

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA: DIVERSIDADE E MANEJO DE
VIDA SILVESTRE
NÍVEL MESTRADO

FERNANDA CAMINHA LEAL VALLS

ECOLOGIA ALIMENTAR DE *SPHENISCIDAE* NA ILHA ELEFANTE,
ANTÁRTICA

SÃO LEOPOLDO
2013

Fernanda Caminha Leal Valls

**ECOLOGIA ALIMENTAR DE *SPHENISCIDAE* NA ILHA ELEFANTE,
ANTÁRTICA**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre, pelo
Programa de Pós-Graduação em Biologia –
Diversidade e Manejo de vida Silvestre - da
Universidade do Vale do Rio dos Sinos –
UNISINOS

Orientador (a): Dra. Maria Virginia Petry

São Leopoldo
2013

V195e Valls, Fernanda Caminha Leal.

Ecologia alimentar de spheniscidae na Ilha Elefante,
Antártica / Fernanda Caminha Leal Valls. – 2013.

63 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos
Sinos, Programa de Pós-Graduação em Biologia, Diversidade e
Manejo de Vida Silvestre, 2013.

"Orientador (a): Dra. Maria Virginia Petry."

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

(Bibliotecário: Flávio Nunes – CRB 10/1298)

*Dedico aos meus pais, Antonio e Enora
que sempre me incentivaram.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha família, principalmente meu pai, Antonio e minha mãe Enora, que sempre apoiaram minhas escolhas, pelas oportunidades que pude vivenciar e, pelo amor e carinho recebido.

À minha querida avó Tetê, pelo grande afeto e respeito e, à todas as demais pessoas da família que de uma maneira ou outra me apoiaram, se preocuparam e vivenciaram comigo esta etapa da vida.

Ao meu noivo Ronaldo, pelo carinho, amor e compreensão em todos momentos de realização deste trabalho.

À minha orientadora Virginia, por ter me aberto as portas ao mundo da Ornitologia. Por ter me passado seus conhecimentos, pela paciência, conselhos sábios, pela oportunidade de participar de inúmeros projetos do laboratório, pelos momentos de descontração e finalmente pela chance de conhecer o tão sonhado Continente Antártico.

Ao Prof. Dr. Thomas Hecht, pela doação de seu fantástico e indispensável guia de identificações de otólitos, pois sem ele, os otólitos seriam todos iguais!

A todos os integrantes do Laboratório de Ornitologia e Animais Marinhos, que passaram na Ilha Elefante e permitiram que este trabalho pudesse ser concretizado, o meu muito obrigada!

Aos financiadores deste trabalho: Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Antártico de Pesquisas Ambientais - INCT-APA, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ, Programa Antártico Brasileiro, Secretaria Interministerial para os Recursos do Mar – SECIRM e Ministério do meio Ambiente – MMA.

Por fim, gostaria de agradecer especialmente as lindas criaturas de penas nadadoras existentes, que fizeram parte da minha vida durante esses últimos anos e farão por pelo menos os próximos 4 anos.....que venha o doutorado!!!

INTRODUÇÃO GERAL

As aves marinhas reprodutoras da Antártica tem sido consideradas bioindicadoras da variabilidade do ecossistema nos oceanos do sul. Compondo essa grande biomassa de avifauna presente em toda região Antártica, os Spheniscidae, representam cerca de 90% da biomassa total para área. *Pygoscelis papua* e *Pygoscelis antarcticus* reproduzem na região das Ilhas e Península Antártica (Croxall, Trathan & Murphy 2002), têm como sua refeição primordial o krill antártico (*Euphausia superba*), compartilham seus locais de reprodução e suas fenologias são similares. Alguns autores sugerem que as populações de aves marinhas são reguladas pela diminuição da prole em resposta à diminuição da disponibilidade de alimento ao invés da mortalidade de adultos, sendo assim, a disponibilidade dos recursos torna-se fator regulador dos animais na dinâmica populacional.

Estudos sobre a alimentação, incluindo a análise da dieta e as atividades alimentares, constituem uma importante ferramenta para a compreensão da ecologia das populações (Pütz *et al.* 2001; Reid & Croxall 2001; Barret *et al.* 2007; Kokubun *et al.* 2010; Miller *et al.* 2010; Erdmann *et al.* 2011; Polito *et al.* 2011; Cottin *et al.* 2012), fornecendo subsídios para o entendimento do funcionamento dos ecossistemas e dos mecanismos que permitem a coexistência e exploração dos recursos de um mesmo sistema por várias espécies.

A ecologia do forrageio das espécies de aves marinhas é um componente essencial para o monitoramento do ecossistema nos oceanos do sul (CCAMLR, 2004), e especialmente para comparar ou traçar uma tendência no uso de hábitat entre as duas espécies de pinguins (KOKUBUN *et al.*, 2010). Através destas variáveis é possível determinar a posição do nicho trófico de uma espécie, e a sobreposição e amplitude do deste, demonstrando como as espécies utilizam os recursos alimentares, podendo assim explicar a existência de espécies simpátricas (WILSON, 2010). Desta forma, este estudo visa avaliar a dieta de duas espécies de pinguins *Pygoscelis papua* e *Pygoscelis antarcticus* que nidificam em Stinker Point, Ilha Elefante, na Antártica, bem como descrever o comportamento de forrageio da espécie *P. antarcticus*.

O presente estudo foi conduzido na Ilha Elefante, localizado ao norte do arquipélago das Shetlands do Sul, mais especificamente na região de Stinker Point que apresenta áreas desprovidas de gelo no período de verão austral. Foi utilizada a metodologia de lavagem estomacal descrita pela CCAMLR, para coleta de itens alimentares obtidas de adultos reprodutores. Quanto às atividades alimentares, foram instalados geolocalizadores, a fim de registrar o comportamento de forrageio dos adultos. Sendo assim, este trabalho é composto por dois capítulos escritos em formato de artigo científico a serem submetidos para o periódico *Antarctic Science*, após a apresentação e sugestões propostas pela banca avaliadora. O primeiro capítulo trata da análise da dieta de duas espécies de pinguins reprodutoras na Ilha Elefante, que tem por objetivo avaliar a sobreposição de nicho trófico. O segundo capítulo tem por objetivo avaliar as variações individuais no forrageio de *P. antarcticus*, levando em conta influência da produtividade oceânica da região.

REFERÊNCIAS

- BARRETT, R.T., CAMPHUYSEN, K., ANKER-NILSSEN, T., CHARDINE, J.W., FURNESS, R.W., GARTHE, S., HÜPPOP, O., LEOPOLD, M., MONTEVECCHI, W.A. & VEIT, R.R. Diet studies of seabirds: a review and recommendations. **ICES Journal of Marine Science**, v. 64, p. 1675-1691, 2007.
- CCAMLR Standard methods for monitoring parameters of predators species. CCAML Ecosystem Monitoring Program. CCAMLR, Hobart, Australia. 2004.
- COTTIN, M., RAYMOND, B., KATO, A., AMÉLINEAU, F., LE MAHO, Y., RACLOT, T., GALTON-FENZI, B., MEIJERS, A. & ROPERT-COUDERT, Y. Foraging strategies of male Adélie penguins during their first incubation trip in relation to environmental conditions. **Marine Biology**, v. 159, p. 1843–1852, 2012.
- CROXALL, J. P., TRATHAN P.N. & MURPHY, E.J. Environmental change and Antarctic seabird populations. **Science**, v. 297, p. 1510-1514, 2002.

- ERDMANN, E.S., CHRISTINE, A.R., PATTERSON-FRASER, D.L. & FRASER, W.R. Characterization of winter foraging locations of Adélie penguins along the Western Antarctic Peninsula, 2001–2002. **Deep-Sea Research II**, v. 58, p. 1710–1718, 2011.
- KOKUBUN, N. TAKAHASHI, A., MORI, Y., WATANABE, S. & SHIN, H.C. Comparison of diving behavior and foraging habitat use between chinstrap and gentoo penguins breeding in the South Shetland Islands, Antarctica. **Marine Biology**, v. 157, p. 811–825, 2010.
- MILLER, A.K., KAPPES, M.A., TRIVELPIECE, S.G. & TRIVELPIECE, W.Z. Foraging-niche separation of breeding Gentoo and Chinstrap penguins, South Shetland Islands, Antarctica. **The Condor**, v. 112, n. 4, p. 683-695, 2010.
- POLITO, M.J., TRIVELPIECE, W.Z., KARNOVSKY, N.J., NG, E. & PATTERSON, W.P. Integrating Stomach Content and Stable Isotope Analyses to Quantify the Diets of Pygoscelid Penguins. **PLoS ONE**, v. 6, n. 10, e26642. doi:10.1371/journal.pone.0026642, 2011.
- PÜTZ, K., INGHAM, R.J., SMITH, J.G. & CROXALL, J.P. Population trends, breeding success and diet composition of gentoo *Pygoscelis papua*, magellanic *Spheniscus magellanicus* and rockhopper *Eudyptes chrysocome* penguins in the Falklands Islands. **Polar Biology**, v. 24, p. 793-807, 2001.
- REID, K. & CROXALL, J.P. Environmental response of upper trophic-level predators reveals a system change in an Antarctic marine ecosystem. **Proceedings of the Royal Society**, v. 268, p. 377-384, 2001.
- WILSON, R.P. Resource partitioning and niche hyper-volume overlap in free-living Pygoscelid penguins. **Functional Ecology**, v. 24, p. 646–657, 2010.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

