particularmente baixas, comparativamente a outros mictofídeos (Linkowski, 1985, 1987; Gartner, 1991b; ver abaixo). Os otólitos de *E. antarctica* exibiram um bom contraste entre as zonas opacas e hialinas, permitindo uma boa interpretação e determinação das idades. Apesar de não ter sido possível validar a deposição dessas marcas, a informação publicada evidencia que as marcas observadas têm uma natureza sazonal. Estes factos são suportados pelo intenso trabalho conduzido por diversos autores que validaram a deposição sazonal de um grande número de espécies de peixe

características da Antárctica (p. ex., Everson, 1980; Morales-Nin *et al.*, 2000b) e em especial mictofídeos (Gartner, 1991a, b; Moku *et al.*, 2005). Diferenças na temperatura das massas de água, com a temperatura superficial do oceano inferior à da coluna de água poderão provocar um aumento no metabolismo das espécies mesopelágicas e uma consequente intensificação das taxas de crescimento. Estas poderão assim ser as causas para a dificuldade em distinguir o tipo de bordo dos otólitos, bem como provocar uma independência na sua natureza em relação à época do ano (Clarke, 1988; Torres e Somero, 1988).

Os critérios de leitura foram definidos para interpretar a deposição de marcas na superfície lateral do otólito. Apesar da região central se apresentar, de forma geral, bem definida, a sua estrutura complexa revela alguns anéis supranumerários, o que dificultou a identificação do segundo *annulus*. Considerando os critérios estabelecidos, o resultado é contraditório face a alguns estudos prévios que focaram esta espécie de mictofídeo, mas concordante em relação a outros (Rowedder, 1979a; Miya *et al.*, 1986; Linkowski, 1987; Liu e Chen, 1995; Greely *et al*., 1999). Rowedder (1979a) e Miya *et al.* (1986) investigaram a idade da população de *E. antarctica* através da análise da distribuição da frequência de comprimentos, uma vez que consideraram impossível determinar a idade desta espécie através das estruturas calcificadas. Através deste método, ambos os autores estimaram uma idade máxima de três anos. Linkowski (1987) publicou o primeiro trabalho sobre a idade de *E. antarctica* utilizando os otólitos e identificou um padrão sazonal. Usando um microscópio electrónico de varrimento, Linkowski (1987) procurou identificar incrementos de crescimento primário. No entanto, não teve sucesso e assumiu também que a análise de frequência de comprimentos não é útil para esta espécie uma vez que, embora machos e fêmeas apresentem diferentes classes modais, não encontrou grupos claramente distintos, refutando os estudos anteriores. Linkowski (1987) estimou uma idade máxima de 8 anos para machos e 11 anos para fêmeas de *E. antarctica*.

Liu e Chen (1995), através da análise de frequência de comprimentos, encontraram sete grupos etários para *E. antarctica.* Mais recentemente, Greely *et al*. (1999) sugere que *E. antarctica* atinge entre 3 e 4 anos de idade, tendo por base o estudo dos incrementos diários dos otólitos.

Gymnoscopelus braueri

Gymnoscopelus braueri, uma das espécies mais abundantes no Mar de Scotia (Collins *et al*., 2008), exibiu um comprimento padrão entre 34 mm e 176 mm. Neste trabalho, os resultados da leitura dos otólitos indicam que este mictofídeo atinge 6 anos de idade. Nas profundidades estudadas (0-1000 m), os machos parecem ser mais abundantes até aos 3 anos de idade. A partir dessa idade, as fêmeas são mais abundantes, havendo apenas sido encontrado um macho com a idade máxima, com 112 mm.

O crescimento de *G. braueri* segue o modelo de crescimento de Von Bertalanffy, sendo os parâmetros de crescimento estimados com base nos otólitos $L_\infty = 128$ mm e $k = 0{,}33$ anos^{-1} para a amostra total, havendo diferenças significativas no crescimento de machos e fêmeas. As fêmeas atingem comprimentos superiores, mas o crescimento é mais lento do que os machos (fêmeas: $L_\infty = 131$ mm; $k = 0{,}31$ anos^{-1}; machos: $L_\infty = 101$ mm; $k = 0{,}62$ anos^{-1}). No entanto, o valor do comprimento máximo assimptótico (L_∞) estimado para a amostra está muito longe do máximo capturado na região (176 mm). Considerando que esta espécie atinge a maturidade com, aproximadamente, 114 mm (Hulley, 1990), é de esperar um abrandamento no crescimento nos indivíduos com mais de 4 anos de idade.

Os otólitos de *G. braueri* exibem marcas de crescimento sazonal, à semelhança de *G. nicholsi* (Linkowski, 1985). Apesar de não existirem estudos prévios de validação para outras espécies do género *Gymnoscopelus*, existem fortes evidências, como anteriormente referido, que as marcas de crescimento encontradas têm uma periodicidade sazonal (Everson, 1980; Morales-Nin *et al.*, 2000b).

Os critérios de leitura adoptados foram definidos para permitir a interpretação de marcas de crescimento na superfície lateral do otólito. A presença de marcas de crescimento secundário dificultou a leitura dos otólitos. Essas marcas secundárias estão, provavelmente, associados a estágios pós-larvares e eventos metamórficos que ocorrem nas etapas iniciais do ciclo de vida dos mictofídeos.

G. braueri é uma espécie particularmente abundante no Mar de Scotia, especialmente na região da Geórgia do Sul (Collins *et al*., 2008), sendo a população dominada por grupos etários intermédios (idades 3 e 4). As regiões oceânicas, localizadas entre o bordo gelado da Antárctica e as ilhas da Geórgia do Sul, e a Frente

Polar parecem ser importantes zonas de recrutamento, mas também de reprodução, uma vez que também os indivíduos maiores estão bem representados nestas regiões. Este comportamento ontogénico é análogo a *E. antarctica* e de outras espécies que efectuam migrações verticais para a procura de alimento e para a reprodução (Flores *et al.*, 2008; Moteki *et al.*, 2009).

Relações morfométricas

As relações morfométricas entre as dimensões dos otólitos e o comprimento padrão dos indivíduos são extremamente importantes em estudos de dietas alimentares (Cherel *et al.*, 1996, 1997; Xavier *et al*., 2003a) e muitas são inexistentes, ou muito fracas, para numerosas espécies de peixe na Antárctica. Com base nas características morfológicas e morfométricas é possível identificar indivíduos ao nível específico, uma vez que frequentemente o que resta da digestão dos predadores de topo são os otólitos dos peixes ingeridos (Reid, 1996). Uma vez que o comprimento do peixe pode ser estimado através das dimensões dos otólitos, através de equações específicas para cada espécie, a correcta identificação dos peixes através dos seus otólitos é crucial (Williams e McEldowney, 1990; Reid, 1996; Cherel, 2008).