- Figura 1** Área de estudo: **A.** Península Antártica, Arquipélago das Shetlands do Sul e América do Sul; **B.** Ilha Elefante; **C.** Região de Sinker Point.....27
- Figura 2** Bicos de cefalópodes 1 e 2: bicos inferiores, 3 e 4: bicos superiores.....28
- Figura 3** Espécie de crustáceo *Themisto gaudichaudii* encontrada na dieta do pinguim-papua.....29
- Figura 4** Bicos de queratina pertencentes à espécie *Paraledone turqueti*, encontrados na dieta de *Pygoscelis papua*.....30
- Figura 5** Fotos dos Otólitos saggitae. **a.** *Trematomus newnesi*, **b.** *Lepidonotothen nudifrons*, **c.** *Notothenia rossi*, **d.** *Lepidonotothen squamifrons*, **e.** *Harpagifer antarcticus* e **f.** *Champscephalus gunnari*.....31
- Figura 6** Larva de *Glyptonodus antarcticus*, encontradas na dieta de *Pygoscelis papua*.....32
- Figura 7** Relação entre o tamanho da carapaça (mm) e sexo de krill-antártico (*Euphausia superba*), entre as espécies de pinguins, *P. papua* e *P. antarcticus* na Ilha Elefante.....33
- Figura 8** Biplot PCA com as variáveis: peso (g), comprimento do bico, largura da comissura, altura e largura do bico.34
- Figura 9** Os escores da PC1 são comparados positivamente com o *P. papua*, e negativamente com o pinguim-antártico *P. antarcticus*. Linha indica o limiar entre as variações positivas e negativas.....35

Figura 10 Biomassa dos recursos alimentares mais frequentes na dieta dos pinguins *P. papua* e *P. antarcticus*, na Ilha Elefante. Análise Discriminate com a média da biomassa dos itens alimentares.....36

Figura 11 Distribuição de frequência dos escores resultantes da Análise Discriminante entre as espécies de pinguins em estudo.....37

CAPÍTULO 2

Figura 1. Localização da área de estudo: **A.** Pensínsula Antártica, Shetlands do Sul e América do Sul; **B.** Ilha Elefante; **C.** Região de Stinker Point e localização da colônia de reprodução de *Pygoscelis antarcticus*.....58

Figura 2: Imagem do geolocalizador Lat 2900, fixado nas penas dos pinguins, na parte inferior dorsal com fita Tesa.....59

Figura 3. Distribuição espacial da área de forrageio dos indivíduos *Pygoscelis antarcticus* da Ilha Elefante, Antártica. Densidade de Kernel obtida através dos pontos geográficos dos geolocalizadores.....60

Figura 4. Análise Discriminante demonstrando a similaridade da utilização das áreas pelos indivíduos: A (quadrado), B (losângulo), C (círculo) e D (triângulo).....61

Figura 5. Imagens de satélite do NOAA, Profundidade (acima), Temperatura da superfície (meio) e Produtividade Oceânica (abaixo) e distribuição oceânica dos indivíduos marcados.....62

Figura 6. Semivariograma dos dados reais (linha sólida) e o modelo estimado (linha pontilhada), com modelo gaussiano de curva indicando a distância da variância dos pontos.....63

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Equações de regressão utilizadas para o cálculo do comprimento total (CT) dos peixes, comprimento do manto (CM) dos octópodes e massa corporal (M) das espécies de peixe e cefalópodes ingeridas. Com base no comprimento do otólito (CO) para os peixes e comprimento do escudo inferior para os polvos (CEI). As medidas encontram-se em milímetros (mm) e a massa em gramas (g).....23

Tabela 2. Número e média da massa de presas encontradas nas espécies, *Pygoscelis papua* e *Pygoscelis antarcticus*, na Ilha Elefante.....24

Tabela 3. Composição da dieta de *Pygoscelis papua* e *Pygoscelis antarcticus* dos itens identificados em nível específico, durante dois períodos reprodutivos na Ilha Elefante.....25

Tabela 4. Número, média do comprimento do otólito (CO) e média da massa reconstituída (MR) dos peixes identificados a nível específico, encontrados nas duas espécies de pinguins reprodutores da Ilha Elefante.....26

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Configurações do geolocalizador Lat 2900 da marca Lotek, utilizados nos pinguins *Pygoscelis antarcticus* na Ilha Elefante, Antártica.....54

Tabela 2. Resultados obtidos através dos geolocalizadores, distância máxima percorrida a partir da Ilha Elefante, total de dias de forrageio, período de reprodução em que os indivíduos foram marcados.....55

Tabela 3. Combinações par a par do método de stepwise, obtidos através dos resultados da Análise Discriminante. Comparações entre os indivíduos A, B, C e D, nos 2 passos. Valores estatísticos (F) e valores de significância (P).....56

Tabela 4. Valores dos coeficientes obtidos através da análise Generalized Least Squares.....57

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	i
Referências.....	ii

CAPÍTULO 1

Resumo.....	1
Palavras-chave.....	1
Abstract.....	2
Keywords.....	2
Introdução.....	3
Material e Métodos.....	6
Resultados.....	8
Discussão.....	11
Agradecimentos.....	15
Referências.....	15
Tabelas.....	23
Figuras.....	27

CAPÍTULO 2

Resumo.....	38
Palavras-chave.....	38
Abstract.....	39
Keywords.....	39
Introdução.....	40
Material e Métodos.....	41
Resultados.....	43

Discussão.....	44
Agradecimentos.....	48
Referências.....	48
Tabelas.....	54
Figuras.....	58

Sobreposição de nicho trófico de Spheniscidae na Ilha Elefante, Antártica.

Resumo. O nicho realizado de duas espécies precisa ser diferente, para que estas espécies possam coexistir de maneira estável. *Pygoscelis papua* e *P. antarcticus* reproduzem simpatricamente na Ilha Elefante, Antártica. Foram coletadas amostras de conteúdo estomacal e realizado biometria das duas espécies para analisar a dieta e a sobreposição de nicho. Um total de 56 amostras de *P. papua* e 71 amostras de *P. antarcticus* foram coletadas durante dois períodos de reprodução austral, 2010/11 e 2011/12, na região de Stinker Point. A proporção de itens variou entre as espécies de pinguins e entre os táxons representados. *E. superba* foi a presa de maior abundância comparado com outros itens alimentares, com aproximadamente 69% FO para *P. papua* e 98% FO para *P. antarcticus*. Foram encontradas nove espécies de peixe, seis espécies de crustáceos e uma espécie de cefalópode, identificados a nível específico. Existe uma diferença significativa entre os fatores, espécie de pinguim, tamanho da carapaça e sexo de krill antártico, quando comparados entre si. Além disso, a biometria indica que o comprimento do bico e peso de *P. papua* são maiores que em *P. antarcticus*, da mesma forma que o bico é mais alto e mais largo em *P. antarcticus*. Tais diferenças morfológicas podem explicar as diferenças no forrageio. Foi observada uma sobreposição de nicho trófico entre as espécies, pela utilização dos mesmos recursos, uma vez que estas espécies ocorrem simpatricamente na mesma região. Este estudo demonstra que a variação específica do nicho trófico ocupado pelas espécies pode ser definida pelo comportamento de forrageio e pela seleção dos recursos alimentares de cada espécie. É importante a recomendação destas espécies como indicadores de qualidade ambiental, adicionando questões como a variabilidade local, pois o nicho trófico pode alterar ao longo do tempo.

Palavras-chave. *Euphausia superba*, dieta, Ilha Elefante, nicho ecológico, pinguim-antártico, pinguim-papua.

Abstract. The two species realized niche needs to be different, since these species can coexist stably. *Pygoscelis papua* and *P. antarcticus* breed sympatrically on Elephant Island, Antarctica. Stomach content samples were collected and biometrics of both species was measured in order to analyze the diet and the niche overlap. A total of 56 *P. papua* samples and 71 *P. antarcticus* samples were collected, during the two austral breeding seasons, 2010/11 and 2011/12, on the Stinker Point region. The proportion of items ranged from the penguin species and among the taxa represented. *E. superba* was the most abundant prey compared with other food items, with approximately 69% FO for *P. papua*, and 98% FO for *P. antarcticus*. We found nine species of fish, six species of crustaceans and one species of cephalopod, identified by the specific level. There is a significant difference between the factors, species of penguin, carapace length and sex of antarctic krill, when compared with each other. In addition, the biometrics indicates that length of *P. papua*'s beak and weight are larger than *P. antarcticus*, but *P. antarcticus* has the highest and widest beak measures. Such morphological differences may explain differences in foraging. We observed a niche overlap of species, by the use of the same food resources, once these species occurs sympatrically in the same region. This study also demonstrated that the specific variation of trophic niches occupied by the species may be defined by the foraging behavior and by the selection of the food resources. It is important the recommendation of these species as indicators of environmental quality, adding issues such as local variability since the trophic niche may change over the time.