A determinação das equações das relações morfométricas dos otólitos de *E. antarctica* e *G. braueri* capturados no Mar de Scotia permitiu estabelecer relações morfológicas existentes entre o comprimento padrão dos peixes e as dimensões dos otólitos, e fortalecer as equações alométricas das espécies de mictofídeos estudados. Os parâmetros estimados são diferentes dos valores determinados para *E. antarctica* publicados anteriormente (Williams e McEldowney, 1990; Reid, 1996) (Tabela XXIII).

A diferença entre parâmetros estimados nos diferentes estudos aponta para a dependência dos parâmetros estimados da colecção de otólitos disponível. Comparando com as relações publicadas anteriormente, este estudo manifesta uma melhoria significativa, uma vez que uma maior amplitude de comprimentos foi considerada. Além disso, a colecção de otólitos utilizada foi coleccionada directamente dos peixes, evitando por isso problemas de deterioração dos otólitos provocada pelos conteúdos ácidos dos estômagos dos predadores (Assis, com. pess.).

A existência de uma razão linear, positiva e com a > 0, valida a contagem dos incrementos ao longo do eixo dorso-ventral do otólito. No entanto, com o crescimento do otólito, a interpretação dos incrementos mais exteriores tornou-se mais difícil, devido

ao facto do crescimento nesta zona ser mais lento, por vezes dificultando a determinação da idade e do tipo de bordo.

Tabela XXIII. Relações morfométricas estimadas entre as dimensões dos otólitos e o comprimento padrão dos peixes úteis para estudos da ecologia alimentar de predadores

Autores	Espécie	Equação	r^2	n	Amplitude SL (mm)
Williams e McEldowney, 1990	*E. antarctica*	42,70CO+0,28	0,984	86	20-96
		33,31AO+2.02	0.976	85	20-96
Reid, 1996		42,97CO+0,28	0,984	86	20-96
Presente estudo		46,32CO- 0,10	0,820	175	36-109
		39,55AO-3,30	0,831	175	36-109
		38,19DO-4,52	0,845	175	36-109
Williams e McEldowney, 1990	*G. braueri*	43,35CO-0,73	0,904	41	32-128
		50,28AO-4,41	0,943	41	32-128
Reid, 1996		$44,84CO^{0,85}$	0,960	10	
Presente estudo		50,81CO-0,73	0,845	150	42-139
		60,91AO-20,90	0,880	150	42-139
		44,95DO-8,20	0,864	150	42-139

CO: comprimento do otólito; AO: altura do otólito; DO: diâmetro do otólito; r^2: coeficiente de determinação; SL: comprimento padrão.

Crescimento em peso

As relações peso-comprimento estimadas para ambos os mictofídeos abordados neste trabalho, indicam que *E. antarctica* exibe um crescimento alométrico positivo. No entanto, *G. braueri* tem um crescimento tendencialmente isométrico. Os valores estimados para estes mictofídeos diferem ligeiramente do reportado por outros autores e para outras espécies de mictofídeos (Tabela XXIV). Segundo Gonçalves *et al*. (1997), o parâmetro *b* não se altera consideravelmente durante o ano, enquanto o parâmetro *a* pode variar sazonal e/ou diariamente, e entre habitats. No entanto, a aplicação destes parâmetros devem ser restritas aos comprimentos utilizados (Petrakis e Stergiou, 1995; Gonçalves, 1999). É importante considerar que o presente estudo centra-se em espécies de água fria, cujo crescimento é fortemente influenciado por factores ambientais, como temperaturas reduzidas e disponibilidade de alimentos (Clarke, 1988; Clarke e North, 1991).

Tabela XXIV. Relações peso-comprimento estimadas em estudos prévios para algumas espécies de mictofídeos

Espécie		n	Comprimento padrão (mm)	*b*	r^2	Referência
E. antarctica		52	25-85	3,71	0,99	Pakhomov *et al.* (1996)
		105	23-103	3,27	0,96	Greely *et al*. (1999)
		28	75-112	2,84	0,92	Artigues *et al*. (2003)
		199	65-105	1,96	0,66	Kock and Jones (2005)
		1418	25-113	3,27	0,96	Presente estudo
	Fêmeas	412	41-100	3,05	0,94	Presente estudo
	Machos	976	26-113	3,32	0,96	Presente estudo
G. braueri		888	34-162	3,10	0,93	Presente estudo
	Fêmeas	294	59-140	2,90	0,80	Presente estudo
	Machos	205	41-128	2,84	0,79	Presente estudo
G. nicholsi		177	35-159	3,66	0,98	Linkowski (1985)
		107	122-161	2,67	0,76	Linkowski (1985)
		33	69-139	3,30	0,91	Pakhomov *et al.* (1996)
		175	145-191	2,91	0,83	Artigues *et al*. (2003)
		124	125-185	2,47	0,57	Kock and Jones (2005)
		56	34-160	3,25	0,99	(informação não publicada)
K. anderssoni		3	14-52	3,85	0,99	Pakhomov *et al.* (1996)
		671	27-74	3,03	0,96	(informação não publicada)
	Fêmeas	262	31-73	2,93	0,97	(informação não publicada)
	Machos	164	31-74	2,86	0,95	(informação não publicada)
E. carlsbergi		434	65-90	2,87	0,73	(informação não publicada)
	Fêmeas	187	69-90	2,81	0,69	(informação não publicada)
	Machos	175	65-87	2,86	0,68	(informação não publicada)
G. fraseri		101	39-115	3,24	0,88	(informação não publicada)
Lampanyctus achirus		35	87-153	2,49	0,43	(informação não publicada)
Protomyctophum tenisoni		168	28-55	2,94	0,96	(informação não publicada)
	Fêmeas	50	28-53	2,94	0,96	(informação não publicada)
	Machos	80	30-55	2,87	0,95	(informação não publicada)
Protomyctophum bolini		376	25-66	2,86	0,94	(informação não publicada)

Comparação do índice de crescimento com outros mictofídeos

Sendo a família Myctophidae extremamente cosmopolita (Hulley, 1984; Catul *et al.*, 2010), a determinação do Índice de Crescimento (Φ') permite a comparação das estratégias de crescimento das espécies-alvo com outras do Mar de Scotia e de diferentes regiões do globo. O Índice de crescimento calculado para *G. braueri* (Φ' = 3,731) foi semelhante ao estimado para *E. antarctica* (Φ' = 3,493). Em comparação com outros trabalhos (Linkowski, 1985, 1987; Gartner, 1991b; Morales-Nin *et al.*, 2000b; La Mesa e Ashford, 2008), existem evidências de um padrão

latitudinal sendo o índice de crescimento mais baixo em espécies de latitudes superiores (Figura 33). Por outro lado, estas exibem uma maior longevidade. Em geral, as diferenças entre as espécies estão relacionadas com as condições ambientais, destacando-se a temperatura e a disponibilidade de alimento (Gonçalves, 1999; Takagi *et al*., 2006).