Key words. Chinstrap Penguin, diet, ecological niche, *Euphausia superba*, Elephant Island, Gentoo Penguin.

Introdução

Os oceanos do sul, delimitados pelo Continente Antártico e pelas frentes polares, são considerados como um dos mais delimitados ecossistemas marinhos da Terra (Clarke, Barnes & Hodson 2005). A Antártica, englobando tanto a parte continental quanto as ilhas é usualmente considerada como um continente remoto, hostil e um símbolo de último lugar selvagem intocado pelo homem (Bargagli 2008). As populações de aves antárticas tem sido estudadas como bioindicadoras da variabilidade do ecossistema marinho dos oceanos do sul ao longo dos últimos 10-20 anos (Micol & Jouventin 2001). São encontradas cerca de 40 espécies de aves marinhas na região que reproduzem em áreas descobertas de gelo formando colônias com números variáveis de indivíduos (Bargagli 2008).

Com grande representatividade ecológica e considerada umas das espécies sentinelas para o estudo das mudanças ambientais, a família Spheniscidae compõem 90% do total de biomassa da avifauna para toda região Antártica (Croxall, Trathan & Murphy 2002). Segundo Woehler & Croxall (1997), somente sete das 18 espécies de pinguins são consideradas como “pinguins antárticos”, ou seja, que se reproduzem nas áreas livres de gelo tanto no Continente e Península Antártica quanto nas Ilhas Sub-Antárticas. Cita-se *Aptenodytes fostery*, *Aptenodytes patagonicus*, *Eudyptes chrysolophus*, *Eudyptes chrysocome*, *Pygoscelis adeliae*, *Pygoscelis papua* e *Pygoscelis antarcticus*, sendo que quase todas possuem seu centro de distribuição e abundância abaixo do paralelo 60°S. Estas espécies apresentam diferentes estratégias de vida, como cronologia de reprodução, tamanho das creches, estratégias alimentares e comportamento de forrageio, utilizando tanto ambientes pelágicos (*Aptenodytes patagonicus*, *Eudyptes chrysolophus* e *Pygoscelis antarcticus*) quanto bentônicos (*Pygoscelis papua* e *Eudyptes chrysocome*) (Stonehouse 1975; Kooyman 2002).

Pygoscelis papua conhecido popularmente como pinguim-papua, possui uma maior amplitude latitudinal de distribuição quando relacionado com as outras espécies de pinguins. Esta, reproduz desde as Ilhas Crozet (46°S), na região sul do Oceano Índico, até a Ilha Petermann (65°S), na Península Antártica (Stonehouse 1975; Kooyman 2002). Com sua distribuição circumpolar, *P. papua* normalmente nidifica em pequenas colônias, podendo ser encontrado em simpatria com outras duas espécies de pinguins, *Pygoscelis adeliae* e *Pygoscelis antarcticus* (Quintana & Cirelli 2000).

Conhecido como pinguim-antártico *P. antarcticus*, se reproduz quase que exclusivamente nas Ilhas da Scotia e Península Antártica ao sul do paralelo 65°S (Stonehouse 1975; Kooyman 2002). O pinguim-antártico é considerado um grande consumidor de krill-antártico (Croxall & Furse 1980; Volkman 1980; Jablonski 1985), e foi incluído na lista de espécies da Comissão para Conservação dos Recursos Vivos Marinhos da Antártica (CCAMLR), que prevê monitorar e avaliar as mudanças geradas nas populações de aves marinhas através dos recursos naturais disponíveis. De acordo com a União Internacional para Conservação da Natureza – IUCN, *P. papua*, está classificado como “quase ameaçado”, enquanto que o *P. antarcticus* classifica-se como “fora de perigo” em nível mundial (Birdlife International 2012). Porém, em estudos regionais como no Mar da Scotia (Forcada *et al.* 2006, Hinke *et al.* 2007), a tendência populacional de *P. papua* está estável ou aumentando, enquanto que para *P. antarcticus* têm diminuído ao longo do tempo. Entretanto, na Ilha Elefante, ambas as espécies têm sofrido uma diminuição em suas populações nos últimos anos (observação pessoal).

Alguns autores sugerem que as populações de aves marinhas sofrem flutuações devido à diminuição da prole. Esta diminuição ocorreria em resposta à baixa disponibilidade de alimento ao invés da mortalidade de adultos, através da predação ou da caça (Reid & Croxall 2001; Trivelpiece *et al.* 2011). Wilson (2010) avaliou a competição de espécies simpátricas de pinguins do gênero *Pygoscelis*, Miller & Trivelpiece (2007) estudaram a dinâmica populacional de *E. superba* encontrados na dieta de pinguins na Antártica, Trivelpiece *et al.* (2011) registraram um declínio populacional de espécies de pinguins na região da Antártica, por consequência da redução do recrutamento de krill causada pela diminuição de extensão de gelo oceânico. Estudo realizado por Trivelpiece *et al.* (2011), com duas populações de pinguins na região da Península Antártica, demonstraram que a diminuição de extensão de gelo marinho explica indiretamente as tendências na flutuação das populações.

A disponibilidade do alimento é dependente da extensão de gelo, sendo este o fator crucial para a manutenção das espécies de aves marinhas. Segundo Croxall (1984), dentre as aves encontradas na Antártica, os pinguins, são os maiores consumidores de recursos marinhos, especialmente o krill-

antártico. Assim, muitos estudos vêm sendo realizados a cerca da interação “predador-presa” nesta região, onde o krill-antártico é a presa de maior representatividade (Croxall 1984; Hinke *et al.* 2007; Miller 2010; Lynch *et al.* 2012). O krill é considerado chave fundamental no ecossistema Antártico e serve como parte principal na transferência de energia a partir do macro-zooplâncton até os predadores de topo através da teia trófica (Reid & Croxall 2001; Nicol 2006; Miller & Trivelpiece 2007). Desta forma, é de particular interesse o estudo da inter-relação do krill com seus predadores, uma vez que suas populações têm diminuído nos últimos anos, devido à perda na extensão de gelo (Siegel & Loeb 1995; Siegel *et al.* 2002).

A disponibilidade dos recursos alimentares é um importante fator que influencia a dinâmica populacional das espécies antárticas (Trathan, Croxall & Murphy 1996; Reid & Croxall 2001; Lynnes, Reid & Croxall 2004; Forcada *et al.* 2006). Esta disponibilidade de alimento pode influenciar a reprodução, crescimento e sobrevivência dos filhotes. Embora estudos tenham indicado que o sucesso na reprodução de aves marinhas está ligado a grandes eventos oceanográficos, tendo influência direta das correntes circumpolares da Antártica e as variações anuais do El Niño Southern Oscillation (ENSO) (Croxall *et al.* 2002), poucos estudos avaliam simultaneamente o sucesso na reprodução como resposta à variações do comportamento reprodutivo, forrageio, abundância e disponibilidade de presas (Croll *et al.* 2006).

Muitas ferramentas são utilizadas para o estudo da dieta de aves marinhas. Algumas são baseadas na observação direta da captura do alimento, ou coleta de regurgito e excrementos. Barrett *et al.* (2007) cita outras formas de avaliar a dieta das aves, sendo estas baseadas em abordagens mais sistemáticas, como coleta de tecido para análise de isótopos estáveis e ácidos graxos, entretanto praticamente todos os métodos referem-se aos períodos de reprodução, quando as aves encontram-se acessíveis e em terra. Desta forma, é de grande importância verificar se as aves respondem às variações interanuais através da disponibilidade e abundância de presas no forrageio para a obtenção de um sucesso na reprodução de suas populações.

Estudos relacionados à alimentação, como por exemplo, a análise da dieta e as atividades alimentares, constituem uma importante ferramenta para a compreensão da ecologia das populações (Pütz *et al.* 2001; Reid & Croxall 2001; Barret *et al.* 2007; Kokubun *et al.* 2010; Miller *et al.* 2010; Erdmann *et al.* 2011; Polito *et al.* 2011; Cottin *et al.* 2012). Estes resultados fornecem subsídios para compreender o funcionamento dos ecossistemas e dos mecanismos que permitem a coexistência e a exploração dos recursos de um mesmo sistema por várias espécies. A dieta e os hábitos alimentares das espécies determinam a sua localização dentro de uma rede trófica e definem seu papel ecológico. Portanto, o objetivo geral deste trabalho é analisar a dieta de duas espécies simpátricas, *Pygoscelis papua* e *P. antarcticus*, que reproduzem na região de Stinker Point. Pretende-se ainda, investigar a preferência alimentar, comparar a similaridade entre as dietas e, por fim, avaliar a sobreposição de nicho trófico das espécies.

Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em Stinker Point na Ilha Elefante, Antártica, (61°07'31"S/55°19'26"W) (Figura 1). Dentre as ilhas que compõem o Arquipélago das Shetlands do Sul, a Ilha Elefante encontra-se mais exposta às frentes polares que surgem das proximidades dos campos de gelo do Mar de Weddell, e por isso, possui condições climáticas distintas das demais ilhas (O'Brien 1974). Stinker Point é uma área livre de gelo durante o verão, com aproximadamente cinco quilômetros de extensão de praia, sendo assim, um ponto importante para a reprodução de várias espécies de aves e mamíferos marinhos na Ilha (Harris *et al.* 2011).

Metodologia

As amostras de conteúdo estomacal foram obtidas de adultos reprodutores utilizando a metodologia de lavagem estomacal (Wilson 1984). Foram coletadas cinco amostras de cada espécie de pinguim em um intervalo de cinco dias em todo período de creche dos filhotes. A coleta do conteúdo estomacal dos adultos, durante este período, tem por objetivo amostrar os itens alimentares que estão sendo levados aos filhotes. Segundo Stonehouse (1975), o período de creche é caracterizado como o período quando os filhotes abandonam os ninhos e permanecem em pequenos grupos ao redor da

colônia. Neste período os filhotes são capazes de permanecer sozinhos, enquanto os adultos deixam a colônia em busca de alimento. Os adultos foram capturados na praia, com utilização de um puçá, quando estes retornavam do mar para as creches. *P. papua* e *P. antarcticus* foram amostrados durante o verão austral de 2010/2011 e 2011/2012. Concomitantemente com a coleta de conteúdo estomacal, foi realizado a biometria do bico e pesados os adultos de *P. papua* e *P. antarcticus*, afim de avaliar a diferença no tamanho corporal.

A técnica de bombeamento estomacal tem acesso aos itens alimentares através do bombeamento de água salgada por um tubo de silicone introduzido no trato digestório do pinguim. Após este procedimento, a ave é invertida de cabeça para baixo, de forma que a água e o conteúdo estomacal sejam despejados em um compartimento (CCAMLR 2004). Todas as técnicas de manuseio e captura dos animais foram previstas e a licença foi concedida pelo Ministério do Meio Ambiente através do projeto Impacto das Mudanças Globais no Meio Ambiente Antártico – Módulo II (Processo 574018/2008-5 Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - Antártico de Pesquisas Ambientais INCT-APA).

Os itens alimentares encontrados foram classificados em três categorias principais (cefalópodes, peixes e crustáceos), e pesados de acordo com a biomassa em cada registro de categoria. Após triagem, realizada em laboratório montado em campo, os itens alimentares, foram identificados em nível específico no Laboratório de Ornitologia e Animais Marinhos da Unisinos. A técnica aplicada para identificação de cada item foi: (1) cefalópodes identificados em nível específico através das medidas de comprimento do escudo inferior para os polvos (CEI), através do bico de queratina, utilizando equações de regressão (Figura 2) (Clarke 1986; CCAMLR 2004; Xavier & Cherel 2009). Todos os bicos foram armazenados em tubetes com álcool etílico 70% e glicerina. (2) os peixes foram identificados através dos otólitos. Nos peixes encontrados inteiros, esta estrutura foi removida ainda em campo e mantida em compartimentos secos. Todos os otólitos foram medidos, utilizando lupa estereoscópica MEIJI com escala micrométrica (0,001 mm) e câmera microcópica Mshot acoplada, com processador MD50. O comprimento do otólito (CO) foi mensurado para a reconstituição da massa total de cada indivíduo de peixe ingerido, utilizando as equações de regressão adequadas a cada

espécie, encontradas em guias de identificações especializados (Hecht 1987; North *et al.* 1984; Williams & McEldowney 1990; Casaux *et al.* 1997) (Tabela 1). (3) Os crustáceos foram identificados quanto à espécie (FAO, 1985). Para todos os crustáceos foram tomadas as medidas e realizados a identificação em relação a sexo e estágio de maturação sexual.

Análises estatísticas

Para cada item alimentar foi determinado o número (N), massa (M) e calculados a frequência de ocorrência (FO). A importância de cada item alimentar foi avaliada de acordo com o Índice de Importância Relativa (IIR) segundo Pinkas *et al.* (1971) e adaptado, substituindo o volume pela massa reconstituída, sendo assim, $IIR=(Nr\%+M\%)FO\%$. A substituição do volume pela massa reconstituída foi devido ao volume de determinadas presas não ter sido registrado, e, além disso, conforme Bugoni & Vooren (2004), a utilização de massa em vez de volume é uma medida com maior contribuição para avaliar cada tipo de presa, em termos de valor energético.

Análise Discriminante foi utilizada a fim de analisar as diferenças na utilização de itens alimentares entre as espécies de pinguins estudadas. Anova Fatorial foi utilizada para comparar o tamanho da carapaça de krill-antártico entre sexos do krill e entre ambas as espécies de pinguim. Análise de Componentes Principais foi aplicada para avaliar a relação entre as variáveis biométricas dos pinguins e, por fim, Teste T para comparar a média dos escores da PCA entre as duas espécies de pinguins, e, para confirmar inferencialmente as diferenças morfológicas entre as espécies. Análise de sobreposição de nicho foi aplicada pelo software EcoSim 7.0 (Gotelli & Entsminger 2001), utilizando o total de biomassa de cada item e randomizações de 1000 interações. A sobreposição de nicho varia entre 0-1, sendo (0) zero nenhuma sobreposição entre as espécies e (1) uma total sobreposição. Todos os testes estatísticos foram considerados $p<0,05$ para níveis de significância.

Resultados

Composição geral da dieta

Um total de 56 amostras de conteúdo estomacal de *Pygoscelis papua* e 71 amostras de *P. antarcticus* foram coletados, durante dois períodos reprodutivos, 2010/11 e 2011/12, na Ilha Elefante. A proporção de itens alimentares variou entre as espécies de pinguins e entre os táxons representados. Dentre as amostras coletadas, nove espécies de peixe, seis espécies de crustáceos e uma espécie de polvo, foram identificadas em níveis específicos. O krill-antártico, *Euphausia superba*, representou o item alimentar mais importante na dieta, com os maiores valores de número e massa (Tabela 2) para ambas as espécies, exceto a presa *Paraleledone turqueti*, pertencente à ordem Octopoda, que foi registrado com 96,47g de média de biomassa reconstituída, encontrado no conteúdo estomacal do *P. papua* (Tabela 2).

E. superba foi a presa mais abundante comparado com os demais itens alimentares, apresentando aproximadamente 69% de frequência de ocorrência para *P. papua*, sendo que para espécie *P. antarcticus* foi registrado em praticamente todas as coletas, com 98% de ocorrência (Tabela 3). Além de *Euphausia superba*, também foram registradas mais duas espécies de krill, *E. chrysallophias*, que representou na dieta 8% e 11% para *P. papua* e *P. antarcticus*, respectivamente, enquanto que *E. frigida*, foi somente registrado para *P. antarcticus* e representando uma menor frequência de ocorrência (4%), quando comparado com o krill-antártico (Tabela 3). Outro crustáceo encontrado, o amphípoda *Themisto gaudichaudii*, esteve presente somente na dieta de *P. papua*, e foram encontrados 75 indivíduos, correspondendo 0,09% do total de amostras (Tabela 3) (Figura 3). Além dos crustáceos, foram encontrados 21 bicos de polvos, identificados como *Paraleledone turqueti*, correspondendo 0,07% do total de amostras de *P. papua* (Tabela 3) (Figura 4). O pinguim-papua, teve os maiores valores de massa dos peixes ingeridos *Notothenia rossi* (13,75g) e *Champscephalus gunnari* (11,73g), quando comparados com o pinguim-antártico com exceção da biomassa do ítem *E. superba* (97,95g) (Tabela 3). Quanto ao IIR, o krill-antártico foi registrado com valores bem acima dos demais itens registrados, representando um índice de 8101,98 e 19150,54, para os pinguins-papua e antártico, respectivamente (Tabela 3).

Os peixes representaram o segundo grupo mais importante na dieta de ambas as espécies de pinguins. A família Nototheniidae foi a mais frequente, com seis espécies identificadas: *Trematomus*

newnesi (1,78 FO%), *Lepidonotothen nudifrons* (7,14 FO%), *Pleuragramma antarcticum* (5,36 FO%), *Lepidonotothen squamifrons* (3,57 FO%), *Notothenia rossi* (8,93 FO%) e *Pseudonotothen loennbergii* (1,78 FO%), enquanto que a família Myctophidae está representado por *Electrona antarctica* (1,78 FO%), Harpagiferidae por *Harpagifer antarcticus* (14,28 FO%) e a família Channichthyidae, representada por *Champscephalus gunnari* (14,28 FO%) encontrados em *P. papua* (Tabela 3) (Figura 5). As espécies de peixe, *H. antarcticus*, *C. gunnari*, *L. nudifrons* e *P. antarcticum*, foram registradas com o maior número de espécimes encontrados, enquanto que *L. nudifrons* contém a maior média de comprimento do otólito, dentre os otólitos medidos (Tabela 4). *Notothenia rossi* foi a espécie de peixe com os maiores valores de massa reconstituída para ambas as espécies *P. papua* e *P. antarcticus*, com 121,73 g e 107,3 g respectivamente, seguido de *Trematomus newnesi* com 84,32 g e *Lepidonotothen nudifrons* com 20,211 g (Tabela 4). Outros dois indivíduos da Ordem Mysidacea também foram registrados na dieta do pinguim-papua, porém somente foram contabilizados, assim como um indivíduo da Ordem Isopoda, *Serolis sp.* e três espécimes de *Glyptonodus antarcticus* (Figura 6).