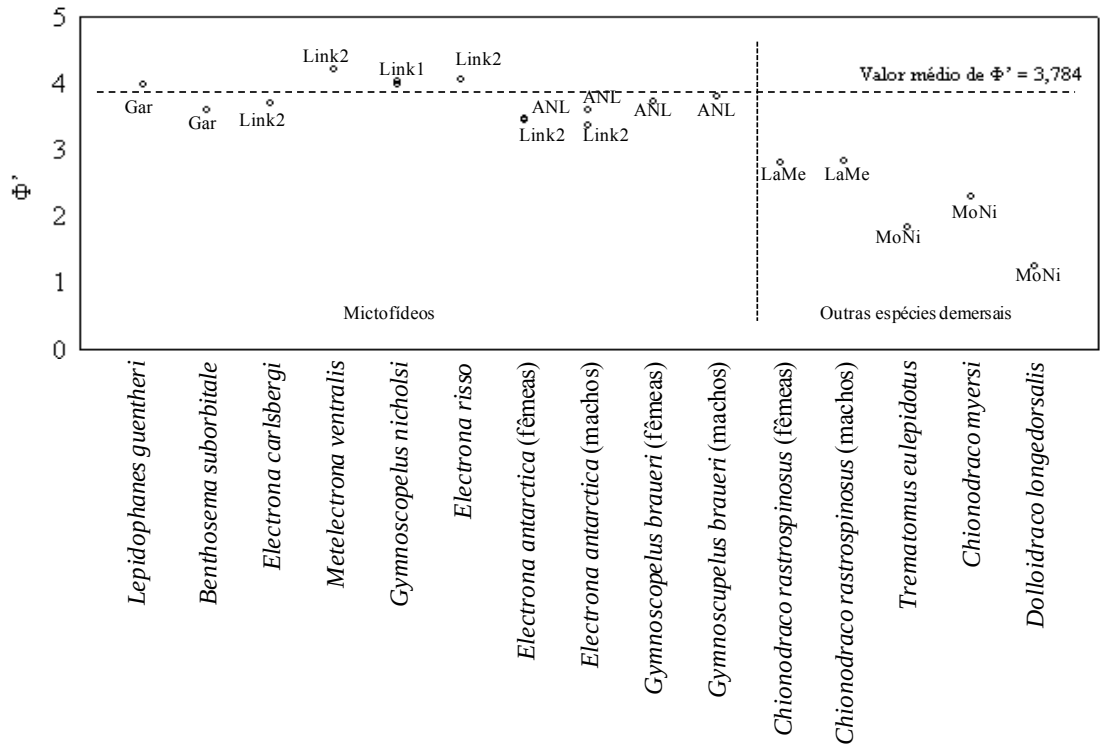


Figura 33. Índices de crescimento estimados em mictofídeos de diversas regiões e outros peixes demersais do Mar de Weddell (Gar: Gartner, 1991; Link1: Linkowski, 1985; Link2: Linkowski, 1987; LaMe: La Mesa e Ashford, 2008; MoNi: Morales-Nin *et al*., 2000b; ANL: Ajuste não-linear (presente estudo)).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Oceano Antárctico como noutras regiões do mundo, os mictofídeos têm uma importância ecológica significativa, uma vez que são a base de alimentação de muitos predadores de topo e servem de ligação entre as camadas produtivas e as camadas superiores de diversas redes tróficas. A sua elevada importância ecológica e a pressão a que estes grupos pelágicos estão sujeitos num contexto de alterações climáticas à escala polar fazem com que estudos de biologia básica como estes sejam bastante importantes na compreensão do ciclo de vida e dos padrões migratórios destas espécies, ainda consideravelmente desconhecidos.

Os resultados alcançados, de uma maneira geral, são a base para a avaliação da dinâmica populacional destas duas importantes espécies no Mar de Scotia. Estes sugerem o estabelecimento de migrações verticais diárias pelos mictofídeos *E. antarctica* e *G. braueri*, tendo-se verificado a tendência para uma estrutura etária e distribuição de comprimentos diferencial por estrato de profundidade e região (costeira *vs.* oceânica). Os parâmetros de crescimento estimados indicam que estas espécies apresentam uma performance de crescimento inferior a outros mictofídeos, mas também uma longevidade maior. Estas características do ciclo de vida são indicativas da adaptação destas espécies a ambientes extremos com uma marcada sazonalidade no que diz respeito tanto a luminosidade como a disponibilidade de alimento.

O recurso a otólitos para a determinação da idade e crescimento de *E. antarctica* e *G. braueri* mostrou-se adequado, visto que o padrão de deposição de marcas anuais foi, no geral, bem visível, sendo no entanto necessário proceder a estudos de validação, nomeadamente no que diz respeito à validação da primeira marca anual, essencial, para avaliar a acuidade na atribuição da idade exacta das espécies.

Por outro lado, a possibilidade de complementar a informação proveniente da avaliação da idade em otólitos, com a informação referente à distribuição de comprimentos por região, por estrato de profundidade e por época do ano permite ter uma visão global de como ambas as espécies se comportam ao longo do seu ciclo de vida.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abecasis, D., Bentes, L., Coelho, R., Correia, C., Lino, P. G., Monteiro, P., Gonçalves, J. M. S., Ribeiro, J., Erzini, K. (2008). Ageing seabreams: A comparative study between scales and otoliths. *Fisheries Research* 89, 37–48.

Arata, J., Robertson, G., Valencia, J., Xavier, J. C., Moreno, C. A. (2004). Diet of grey-headed albatrosses at the Diego Ramirez Islands, Chile: ecological implications. *Antarctic Sciences* 16 (3), 263–275.

Artigues, B., Morales-Nin, B., Balquerías, E. (2003) Fish length-weight relationships in the Weddell Sea and Bransfield Strait. *Polar Biology* 26, 463-467.

Ashford, J. R., Wischniowski, S., Jones, C., Bobko, S., Everson, I. (2001). A comparation between otoliths and scales for use in estimating the age of *Dissostichus eleginoides* from South Georgia. *CCAMLR Science* 8, 75–92.

Assis, C. A. (2000). Estudo morfológico dos otólitos *sagitta*, *asteriscus* e *lapillus* de teleósteos (Actinoperygii, Teleostei) de Portugal Continental. Sua aplicação em estudos de filogenia, sistemática e ecologia. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa, 1004 pp.

Assis, C.A. (2004). *Guia para a identificação de algumas famílias de peixes ósseos de Portugal continental, através da morfologia dos seus otólitos sagitta*. Câmara Municipal de Cascais, Cascais, 190 pp.

Atkinson, A., Whitehouse, M. J., Priddle, J., Cripps, G. C., Ward, P., Brandon, M. A. (2001). South Georgia, Antarctica: a productive, cold water, pelagic ecosystem. *Marine Ecology Progress Series* 216, 279–308.

Atkinson, A., Siegel, V., Pakhomov, E., Rothery, P. (2004). Long-term decline in krill stock and increase in salps within the Southern Ocean. *Nature* 432, 100–103.

Atkinson, A., Siegel, V., Pakhomov, E. A., Rothery P., Loeb, V., Ross, R. M., Quetin, L. B., Schmidt, K., Fretwell, P., Murphy, E. J., Tarling, G. A., Fleming, A. H. (2008). Oceanic circumpolar habitats of Antarctic krill. *Marine Ecology Progress Series* 362, 1-23.

Auster, P. J., Griswold, C. A., Youngbluth, M. J., Bailey, T. G. (1992). Aggregations of myctophid fishes with other pelagic fauna. *Environmental Biology of Fishes* 35, 133-139.

Barham, E. G. (1966). Deep scattering layer migration and composition: Observations from a diving saucer. *Science* 151, 1399-1403.

Barrera-Oro, E. (2002). The Role of fish in the Antarctic marine food web: differences between inshore and offshore waters in the southern Scotia Arc and west Antarctic Peninsula. *Antarctic Science* 14 (4), 293–309.

Beamish, R. J., McFarlane, G. A. (1983). The forgotten requirement for age validation in fisheries biology. *Transactions of the American Fisheries Society* 112 (6), 735–743.

Begg, G. A., Waldman, J. R. (1999). An holistic approach to fish stock identification. *Fisheries Research* 43, 35-44.

Begg, G. A., Friedland, K. D., Pearce, J. B. (1999a). Stock identification and its role in stock assessment and fisheries management: an overview. *Fisheries Research* 43, 1-8.

Begg, G. A., Hare, J. A., Sheehan, D. D. (1999b). The role of life history parameters as indicators of stock structure. *Fisheries Research* 43, 141-163.

Begg, G., Campana, S. E., Fowler, A., Suthers, I. M. (2005). Otolith research and application: current directions in innovation and implementation. *Marine and Freshwater Research* 56, 477–483.

Benoit-Bird, K. J., Au, W. W. L., Brainard, R. E., Lammers, M. O. (2001). Diel Horizontal migration of the Hawaiian mesopelagic boundary community observed acoustically. *Marine Ecology Progress Series* 217, 1–14.

Booke, H. E. (1999). The stock concept revisited: perspectives on its history in fisheries. *Fisheries Research* 43, 9-11.

Bost, C. A., Zorn, T., Le Maho, Y., Duhamel, G. (2002). Feeding of diving predators and diel vertical migration of prey: King penguins' diet versus trawl sampling at Kerguelen Islands. *Marine Ecology Progress Series* 227, 51-61.

Brandon, M. A., Naganobu, M., Demer, D. A., Chernyshkov, P., Trathan, P. N., Thorpe, S. E., Kameda, T., Berezhinskiy, O. A., Hawker, E. J., Grant, S. (2004). Physical oceanography in the Scotia Sea during the CCAMLR 2000 survey, austral summer 2000. *Deep-Sea Research II* 51, 1301-1321.

Cadima, E.L. (2003). Fish stock assessment manual. *FAO Fisheries Technical Paper*. No. 393. FAO, Rome. 161 pp.

Campana, S. E. (2001). Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology* 59, 197–242.

Catul, V., Gauns, M., Karuppasamy, P. K. (2010). A review on mesopelagic fishes belonging to family Myctophidae. *Reviews in Fish Biology and Fisheries.* DOI: 10.1007/s11160-010-9176-4.

Charrassin, J., Bost, C. (2001). Utilisation of the oceanic habitat by king penguins over the annual cycle. *Marine Ecology Progress Series* 221, 285-297.

Cherel, Y., Ridoux, V., Rodhouse, P. G. (1996). Fish and squid in the diet of king penguin chicks, *Aptenodytes patagonicus* during winter at sub-antarctic Crozet Islands. *Marine Biology* 126, 559–570.

Cherel, Y., Guinet, C., Tremblay, Y. (1997). Fish prey of Antarctic fur seals *Arctocephalus gazella* at Ile de Croy, Kerguelen. *Polar Biology* 17, 87–90.

Cherel, Y., Pütz, K., Hobson, K. A. (2002). Summer diet of king penguins (*Aptenodytes patagonicus*) at the Falkland Islands, southern Atlantic Ocean. *Polar Biology* 25, 898–906.

Cherel, Y. (2008). Isotopic niches of emperor and Adélie penguins in Adélie Land, Antarctica. *Marine Biology* 154, 813-821.

Cherel, Y., Fontaine, C., Richard, P., Labat, J. (2010). Isotopic niches and trophic levels of myctophid fishes and their predators in the Southern Ocean. *Limnology and Oceanography Abstracts* 55 (1), 324–332.

Chícharo, M. A., Chícharo, L. (2008). RNA:DNA ratio and other nucleic acid derived indices in marine ecology. *International Journal of Molecular Sciences* 9, 1453-1471.

Cisewski, B., Strass, V. H., Rhein, M., Krägefsky, S. (2010). Seasonal variation of diel vertical migration of zooplankton from ADCP backscatter time series data in the Lazarev Sea, Antarctica. *Deep-Sea Research I* 57, 78-94.

Clarke, T. A. (1983). Sex ratios and sexual differences in size among mesopelagic fishes from the Central Pacific Ocean. *Marine Biology* 73, 203-209.

Clarke, A. (1988). Seasonality in the Antarctic marine environment. *Comparative Biochemistry and Physiology* 90 (3), 461-473.

Clarke, A., North, A. W. (1991). Is the growth of polar fish limited by temperature? *In* Di Pisco, G., Maresca, B., Tota, B. (Eds) *Biology of Antarctic fish*. Springer-Verlag, Berlin, 54-69.

Clarke, A., Murphy, E. J., Meredith, M. P., King, J. C., Peck, L. S., Barnes, D. K. A., Smith, R. C. (2007). Climate change and the marine ecosystem of the western Antarctic Peninsula. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 362, 149-166.