Relação presa-predador

Um total de 878 (368 fêmeas, 257 machos e 253 não identificados), indivíduos de *Euphausia superba* foram medidos de acordo com o comprimento da carapaça (CC), a partir da remoção da mesma. Há uma diferença no comprimento da carapaça de krill entre diferentes sexos de krill e espécies de pinguins. *P. papua* consome krills maiores do que a espécie *P. antarcticus* ($F_{1,619} = 129,6$, $p < 0,001$), e o comprimento da carapaça das fêmeas ingeridas foi maior do que o comprimento da carapaça dos machos ($F_{1,619} = 45,45$, $p < 0,001$) para ambas as espécies de pinguins. Além disso, a interação entre estes fatores também foi significativo quando comparados entre si ($F_{1,619} = 24,64$, $p < 0,001$) (Figura 7).

Os dois eixos da análise de componentes principais (PCA) explicaram juntos 70% da variação dos dados (PC1=47%, PC2=23,3%). O eixo 1 está relacionado positivamente com as variáveis peso (0,795) e comprimento do bico (0,809), enquanto que o eixo 2 correlaciona-se negativamente com as variáveis altura do bico (-0,844) e largura do bico (-0,581) (Figura 8). Além disso, os escores do PC1 para *P. papua* são significativamente maiores que de *P. antarcticus* ($t_{57,56} = 229$; $p < 0,001$), indicando

que peso e comprimento do bico de *P. papua* são maiores que *P. antarcticus* (Figura 9), porém *P. antarcticus* tem o bico mais alto e mais largo. Tais diferenças morfológicas podem explicar as diferenças de forrageio.

Sobreposição de nicho trófico

A Análise Discriminante resultou em 1 função, a qual explica 100% da variação dos dados (Correlação Canônica = 0,631, $p < 0,001$) e é representada pelas variáveis *E. superba* (-0,622), *E. crystallophias* (-0,347), *E. frigida* (-0,207), *L. nudifrons* (0,331), *P. antarcticum* (0,405) e *H. antarcticus* (0,793) (Figura 10). Os centroides resultantes foram 0,577 e -1,139 para a espécie *P. papua* e *P. antarcticus*, respectivamente, portanto o pinguim-papua está correlacionado positivamente com as variáveis *L. nudifrons*, *P. antarcticum* e *H. antarcticus*, enquanto que o pinguim-antártico está correlacionado positivamente com as variáveis *E. superba*, *E. crystallophias* e *E. frigida*. A espécie de peixe *Harpagifer antarcticus* foi o item alimentar com maior representatividade (687), seguido das espécies *Lepidonotothen nudifrons* e *Pleuragramma antarcticum* (236 e 225), respectivamente. A distribuição de frequência dos escores resultantes da Análise Discriminante mostra que existe uma leve sobreposição entre as espécies (Figura 11), o que é corroborado pela análise de sobreposição de nicho. O índice de sobreposição observado (0,48) foi significativamente ($P < 0,001$) maior que o estimado por simulação (0,084), ou seja, se a utilização de itens fosse aleatória, a sobreposição entre as espécies seria próxima de zero.

Discussão

A dieta das duas espécies de pinguins estudadas foi quase que exclusivamente baseada em krill-antártico *E. superba* (69% *P. papua* e 98% *P. antarcticus*) assim como em outras ilhas do Arquipélago das Shetlands do Sul (Croxall & Furse 1980; Volkman 1980; Jablonski 1985; Trivelpiece *et al.* 2003; Miller *et al.* 2010; Polito *et al.* 2011) e Orcadas do Sul ((Lishman 1985; Lynnes *et al.* 2004; Rombolá *et al.* 2010; Rombolá *et al.* 2012). Outras espécies de pinguins antárticos *P. adeliae* e *E. chrysolophus*, também têm como principal recurso alimentar o krill-antártico, na dieta (Croxall *et al.* 1999; Lynnes *et al.* 2004; Chapmann *et al.* 2010).

Outro crustáceo amplamente encontrado na dieta dos Spheniscidae na região Antártica é o *T. gaudichaudii*, considerado o amphípoda mais abundante do Oceano Austral (Mackey *et al.* 2012), também consumido por outras espécies como *Pygoscelis adeliae*, *Eudyptes chrysolophus* e *Eudyptes chrysocome* (Croxall & Furse 1980; Lynnes *et al.* 2004; Clausen & Pütz 2003) enquanto que para a Ilha Elefante é registrado em pequenas proporções somente na dieta de *P. papua*. Além dos crustáceos encontrados na dieta, os octópodes do gênero *Paraledone* são endêmicos, distribuídos largamente no Oceano Antártico (Allock & Piertney 2002) e mais presente nas Ilhas Georgias do Sul (Xavier & Cherel 2009), entretanto não há registros da presa *Paraledone turqueti* na dieta de pinguins, provavelmente devido à escassez de estudos relacionados a esta espécie e às recentes descobertas para o gênero *Paraledone*, na região da Antártica (Allock *et al.* 2007), dificultando a identificação. Em estudos realizados com animais marinhos como a foca de weddell *Leptonychotes weddellii* (Daneri *et al.* 2012) e a raia *Amblyraja georgiana* o octópode é encontrado com mais frequência (Main & Colins 2011).

As espécies de peixe da família Notothenidae foram as presas com maior representatividade na dieta de *P. papua*, assim como nas Orcadas do Sul (Coria *et al.* 2000), também podendo ser encontrada na dieta de outras espécies de aves marinhas como, por exemplo, o *Phalacrocorax atriceps* (Casaux & Barrera-Oro 1996; Casaux & Ramon 2002). As espécies de peixe *Champsocephalus gunnari* e *Harpagifer antarcticus* foram as mais frequentes encontradas na dieta do *P. papua* na Ilha Elefante, e pouco frequente na Ilha Livingston (Lesroël *et al.* 2004). Além dos otólitos registrados, também foram encontrados evidências de peixes como escamas, esta evidência sugere que a biomassa de peixe consumida pelos adultos poderá digerir completamente mesmo antes destes retornarem á colônia e alimentarem seus filhotes.

De acordo com outros estudos realizados, a dieta do *P. papua* varia amplamente de acordo com o local (Lesroël *et al.* 2004; Miller *et al.* 2010), mas o krill tende a ser o item mais frequente, principalmente em regiões onde o krill-antártico é abundante (Volkman *et al.* 1980). Exceto em um estudo realizado por Coria *et al.* (2000), o qual o grupo peixe foi o item de maior importância na dieta,

enquanto que nas Ilhas Falklands, os cefalópodes foram mais frequentes na dieta do *P. papua* (Pütz *et al.* 2001).

Em geral, a variação da composição da dieta é atribuída às alterações na dinâmica populacional da espécie-presa, e assim, nos fornece informações a cerca dos níveis inferiores da cadeia trófica até os predadores de topo. De acordo com Reid & Measures (1998), pode-se afirmar que existe uma relação do comprimento da carapaça e o comprimento total do krill, uma vez que a carapaça cresce juntamente com o restante do corpo inteiro do indivíduo. Além disso, o krill-antártico *Euphausia superba* é sexualmente dimórfico, as fêmeas têm o comprimento e a largura da carapaça maiores quando comparados com machos adultos (Goebel *et al.* 2007), confirmando os resultados obtidos neste estudo de que o pinguim-papua ingere tamanhos maiores de krill-antártico, e muito provavelmente pelo fato de que no período de verão a população de adultos krill se concentre próximo à plataforma continental (Nicol 2006), local de forrageio do *P. papua*. No entanto, também no período de verão, as fêmeas realizam migrações verticais para desova até águas mais profundas e distanciando-se da plataforma continental (Trathan *et al.* 1993; Nicol *et al.* 2000). Isto explicaria o fato de que o *P. antarcticus* ingere krills fêmeas muito maiores do que o *P. papua*, uma vez que o *P. antarcticus* forrageia em zonas pelágicas e mais distantes da plataforma continental. Estudo realizado por Lynness *et al.* (2004) indica que o *P. antarcticus* também consome krills maiores comparados com as presas consumidas por *P. adeliae*, do mesmo modo que foi encontrado maior quantidade de fêmeas de krill. Além disso, as medidas de comprimento, largura da comissura, altura e largura do bico e peso do pinguim confirmam que o pinguim-papua tem medidas de comprimento do bico maiores, enquanto o *P. antarcticus* tem o bico mais alto e mais largo.