Collins, M. A., Xavier, J. C., Johnston, N. M., North, A. W., Enderlein, P., Tarling, G. A., Waluda, C. M., Hawker, E. J., Cunningham, N. J. (2008). Patterns in the distribution of myctophid fish in the northern Scotia Sea ecosystem. *Polar Biology* 31, 837-851.

Cowen, R. K., Sponaugle, S. (2009). Larval dispersal and marine population connectivity. *Annual Review of Marine Science* 1, 443-466.

Croxall, J. P., Hall, A. J., Hill, H. J., North, A. W., Rodhouse, P. G. (1995). The food and feeding ecology of the white chinned petrel *Procellaria aequinoctialis* at South Georgia. *Journal of Zoology* 237, 133-150.

Cunningham, S. A., Alderson, S. G., King, B. A. (2003). Transport and variability of the Antarctic Circumpolar Current in Drake Passage. *Journal of Geophysical Research* 108.

Ducklow, H. W., Baker, K., Martinson, D. G., Quetin, L. B., Ross, R. M., Smith, R. C.,Stammerjohn, S. E.,Vernet, M., Fraser, W. (2007). Marine pelagic ecosystems: the West Antarctic Peninsula. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 362, 67–94.

Duhamel, G., Koubbi, P., Ravier, C. (2000). Day and night mesopelagic fish assemblages off the Kerguelen Islands (Southern Ocean). *Polar Biology* 23, 106–112.

Erzini, K., Castro, M. (1991). *Microcomputer Applications in Fisheries*. The University of Rhode Island, Kingston, 176 pp.

Everson, I. (1980). Antarctic fish age determination methods. *BIOMASS Handbook* Nº 8, Cambridge. 24 pp.

Fitzhugh Jr., H. A. (1976). Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *Journal of Animal Science* 42, 1036-1051.

Folkvord, A., Mosegaard, H. (2002). Growth and growth analysis: Measures of growth. *In* Panfili, J., de Pontual, H., Troadec, H., Wright, P. J. (Eds) *Manual of Fish Sclerochronology*. Ifremer-IRD Coedition, Brest. 464 pp.

Flores, H., van de Putte, A., Siegel, V., Pakhomov, E. A., van Franeker, J. A., Meesters, E. H. W. G., Volckaert, F. A. M. (2008). Distribution, abundance and ecological relevance of pelagic fishes in the Lazarev Sea, Southern Ocean. *Marine Ecology Progress Series* 367, 271–282.

Fowler, A. (1990). Validation of annual growth increments in the otoliths of a small, tropical coral reef fish. *Marine Ecology Progress Series* 64, 25–38.

Garabato, A. C. N., Stevens, D. P., Heywood, K. J. (2003). Water mass conversion, fluxes, and mixing in the Scotia Sea diagnosed by an inverse model. *Journal of Physical Oceanography* 33, 2565-2587.

Gartner, J. V. Jr. (1991a). Life histories of three species of laternfishes (Pisces: Myctophidae) from the eastern Gulf of Mexico. I. Morphological and microstructural analysis of sagittal otoliths. *Marine Biology* 111, 11-20.

Gartner, J. V. Jr. (1991b). Life histories of three species of laternfishes (Pisces: Myctophidae) from the eastern Gulf of Mexico. II. Age and growth patterns. *Marine Biology* 111, 21-27.

Gonçalves, J. M. S., Bentes, L., Lino, P. G., Ribeiro, J., Canário, A. V. M., Erzini, K. (1997). Weight-length relationships for selected fish species of the small-scale demersal fisheries of the south and south-west coast of Portugal. *Fisheries Research* 30, 253–256.

Gonçalves, J. M. S. (1999). Biologia pesqueira e dinâmica populacional de *Diplodus vulgaris* (Geoffr.) e *Spondyliosoma cantharus* (L.) (Pisces, Sparidae) na costa sudoeste de Portugal. Tese de Doutoramento, Universidade do Algarve, Faro, 369 pp.

Gonçalves, J. M. S., Bentes, L., Coelho, R., Correia, C., Lino, P. G., Monteiro, C. C., Ribeiro, J., Erzini, K. (2003). Age and growth, maturity, mortality, and yield-per-recruit for two banded bream (*Diplodus vulgaris* Geoffr.) from the south coast of Portugal. *Fisheries Research* 62, 349–259. 21

Greely, T. M., Gartner, J. V. Jr., Torres, J. J. (1999). Age and growth of *Electrona antarctica* (Pisces: Myctophidae), the dominant mesopelagic fish of the Southern Ocean. *Marine Biology* 133, 145–158.

Guinet, C., Cherel, Y., Ridoux, V., Jouventin, P. (1996). Consumption of marine resources by seabirds and seals in Crouzet and Kerguelen waters: changes in relation to consumer biomass 1962-85. *Antarctic Science* 8 (1), 23–30.

Hoddell, R. J., Crossley, A. C., Williams, R., Hosie, G. W. (2000). The distribution of Antarctic pelagic fish and larvae (CCAMLR division 58.4.1). *Deep-Sea Research II* 47, 2519-2541.

Hulley, P. A. (1984). Myctophidae. *In* Whitehead, P. J. P., Bauchot, M. L., Hureau, J. C., Nielsen, J., Tortonese, E. (Eds) *Fishes of North-eastern Atlantic and the Mediterranean*. Vol. I. UNESCO, Paris, p. 429–483.

Hulley. P. A. (1986). Myctophidae. *In* Smith, M. M., Heemstra, P. C. (Eds) *Smiths' Sea Fishes*. J. L. B. Smith Institute of Ichthyology. Grahamstown, 1047 pp.

Hulley, P. A. (1990). Family Myctophidae. *In* Gon O., Heemstra, P. C. (Eds) *Fishes of the Southern Ocean*. J.L.B. Smith Institute of Ichthyology, Grahamstown, 462 pp.

Hulley, P. A. (1992). Upper-slope distributions of oceanic lanternfishes (family: Myctophidae). *Marine Biology* 114, 365-383.

Ignatius, B., Srinivasan, M., Balakrishnan, S. (2011). Age and growth of Octopus, *Octopus aegina* (Gray, 1849) from Mandapam coastal waters (Palk Bay), Southeast Coast of India. *Journal of Fisheries and Aquatic Science* 6 (2), 161-169.

Kimura, D. K. (1980). Likelihood methods for the Von Bertalanffy growth curve. *Fishery Bulletin* 77, 765-776.

Kock, K., Jones, C. D. (2005) Fish Stocks in the Southern Scotia Arc Region - A Review and Prospects for Future Research. *Reviews in Fisheries Sciences*. 13 (2), 75–108.