Existem teorias a cerca da sobreposição de nicho trófico através de competição interespecífica que predizem que uma total sobreposição do nicho pode levar a uma competição insustentável, e por consequência uma das populações pode falhar (Hardin 1960). No entanto, a sobreposição em níveis menores permite que a competição interespecífica seja suavizada, de modo que haja uma partição dos recursos naturais pelas espécies. Os pinguins antárticos, *Pygoscelis papua*, *P. antarcticus*, *P. adeliae*, *Eudyptes chrysolophus*, têm sido grandes exemplos de espécies simpátricas que coexistem nas

diversas regiões da Antártica (Lynnes et al. 2004; Forcada et al. 2006; Miller et al. 2010). Especificamente, o pinguim-papua e pinguim-antártico, compartilham o mesmo habitat para construção de ninhos e consomem principalmente o krill-antártico (Croxall & Furse 1980; Volkman 1980; Jablonski 1985; Trivelpiece et al. 2003; Miller et al. 2010). Segundo Miller et al. (2010), estas características indicam, suficientemente, que há uma sobreposição no nicho ecológico entre essas duas espécies. Entretanto, assim como observado neste e em outros estudos, existe uma diferenciação de ambas as espécies, quanto aos recursos alimentares ingeridos. Assim como na Ilha Elefante, Volkman et al. (1980) registraram que o pinguim-papua consome mais peixes do que o pinguim-antártico e estudo realizado por Miller & Trivelpiece (2007) registraram consumo de krill-antártico de tamanhos maiores e maior quantidade de fêmeas, também para o pinguim-papua. Assim, é esperado que houvesse uma sobreposição de nicho trófico das espécies pela utilização dos mesmos recursos alimentares, uma vez que estas ocorrem simpatricamente na mesma região. Contudo, autores apontam que as populações têm sido reguladas pelas mudanças ambientais e, portanto, estas espécies vêm sofrendo uma trajetória distinta de nicho realizado (Miller et al. 2010).

O papel dos Spheniscidae é particularmente importante em regiões em que as interações da exploração de krill e os efeitos das mudanças climáticas apresentam desafios-chave para compreender o futuro status do ecossistema marinho. São considerados como indicadores de qualidade de ambiental, além de refletirem as consequências das mudanças no ecossistema, também mostram as causas dessas alterações e fornecem informações de alteração nos níveis tróficos inferiores que não são passíveis de medição direta.

Conclusão

Este estudo demonstra que a variação específica dos nichos tróficos ocupados pelas espécies pode ser definida pelo comportamento de forrageio e pela seleção dos recursos alimentares de cada espécie. *P. papua* que reproduz na Ilha Elefante, mostra uma grande plasticidade ecológica, forrageando em recursos de ambientes demersais. Isto confirma que a espécie é oportunista, e possui habilidades para forragear em diferentes áreas oceânicas e preda em recursos distintos, enquanto que

a espécie *P. antarcticus*, possui hábitos mais restritos quanto à alimentação, predando quase que exclusivamente sobre krill-antártico.

É importante a recomendação destas espécies como indicadores de qualidade ambiental, adicionando questões como a variabilidade local, pois o nicho trófico pode alterar ao longo do tempo como alterações na quantidade e na disponibilidade de presas e alterações ambientais. Além disso, futuros estudos devem levar em conta os diferentes habitats explorados pelas espécies ao longo do espaço-tempo para responder questões como as flutuações populacionais, como o declínio regional recentemente observado de *P. antarctica* e o aumento de *P. papua* em diferentes regiões da Antártica. Assim como a importância de pesquisas a cerca dos predadores de topo de cadeia, a base da cadeia alimentar na Antártica também é componente essencial para futuros estudos. Principalmente, durante o período de reprodução das aves marinhas, quando se tem escassez de informações da sobrevivência de adultos e larvas de krill no período de verão e outono, uma vez que as banquisas de gelo do mar estão ausentes ou pouco desenvolvidas.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Antártico de Pesquisas Ambientais – INCT-APA, CNPq, Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio de Janeiro – FAPERJ, Programa Antártico Brasileiro, Secretaria Interministerial para os Recursos do Mar – SECIRM e Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Referências

- ALLOCK, A.L., STRUGNELL, J.M., PRODÖHL, P., PIATKOWSKI U. & VECCHIONE, M. 2007. A new species of *Paraleledone* (Cephalopoda: Octopodidae) from Antarctic Peninsula Waters. *Polar Biology*, **30**, 883–893.
- ALLOCK, A.L. & PIERTNEY, S.B. 2002. Evolutionary relationships of Southern Ocean Octopodidae (Cephalopoda: Octopoda) and a review diagnosis of *Paraleledone*. *Marine Biology*, **140**, 129-135.

- BARGAGLI, R. 2008. Environmental contamination in Antarctic ecosystems. *Science of the Total Environment*, **400**, 212–226.
- BARRETT, R.T., CAMPHUYSEN, K., ANKER-NILSSEN, T., CHARDINE, J.W., FURNESS, R.W., GARTHE, S., HÜPPOP, O., LEOPOLD, M., MONTEVECCHI, W.A. & VEIT, R.R. 2007. Diet studies of seabirds: a review and recommendations. *ICES Journal of Marine Science*, **64**, 1675-1691.
- BIRDLIFE INTERNATIONAL. 2012. *Pygoscelis antarcticus*. In: IUCN 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.2. <www.iucnredlist.org>. Acessado em 26 Dezembro 2012.
- BIRDLIFE INTERNATIONAL. 2012. *Pygoscelis papua*. In: IUCN 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.2. <www.iucnredlist.org>. Acessado em 26 Dezembro 2012.
- BUGONI, L. & VOOREN, CM. 2004. Feeding ecology of the Common Tern *Sterna hirundo* in a wintering area in southern Brazil. *Ibis*, **146**, 438–453.
- CASAUX, R.J. & BARRERA-ORO, E. 1996. Fish in the diet of the blue-eyed shag *Phalacrocorax atriceps* at the South Shetlands Islands: six years of monitoring studies. WG-EMM-96/31, CCAMLR, Hobart, Australia
- CASAUX, R.J. & RAMÓN, A. 2002. The diet of the South Georgia shag *Phalacrocorax georgianus* at the South Orkney Islands in five consecutive years. *Polar Biology*, **25**, 557–561.
- CASAUX, R.J., FAVERO, M., CORIA, N. & SILVA, P. 1997. Diet of the imperial cormorant *Phalacrocorax atriceps*: comparison of pellets and stomach contents. *Marine Ornithology*, **25**, 1-4.
- CCAMLR 2004. Standard methods for monitoring parameters of predators species. CCAML Ecosystem Monitoring Program. CCAMLR, Hobart, Australia.
- CHAPMAN, E.W., HOFMANN, E., PATTERSON, D. & FRASER, W. 2010. The effects of variability in Antarctic krill (*Euphausia superba*) spawning behavior and sex/maturity stage

- distribution on Adélie penguin (*Pygoscelis adeliae*) chick growth: A modeling study. *Deep-Sea Research II*, **57**, 543–558.
- CLARKE, A., BARNES, D. & HODSON, D. 2005. How isolated is Antarctica? *TRENDS in Ecology and Evolution*, **1**, 20-1.
- CLARKE, M. R. 1986. *A handbook for identification of cephalopod beaks*. Oxford University Press, 273 pp.
- CLAUSEN, A. & PÜTZ, K. 2003. Winter diet and foraging range of gentoo penguins (*Pygoscelis papua*) from Kidney Cove, Falkland Islands. *Polar Biology*, **26**, 32–40.
- CORIA, N.R., LIBERTELLI, M.M., CASAUX, R. & DARRIEU, C.A. 2000. Inter-annual variation in the autumn diet of the Gentoo penguin *Pygoscelis papua* at Laurie Island, Antarctica. *Waterbirds*, **23**, 511–517.
- COTTIN, M., RAYMOND, B., KATO, A., AMÉLINEAU, F., LE MAHO, Y., RACLOT, T., GALTON-FENZI, B., MEIJERS, A. & ROPERT-COUDERT, Y. 2012. Foraging strategies of male Adélie penguins during their first incubation trip in relation to environmental conditions. *Marine Biology*, **159**, 1843–1852.
- CROLL, D.A., DEMER, D.A., HEWITT, R.P., JANSEN, J.K., GOEBEL, M.E. & TERSHY, B.R. 2006. Effects of variability in prey abundance on reproduction and foraging in chinstrap penguins (*Pygoscelis antarcticus*). *Journal of Zoology*, **269**, 506-513.
- CROXALL, J.P. 1984. Seabirds. *Antarctic Ecology* (Ed. by R. M. Laws), vol. 2, pp. 533-619. Academic Press, London.
- CROXALL, J.P. & FURSE, J.R. 1980. Food of Chinstrap penguins *Pygoscelis antarcticus* and macaroni penguins *Eudyptes chrysolopus* at Elephant Island Group, South Shetland Islands. *Ibis*, **122**, 237–245.
- CROXALL, J.P., REID, K. & PRINCE, P.A. 1999. Diet, provisioning and productivity responses of marine predators to differences in availability of Antarctic krill. *Marine Ecology Progress Series*, **177**, 115-131.