Koubbi, P. (1993). Influence of the frontal zones on ichthyoplankton and mesopelagic fish assemblages in the Crozet Basin (Indian sector of the Southern Ocean). *Polar Biology* 13, 557-564.

Koubbi, P., Duhamel, G., Hecq, J., Beans, C., Loots, C., Pruvost, P., Tavernier, E., Vacchi, M., Vallet, C. (2009). Ichthyoplankton in the neritic and coastal zone of Antarctica and Subantarctic islands: A review. *Journal of Marine Systems* 78, 547–556.

Kozlov, A. (1995). A review of the trophic role of mesopelagic fish of the family Myctophidae in the Southern Ocean ecosystem. *CCAMLR Science* 2, 71–77.

La Mesa, M. (2007). The utility of otolith microstructure in determining the timing and position of the first annulus in juvenile Antarctic toothfish (*Dissostichus mawsoni*) from the South Shetland Islands. *Polar Biology* 30, 1219–1226.

La Mesa, M., Ashford, J. (2008). Age and growth of ocellated icefish, *Chionodraco rastrospinosus* DeWitt and Hureau, 1979, from the South Shetland Islands. *Polar Biology* 31, 1333-1342.

Linkowski, T. B. (1985) Population biology of the myctophid fish Gymnoscopelus nicholsi (Gillbert, 1911) from the western South Atlantic. *Journal of Fish Biology* 27, 683–698.

Linkowski, T. B. (1987). Age and growth of four species of *Electrona* (Teleostei, Myctophidae). *In* Kullander, S. A. (Eds.). *Proccedings of the V Congress of the European Icthyologists. Swedish Museum of Natural History* 435-442.

Linkowski, T. B. (1996). Lunar rhythms of vertical migrations coded in otolith microstructure of North Atlantic lanternfishes, genus *Hygophum* (Myctophidae). *Marine Biology* 124, 495-508.

Liu, Q., Chen, D. (1995). Length frequency analysis of *Pleurogramma antarcticum*, *Electrona antarctica*, *Protomyctophum bolini*. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology* 13 (4), 380-384.

Loots, C., Koubbi, P., Duhamel, G. (2007). Habitat modelling of *Electrona antarctica* (Myctophidae, Pisces) in Kerguelen by generalized additive models and geographic information systems. *Polar Biology* 30, 951–959.

MacKenzie, K. (2002). Parasites as biological tags in population studies of marine organisms: an update. *Parasitology* 124, S153-S163.

McGinnis, R. F. (1982). *Biogeography of lanternfishes (Myctophidae) south of 30ºS*. American Geophysical Union, Washington DC.

Meunier, F. J. (2002). Growth mark formation and seasonality. *In* Panfili, J., de Pontual, H., Troadec, H., Wright, P. J. (Eds) *Manual of Fish Sclerochronology*. Ifremer-IRD Coedition, Brest. 464 pp.

Milton, D. A., Chenery, S. R. (2001). Can otolith chemistry detect the population structure of the shad hilsa *Tenualosa ilisha*? Comparison with the results of genetic and morphological studies. *Marine Ecology Progress Series* 222, 239-251.

Miya, M., Okiyama, M., Nemoto, T. (1986). Midwater fishes of the Southern Ocean south of Australia. Memoirs of National Institute of Polar Research Institute 40, 323–324.

Moline, M. A., Claustre, H., Frazer, T. K., Schofields, O., Vernet, M. (2004). Alteration of the food web along the Antarctic Peninsula in response to a regional warming trend. *Global Change Biology* 10, 1973–1980.

Morales-Nin, B. (1992). Determination of growth in bony fishes from otolith microstructure. *FAO Fisheries Technical Paper* 322. FAO, Rome. 51pp.

Morales-Nin, B. (2000a). Review of the growth regulation processes of otolith daily increment formation. *Fisheries Research* 46, 53–67.

Morales-Nin, B., Moranta, J., Balgerias, E. (2000b). Growth and age validation in high-Antarctic fish. *Polar Biology* 23, 626–634.

Morales-Nin, B., Panfili, J. (2002a). Age estimation. *In* Panfili, J., de Pontual, H., Troadec, H., Wright, P. J. (Eds) *Manual of Fish Sclerochronology*. Ifremer-IRD Coedition, Brest. 464 pp.

Morales-Nin, B., Panfili, J. (2002b). Indirect validation. *In* Panfili, J., de Pontual, H., Troadec, H., Wright, P. J. (Eds) *Manual of Fish Sclerochronology*. Ifremer-IRD Coedition, Brest. 464 pp.

Moku, M., Hayashi, A., Mori, K., Watanabe, Y. (2005). Validation of daily otolith increment formation in the larval myctophid fish *Diaphus* slender-type spp. *Jornal of Fish Biology* 67, 1481–1485.

Moteki, M., Horimoto, N., Nagaiw, R., Amakasu, K., Ishimaru, T., Yamaguchi, Y. (2009). Pelagic fish distribution and ontogenetic vertical migration in common mesopelagic species of Lützow-Holm Bay (Indian Ocean sector, Southern Ocean) during austral summer. *Polar Biology* 32, 1461–1472.

Murphy, E. J., Watkins, J. L., Trathan, P. N., Reid, K., Meredith, M. P., Thorpe, S. E., Johnson, N. M., Clarke, A., *et al*. (2007). Spatial and temporal operation of the Scotia Sea ecosystem: a review of large-scale links in a krill centred food web. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 362, 113–148.

Murta, A. J. C. G. (2003). Estrutura Populacional do Carapau *Trachurus trachurus* (L., 1758) na Costa Portuguesa. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa, 211 pp.

Nelson, J. S., 2006. *Fishes of the World*. Fourth ed. Wiley, Hoboken, NJ, 601 pp.

North, A. W. (1988). Age of Antarctic fish: validation of the timing of annuli formation in otoliths and scales. *Cybium* 12 (2), 107–114.

Pakhomov, E. A., Perissinotto, R., McQuaid, C. D. (1996). Prey composition and daily ratios of myctophid fishes in the Southern Ocean. *Marine Ecology Progress Series* 134, 1–14.

Panfili, J., de Pontual, H., Troadec, H., Wright, P. J. (2002). *Manual of Fish Sclerochronology*. Ifremer-IRD Coedition, Brest. 464 pp.

Panfili, J., Morales-Nin, B. (2002). Semi-direct validation. *In* Panfili, J., de Pontual, H., Troadec, H., Wright, P. J. (Eds) *Manual of Fish Sclerochronology*. Ifremer-IRD Coedition, Brest. 464 pp.

Pauly, D., Munro, J. L. (1984). Once more on growth comparison in fish and invertebrates. *Fishbyte, Newsletter of the Network of Tropical Fisheries Scientists* 2 (1), 21.

Pauly, D., Moreau, J., Gayanilo Jr., F. (1996). Une nouvelle method de comparaison des performances de croissance des poissons, appliquée aux tilapias sauvages et d' élevage. p. 477-485. *In* Pullin, R. S. V., Lazard, J., Legendre, M., Amon Kothias, J. B., Pauly, D. (Eds). Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. *ICLARM Conference Proccedings* 41, 630 pp.

Pauly, D. (1998). Why squids, though not fish, may be better understood by pretending they are. *South African Journal of Marine Sciences* 20, 47-58.

Petrakis, G., Stergiou, K. I. (1995). Weight-length relationships for 33 fish species in Greek waters. *Fisheries Research* 21, 465–469.

Piatkowski, U., Rodhouse, P. G., White, M. G., Bone, D. G., Symon, C. (1994). Nekton community of the Scotia Sea as sampled by the RMT 25 during austral summer. *Marine Ecology Progress Series* 112, 13–28.

Power, G.R., King, P. A., Kelly, C. J., McGrath, D., Mullins, E., Gullaksen, O. (2006). Precision and bias in the age determination of blue whiting, *Micromesistius poutassou* (Risso, 1810), within and between age-readers. *Fisheries Research* 80, 312–321.

Pusch, C., Hulley, P. A., Kock, K. H. (2004). Community structure and feeding ecology of mesopelagic fishes in the slope waters of King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Deep-Sea Research I* 51, 1685-1708.

Reid, K. (1996). *A Guide to the use of otoliths in the study of predators at South Georgia*. British Antarctic Survey, Cambridge, 40 pp.

Reid, K., Arnould, J. P. Y. (1996). The diet of Antarctic fur seals *Arctocephalus gazella* during the breeding season at South Georgia. *Polar Biology* 16, 105–114.

Reid, K., Croxall, J P., Prince, P. A. (1996). The fish diet of black-browed albatross *Diomedea melanophris* and grey-headed albatross *D. chrysostoma* at South Georgia. *Polar Biology* 16, 469–477.

Roa, R. (1993). Annual growth and maturity function of the squat lobster *Pleuroncodes monodon* in central Chile. *Marine Ecology Progress Series* 97, 157-166.

Robison, B. (2003). What drives the diel vertical migration of Antarctic midwater fishes? *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 83, 693-642.

Rodhouse, P. G., Piatkowski, U., Murphy, E. J., White, M. G., Bone, D. G. (1994). Utility and limits of biomass spectra: the nekton community sampled with the RMT 25 in the Scotia Sea during austral summer. *Marine Ecology Progress Series* 112, 29-39.

Ross, S. W., Quattrini, A. M., Roa-Varon, A. Y., McClain, J. P. (2010). Species composition and distributions of mesopelagic fishes over the slope of the north-central Gulf of Mexico. *Deep-Sea Research II* 57, 1926-1956.

Rowedder, U. (1979a). Some aspects of the biology of *Electrona antarctica* (Günther, 1878) (Family Myctophidae). *Meeresforschung* 27, 244–251.

Rowedder, U. (1979b). Feeding ecology of the Myctophid *Electrona antarctica* (Günther, 1878) (Teleostei). *Meeresforschung* 27, 252–263.

Secor, D. H. (1999). Specifying divergent migrations in the concept of stock: the contingent hypothesis. *Fisheries Research* 43, 13-34.

Shreeve, R.S., Collins, M. A., Tarling, G.A., Main, C.E., Ward, P., Johnston, N. M. (2009). Feeding ecology of myctophid fish in the northern Scotia Sea. *Marine Ecology Progress Series* 386, 221-236.

Smith, I. J., Stevens, D. P., Heywood, K. J., Meredith, M. P. (2010). The flow of the Antarctic Circumpolar Current over the North Scotia Ridge. *Deep-Sea Research I* 57, 14–28.

Sparre, P., Venema, S. C. (1997). Introdução à avaliação de mananciais de peixes tropicais. Parte l*:* Manual. *FAO Documento Técnico sobre as Pescas.* Nº. 306/1, Rev.2. FAO, Roma, 404 pp.

Stefanescu, C., Rucabado, J., Lloris, D. (1992). Depth-size trends in western Mediterranean demersal deep-sea fishes. *Marine Ecology Progress Series* 81, 205-213.

Stephenson, R. L. (1999). Stock complexity in fisheries management: a perspective of emerging issues related to population sub-units. *Fisheries Research* 43, 247-249.

Takagi, K., Yatsu, A., Moku, M., Sassa, C. (2006). Age and growth of lanternfishes, *Symbolophorus californiensis* and *Ceratoscopelus warmingii* (Myctophidae), in the Kuroshio-Oyashio Transition Zone. *Ichthyological Research* 53, 281-289.

Torres, J. J., Somero, G. N. (1988). Vertical distribution and metabolism in Antarctic mesopelagic fishes. *Comparative Biochemistry and Physiology* 90 (3), 521–528.

Turner, J. R., White, E. M., Collins, M. A., Partridge, J. C., Douglas, R. H. (2009). Vision in lanternfish (Myctophidae): Adaptations for viewing bioluminescence in the deep-sea. *Deep-Sea Research I* 56, 1003–1017.

Tuset, V. M., Lombarte, A., Assis, C. A. (2008). Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. *Scientia Marina* 72 S1, 7–198.

Van de Putte, A., Flores, H., Volckaert, F., Franeker, J. A. (2006). Energy content of Antarctic mesopelagic fishes: implications for the marine food web. *Polar Biology* 29, 1045–1051.

Van de Putte, A., Jackson, G. D., Pakhomov, E., Flores, H., Volckaert, F. A. M. (2010). Distribution of squid and fish in the pelagic zone of the Cosmonaut Sea and Prydz Bay region during the BROKE-West campaign. *Deep-Sea Research II* 57, 956–967.

Volpedo, A. V., Tombari, A. D., Echeverría, D. D. (2008). Eco-morphological patterns of the sagitta of Antarctic fish. *Polar Biology* 31, 635–640.

Walford, L. A. (1946). A new graphic method of describing the growth of animals. *Biological Bulletin* 90 (2), 141-147.

Ward, P., Shreeve, R., Tarling, G. A. (2006). The autumn mesozooplankton community at South Georgia: biomass, population structure and vertical distribution. *Polar Biology* 29, 950-962.

White, M. G., Piatkowski, U. (1993). Abundance, horizontal and vertical distribution of fish in eastern Weddell Sea micronekton. *Polar Biology* 13, 41-53.