- CROXALL, J.P., TRATHAN P.N. & MURPHY, E.J. 2002. Environmental change and Antarctic seabird populations. *Science*, **297**, 1510-1514.
- DANERI, G.A., CARLINI, A.R., NEGRI, A., ALLCOCK, A.L. 2012. Predation on cephalopods by Weddell seals, *Leptonychotes weddellii*, at Hope Bay, Antarctic Peninsula. *Polar Biology*, **35**, 585–592.
- ERDMANN, E.S., CHRISTINE, A.R., PATTERSON-FRASER, D.L. & FRASER, W.R. 2011. Characterization of winter foraging locations of Adélie penguins along the Western Antarctic Peninsula, 2001–2002. *Deep-Sea Research II*, **58**, 1710–1718.
- FAO. 1985. FAO species identification sheets for fishery purposes. Southern Ocean: Fishing Areas 48, 58 and 88 (CCAMLR Convention Area). vol. 1, pp. 232. Prepared and published with the support of the Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources, Roma.
- FORCADA, J., TRATHAN, P.N., REID, K., MURPHY, E. J., CROXALL, J.P. 2006. Contrasting population changes in sympatric penguin species in association with climate warming. *Global Change Biology*, **12**, 411–423.
- GOEBEL, M.E., LIPSKY, J.D., REISS, C.S. & LOEB, V.J. 2007. Using carapace measurements to determine the sex of Antarctic krill, *Euphausia superba*. *Polar Biology*, **30**, 307-315.
- GOTELLI, N.J. & ENTSMINGER, G.L. 2001. EcoSim: Null models software for ecology. Versão 7.0. Acquired Intelligence Inc. & Kesey-Bear.
<http://homepages.together.net/~gentsmin/ecosim.htm>.
- HARDIN, G. 1960. The competitive exclusion principle. *Science*, **131**, 1292-1297.
- HARRIS, C.M., CARR, R, LORENZ, K., JONES, S. 2011. Important Bird Areas in Antarctica: Antarctic Peninsula, South Shetland Islands, South Orkney Islands – Final Report. Prepared for BirdLife International and the Polar Regions Unit of the UK Foreign & Commonwealth Office. Environmental Research & Assessment Ltd., Cambridge IBA.
- HECHT, T. 1987. A guide to the otoliths of Southern Ocean Fishes. *South African Journal of Antarctic Research*, **17**, n°1.

- HINKE, J.T., SALWICKA, K., TRIVELPIECE, S.G., WATTERS, G.M. & TRIVELPIECE, W.Z. 2007. Divergent responses of *Pygoscelis* penguins reveal common environmental driver. *Oecologia*, **153**, 845–855.
- JABLONSKI, B. 1985. The diet of penguins on King George Island, South Shetland Islands. *Acta Zoologica Cracoviensia*, **29(8)**, 117–186.
- KOOYMAN, G.L. 2002. Evolutionary and ecological aspects of some Antarctic and sub-Antarctic penguin distributions. *Oecologia*, **130**, 485–495.
- KOKUBUN, N. TAKAHASHI, A., MORI, Y., WATANABE, S. & SHIN, H.C. 2010. Comparison of diving behavior and foraging habitat use between chinstrap and gentoo penguins breeding in the South Shetland Islands, Antarctica. *Marine Biology*, **157**, 811–825.
- LESCROËL, A., RIDOUX, V. & BOST, C.A. 2004. Spatial and temporal variation in the diet of the gentoo penguin (*Pygoscelis papua*) at Kerguelen Islands. *Polar Biology*, **27**, 206–216.
- LISHMAN, G.S. 1985. The food and feeding ecology of Adélie penguins (*Pygoscelis adeliae*) and Chinstrap penguins (*P. antarctica*) at Signy Island, South Orkney Islands. *Journal of Zoology*, **205**, 245–263.
- LYNCH, H.J., RATCLIFFE, N., PASSMORE, J., FOSTER, E. & TRATHAN, P.N. 2012. Sensitivity analysis identifies high influence sites for estimates of penguin krill consumption on the Antarctic Peninsula. *Antarctic Science*, 1-5. doi:10.1017/S0954102012000600
- LYNNES, A.S., REID, K. & CROXALL, J.P. 2004. Diet and reproductive success of Adélie and chinstrap penguins: linking response of predators to prey population dynamics. *Polar Biology*, **27**, 544–554.
- MACKEY, A.P.N., ATKINSON, A., HILL, S.L., WARD, P., CUNNINGHAM, N.J., JOHNSTON, N.M., MURPHY, E.J. 2012. Antarctic macrozooplankton of the southwest Atlantic sector and Bellingshausen Sea: Base line historical distributions (Discovery Investigations, 1928–1935) related to temperature and food, with projections for subsequent ocean warming. *Deep-Sea Research II*, **59(60)**, 130–146.

- MAIN, C.E. & COLLINS, M.A. 2011. Diet of the Antarctic starry skate *Amblyraja georgiana* (Rajidae, Chondrichthyes) at South Georgia (Southern Ocean). *Polar Biology*, **34**, 389–396.
- MICOL, T. & JOUVENTIN, P. 2001. Long-term population trends in seven Antarctic seabirds at Pointe Géologie (Terre Adélie). Human impact compared with environmental change. *Polar Biology*, **24**, 175-185.
- MILLER, A.K., KAPPES, M.A., TRIVELPIECE, S.G. & TRIVELPIECE, W.Z. 2010. Foraging-niche separation of breeding Gentoo and Chinstrap penguins, South Shetland Islands, Antarctica. *The Condor*, **112(4)**, 683-695.
- MILLER, A.K. & TRIVELPIECE, W.Z. 2007. Cycles of *Euphausia superba* recruitment evident in the diet of Pygoscelid penguins and net trawls in the South Shetland Islands, Antarctica. *Polar Biology*, **30**, 1615–1623.
- NICOL, S. 2006. Krill, Currents, and Sea Ice: *Euphausia superba* and its Changing Environment. *BioScience*, **56(2)**, 111-120.
- NICOL, S., KITCHENER, J., KING, R., HOSIE, G.W., DE LA MARE, W.K. 2000. Population structure and condition of Antarctic krill (*Euphausia superba*) off East Antarctica (80–150°E) during the Austral summer of 1995/1996. *Deep-Sea Research II*, **47**, 2489–2517.
- NORTH, A.W., BURCHETT, M.S., GILBERT, C.J. & WHITE, M.G. 1984. Identification of fish from the Southern Ocean by means of otoliths. *Antarctic Survey Bulletin*, **62**, 83-94.
- O'BRIEN, R. M .G. 1974. Meteorological observations on Elephant Island. *British Antarctic Survey Bulletin*, **39**, 21-33.
- PINKAS, L, OLIPHANT, M.S., IVERSON, I.L.K. 1971. Food habits of albacore bluefin tuna and bonito in California waters. *Fish Bulletin California*, **152**, 105–106.
- POLITO, M.J., TRIVELPIECE, W.Z., KARNOVSKY, N.J., NG, E. & PATTERSON, W.P. 2011. Integrating Stomach Content and Stable Isotope Analyses to Quantify the Diets of Pygoscelid Penguins. *PLoS ONE*, **6(10)**, 26642.

- PÜTZ, K., INGHAM, R.J., SMITH, J.G. & CROXALL, J.P. 2001. Population trends, breeding success and diet composition of gentoo *Pygoscelis papua*, magellanic *Spheniscus magellanicus* and rockhopper *Eudyptes chrysocome* penguins in the Falklands Islands. *Polar Biology*, **24**, 793-807.
- QUINTANA, R.D. & CIRELLI, V. 2000. Breeding dynamics of a Gentoo Penguin *Pygoscelis papua* population at Cierva Point, Antarctic Peninsula. *Marine Ornithology*, **28**, 29–35.
- REID, K. & CROXALL, J.P. 2001. Environmental response of upper trophic-level predators reveals a system change in an Antarctic marine ecosystem. *Proceedings of the Royal Society*, **268**, 377-384.
- REID, K & MEASURES, J. 1998. Determining the sex of Antarctic krill *Euphausia superba* using carapace measurements. *Polar Biology*, **19**, 145-147.
- ROMBOLÁ, E.F., MARSCHOFF, E. & CORIA, N. 2010. Inter-annual variability in Chinstrap penguin diet at South Shetland and South Orkneys Islands. *Polar Biology*, **33**, 799–806.
- ROMBOLÁ, E.F., MARSCHOFF, E. & CORIA, N. 2012. Analysis of the sources of variance in the mean size of krill consumed by Chinstrap and Adélie penguins at South Orkney Islands. *Polar Biology*, DOI 10.1007/s00300-012-1201-8.
- SIEGEL, V., BERGSTROMZ, B., MUHLENHARDT-SIEGEL, U. & THOMASSONZ, M. 2002. Demography of krill in the Elephant Island area during summer 2001 and its significance for stocks recruitment. *Antarctic Science*, **14**, 162-170.
- SIEGEL, V. & LOEB, V. 1995. Recruitment of Antarctic krill *Euphausia superba* and possible causes for its variability. *Marine Ecology Progress Series*, **123**, 45-56.
- STONEHOUSE, B. 1975. The Biology of penguins. London, University Park Press. 555 pp.
- TRATHAN, P.N., CROXALL, J.P. & MURPHY, E.J. 1996. Dynamics of Antarctic penguin populations in relation to the inter-annual variability in sea-ice distribution. *Polar Biology*, **16**, 321-330.