Williams, R., McEldowney, A. (1991). A guide to the fish otoliths from waters off the Australian Antarctic Territory, Heard and Macquarie Islands. *ANARE Research Notes* 75, 173 pp.

Wright, P. J., Panfili, J., Morales-Nin, B., Geffen, A. J. (2002a). Otoliths: Description and function. *In* Panfili, J., de Pontual, H., Troadec, H., Wright, P. J. (Eds) *Manual of Fish Sclerochronology*. Ifremer-IRD Coedition, Brest. 464 pp.

Wright, P. J., Panfili, J., Folkvord, A., Mosegaard, H., Meunier, F. J. (2002b). Direct validation. *In* Panfili, J., de Pontual, H., Troadec, H., Wright, P. J. (Eds) *Manual of Fish Sclerochronology*. Ifremer-IRD Coedition, Brest. 464 pp.

Xavier, J. C. (2002). Predator-prey interactions between albatrosses and cephalopods at South Georgia. Ph.D. Dissertation, University of Cambridge, Cambridge, 247 pp.

Xavier, J. C., Croxall, J. P., Reid, K. (2003a). Interannual variation in the diets of two albatross species breeding at South Georgia: implications for breeding performance. *Ibis* 145, 593–610.

Xavier, J. C., Croxall, J. P., Trathan, P. N., Wood, A. G. (2003b). Feeding strategies and diets of breeding grey-headed and wandering albatrosses at South Georgia. *Marine Biology* 143, 221-232.

Zar, J. H. (1999). *Biostatistical analysis*. 4th Edition. Prentice Hall, New Jersey. 663 pp.

APÊNDICE I

Tabela I. Estatística descritiva do total da amostra de *E. antarctica*. SL: Comprimento padrão (mm)

	Sexos conjunto (mm)	**Fêmeas (mm)**	**Machos (mm)**
n	2979 inds.	1836 inds.	949 inds.
Máximo SL	115	115	101
Mínimo SL	25	26	34
Média SL	72	75	71
Conf. 95% Inferior	71	74	70
Conf. 95% Superior	72	76	72
Mediana	72	74	73
Amplitude	90	89	67
Erro padrão	0,29	0,37	0,36
Desvio padrão	16	15	11
Conf. 95% Inferior	16	15	11
Conf. 95% Superior	16	16	12

APÊNDICE II

Tabela I. Chave idade-comprimento para o total da amostra de *E. antarctica*

SL (mm)	2	3	4	5	6	7	8	Total
30	1							1
33	1							1
36	2							2
39	2							2
42	3							3
45	4	4						8
48	7	1						8
51	11	6	1					18
54	8	5	1					14
57	9	10	3	1				23
60	4	10	7	1				22
63	1	8	5	4				18
66		10	11	2				23
69		10	12	2				24
72		7	12	2				21
75		8	11	3				22
78		3	14	9	2			28
81		2	10	16	4			32
84		1	7	10	3			21
87		1	10	15	5			31
90			5	7	4	2		18
93			2	6	8	2		18
96			3	10	3	1		17
99			1	1	7	1	1	11
102				3	4	3		10
105				1	2	3		6
108						2		2
111						1		1
Total	**53**	**86**	**115**	**93**	**42**	**15**	**1**	**405**

SL: Comprimento padrão

APÊNDICE III

Tabela I. Chave idade-comprimento para fêmeas de *E. antarctica*

SL (mm)	2	3	4	5	6	7	8	Total
45	2	2						4
48	4	1						5
51	7	2	1					10
54	5	2	1					8
57	7	9	3	1				20
60	4	6	6	1				17
63	1	4	5	2				12
66		5	8	2				15
69		5	9	1				15
72		1	9					10
75		4	8	3				15
78		3	7	3				13
81		2	8	10	3			23
84		1	7	7	1			16
87			9	10	4			23
90			5	7	3	2		17
93			2	6	8	2		18
96			3	10	3	1		17
99			1	1	6	1	1	10
102				3	4	3		10
105				1	2	3		6
108						2		2
111						1		1
Total	**30**	**47**	**92**	**68**	**34**	**15**	**1**	**287**

SL: Comprimento padrão

APÊNDICE IV

Tabela I. Chave idade-comprimento para machos de *E. antarctica*

SL (mm)	2	3	4	5	6	Total
39	1					1
45	1					1
48	2					2
51	2	1				3
54	2	4				6
57	2					2
60		4	1			5
63		4		1		5
66		4	3			7
69		5	3	1		9
72		6	3	2		11
75		4	3			7
78			7	6	2	15
81			2	5	1	8
84				3	2	5
87			1	4	1	6
99					1	1
Total	**10**	**32**	**23**	**22**	**7**	**94**

SL: Comprimento padrão

APÊNDICE V

Tabela I. Estatística descritiva do total da amostra de *G. braueri*. SL: Comprimento padrão (mm)

	Sexos conjunto (mm)	Fêmeas (mm)	Machos (mm)
n	2001	418	296
Máximo SL	176	140	128
Mínimo SL	34	59	41
Média SL	85	102	88
Conf. 95% Inferior	84	100	86
Conf. 95% Superior	86	104	90
Mediana	87	104	88
Amplitude	142	81	87
Erro padrão	0,53	0,80	0,85
Desvio padrão	24	16	15
Conf. 95% Inferior	23	15	14
Conf. 95% Superior	24	18	16

APÊNDICE VI

Tabela I. Chave idade-comprimento para o total da amostra de *G. braueri*

SL (mm)	1	2	3	4	5	6	Total
42	2	3					5
54	1	10	3				14
66		13	11	1			25
78		6	21	8	5		40
90		1	13	12	8		34
102			3	7	9	4	23
114			2	8	6	1	17
126				1	1		2
138					1		1
Total	**3**	**33**	**53**	**37**	**30**	**5**	**161**

SL: Comprimento padrão

APENDICE VII

Tabela I. Chave idade-comprimento para fêmeas de *G. braueri*

SL (mm)	2	3	4	5	6	Total
54	1					1
66	2	2				4
78	2	7	2	2		13
90	1	2	6	4		13
102			3	6	2	11
114		1	5	6	1	13
126			1	1		2
138				1		1
Total Geral	**6**	**12**	**17**	**20**	**3**	**58**

SL: Comprimento padrão

APENDICE VIII

Tabela I. Chave idade-comprimento para machos de *G. braueri*

SL (mm)	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Total**
54	4	1				5
66	3	3				6
78	2	7	5	3		17
90		5	3	2		10
102			3	1	1	5
Total Geral	**9**	**16**	**11**	**6**	**1**	**43**

SL: Comprimento padrão