- TRATHAN, P.N., PRIDDLE, J., WATKINS, J.L., MILLER, D.G.M., MURRAY, A.W.A. 1993. Spatial variability of Antarctic krill in relation to mesoscale hydrography. *Marine Ecology Progress Series*, **98**, 61–71.
- TRIVELPIECE, W.Z., SALWICKA, K. & TRIVELPIECE, S.G. 2003. Diets of sympatrically penguins from Admiralty Bay, South Shetland Islands, Antarctica, 1981 to 2000. WG-EMM-03/29. CCAMLR Hobart, Australia
- TRIVELPIECE, W.Z., HINKE, J.T., MILLER, A.K., REISS, C.S., TRIVELPIECE, S.G. & WATTER, G.M. 2011. Variability in krill biomass links harvesting and climate warming to penguin population changes in Antarctica. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **108(18)**, 7625-7628.
- WILLIAMS, R & MCELDFOWNEY, A. 1990. A guide to the fish otoliths from waters off the Australian Antarctic Territory, Heard and Macquire Islands. *Anare Research Notes* 75, 173 pp.
- WILSON, R.P. 1984. An improved stomach pump for penguins and other seabirds. *Journal of Field Ornithology*, **55**, 109-112.
- WILSON, R.P. 2010. Resource partitioning and niche hyper-volume overlap in free-living Pygoscelid penguins. *Functional Ecology*, **24**, 646–657.
- WOEHLER, E.J. & CROXALL, J.P. 1997. The status and trends of Antarctic and sub-Antarctic seabirds. *Marine Ornithology*, **25**, 43-66.
- XAVIER, J.C. & CHEREL, Y. 2009. Cephalopod Beak Guide for The Southern Ocean. British Antarctic Survey, Cambridge, UK. 129 pp.
- VOLKMAN, N.J., PRESLER, P. & TRIVELPIECE, W.Z. 1980. Diets of pygoscelid penguins at King George Island, Antarctica. *Condor*, **82**, 373–378.

Tabela 1. Equações de regressão utilizadas para o cálculo do comprimento total (CT) dos peixes, comprimento do manto (CM) dos octópodes e massa corporal (M) das espécies de peixe e cefalópodes ingeridas. Com base no comprimento do otólito (CO) para os peixes e comprimento do escudo inferior para os polvos (CEI). As medidas encontram-se em milímetros (mm) e a massa em gramas (g).

Espécies	Comprimento Total/ Comprimento do Manto	Massa
Perciformes		
<i>Tematomus newnesi</i> ¹	CT=58,14674CO+37,74691	M=8,43x10 ⁻⁶ CT ^{3,127}
<i>Lepidonotothen nudifrons</i> ²	SL=33,78CO ^{0,96}	M=4,01x10 ⁻⁷ CT ^{3,81}
<i>Pleuragramma antarcticum</i> ¹	CT=76,67621CO+17,05014	M=2,71x10 ⁻⁶ CT ^{3,200}
<i>Lepidonotothen squamifrons</i> ¹	CT=58,01994CO-90,11051	M=5,00x10 ⁻⁶ CT ^{3,217}
<i>Notothenia rossi</i> ¹	CT=82,58219CO+43,68991	M=3,366x10 ⁻⁶ CT ^{3,306}
<i>Trematomus loennbergi</i> ¹	CT=48,87498CO+4,405789	M=1,42210 ⁻⁶ CT ^{3,476}
<i>Electrona antarctica</i> ¹	CT=42,69686CO+0,278033	M=9,53x10 ⁻⁶ CT ^{3,080}
<i>Harpagifer antarcticus</i> ³	CT=3,268603+1,812654CO	M=-123,1464*CT ^{-0,5804228} +(45,39072)
<i>Champscephalus gunnari</i> ¹	CT=96,67480CO-20,02165	M=1,48x10 ⁻⁶ CT ^{3,283}
Octopoda		
<i>Paraledone turqueti</i> ⁴		ML=17,70487+13,32812CEI

Fontes: ¹Williams & McEldowney (1990), ²Hecht (1987), ³Casaux et al. (1997) e ⁴Xavier & Cherel (2009).

Tabela 2. Número de indivíduos e média da massa (g) de presas encontradas nas espécies, *Pygoscelis papua* e *Pygoscelis antarcticus*, na Ilha Elefante.

Presas	<i>P. papua</i>						<i>P. antarcticus</i>					
	Número			Massa (g)			Número			Massa (g)		
	Média	Min	Máx	Média	Min	Máx	Média	Min	Máx	Média	Min	Máx
Ordem Euphausiacea												
<i>E. superba</i>	80	1	347	69	3	117	75,25	1	289	35,54	5	200
<i>E. chrystallorophias</i>	6,2	3	14	5,16	0,3	3,2	5,25	2	12	10	5	15
<i>E. frigida</i>	-	-	-	-	-	-	40,2	2	115	14,02	0,03	42
Ordem Amphipoda												
<i>Themisto gaudichaudii</i>	15	1	49	1,31	0,08	4,54	-	-	-	-	-	-
Ordem Octopoda												
<i>Pareledone turqueti</i>	5,25	2	10	96,47	73,02	122	-	-	-	-	-	-

Tabela 3. Composição da dieta de *Pygoscelis papua* e *Pygoscelis antarcticus* dos itens identificados em nível específico, durante dois períodos reprodutivos na Ilha Elefante, Antártica.

Presas	Frequência de Ocorrência FO %		Número N%		Contribuição em Massa (g) M%		Índice de Importância Relativa IIR	
	<i>P. papua</i>	<i>P. antarcticus</i>	<i>P. papua</i>	<i>P. antarcticus</i>	<i>P. papua</i>	<i>P. antarcticus</i>	<i>P. papua</i>	<i>P. antarcticus</i>
Ordem Euphausiacea								
<i>Euphausia superba</i>	69	98	95,60	97,46	21,82	97,95	8101,98	19150,54
<i>Euphausia crystallorophias</i>	8	11	0,46	0,57	0,36	1,70	6,56	24,97
<i>Euphausia frigida</i>	-	4	-	1,65	-	2,10	-	15,01
Ordem Perciformes								
<i>Trematomus newnesi</i>	1,78	-	0,030	-	3,8	-	6,82	-
<i>Lepidonotothen nudifrons</i>	7,14	-	0,37	-	11,87	-	87,39	-
<i>Pleuragramma antarcticum</i>	5,36	1,4	0,31	0,014	1,49	0,07	9,65	0,12
<i>Lepidonotothen squamifrons</i>	3,57	-	0,18	-	0,53	-	2,53	-
<i>Notothenia Rossi</i>	8,93	1,4	0,08	0,014	13,75	0,07	123,50	0,12
<i>Pseudonotothen loennbergii</i>	1,78	-	0,01	-	0,38	-	0,69	-
<i>Electrona antarctica</i>	1,78	-	0,01	-	0,017	-	0,05	-
<i>Harpagifer antarcticus</i>	14,28	2,81	0,92	0,123	1,65	0,14	36,70	0,74
<i>Champscephalus gunnari</i>	14,28	1,4	0,56	0,164	11,73	0,07	175,50	0,33
Ordem Amphipoda								
<i>Themisto gaudichaudii</i>	0,08	-	1,12	-	1,70	-	0,23	-
Ordem Octopoda								
<i>Paraledone turqueti</i>	0,07	-	0,31	-	32,68	-	2,31	-

Tabela 4. Número amostral, média do comprimento do otólito (CO) e média da massa reconstituída (MR) dos peixes identificados a nível específico, encontrados nas duas espécies de pinguins reprodutores da Ilha Elefante, Antártica.

Presas	<i>P. papua</i>			<i>P. antarcticus</i>		
	N	Média CO (mm)	Média MR (g)	N	Média CO (mm)	Média MR (g)
Nototothenidae						
<i>Trematomus newnesi</i>	2	(2,0-2,3)	84,32 ± 0			
<i>Lepidonotothen nudifrons</i>	25	3,2 (1,7-4,6)	20,211 ± 18,8			
<i>Pleuragramma antarcticum</i>	21	0,8 (0,7-0,9)	3,15 ± 0,67	1	0,99	5,39
<i>Lepidonotothen squamifrons</i>	12	2,3 (2,0-2,9)	1,9 ± 2,25			
<i>Notothenia Rossi</i>	5	2,0 (1,5-2,6)	121,73 ± 103,57	1	1,72	107,3
<i>Pseudonotothen loennbergii</i>	4	1,4 (1,4-1,3)	4,14 ± 0,29			
Myctophidae						
<i>Electrona antarctica</i>	1	0.9	0.73			
Harpagiferidae						
<i>Harpagifer antarcticus</i>	63	1,1 (0,7-2,1)	1,15 ± 3,94	9	1,2 (0,9-1,3)	1,48 ± 3,3
Channichthyidae						
<i>Champocephalus gunnari</i>	38	1,3 (0,9-2,5)	9,18 ± 15,34	12	1,4 (0,9-1,8)	9,02 ± 4,9
Total	171			23		

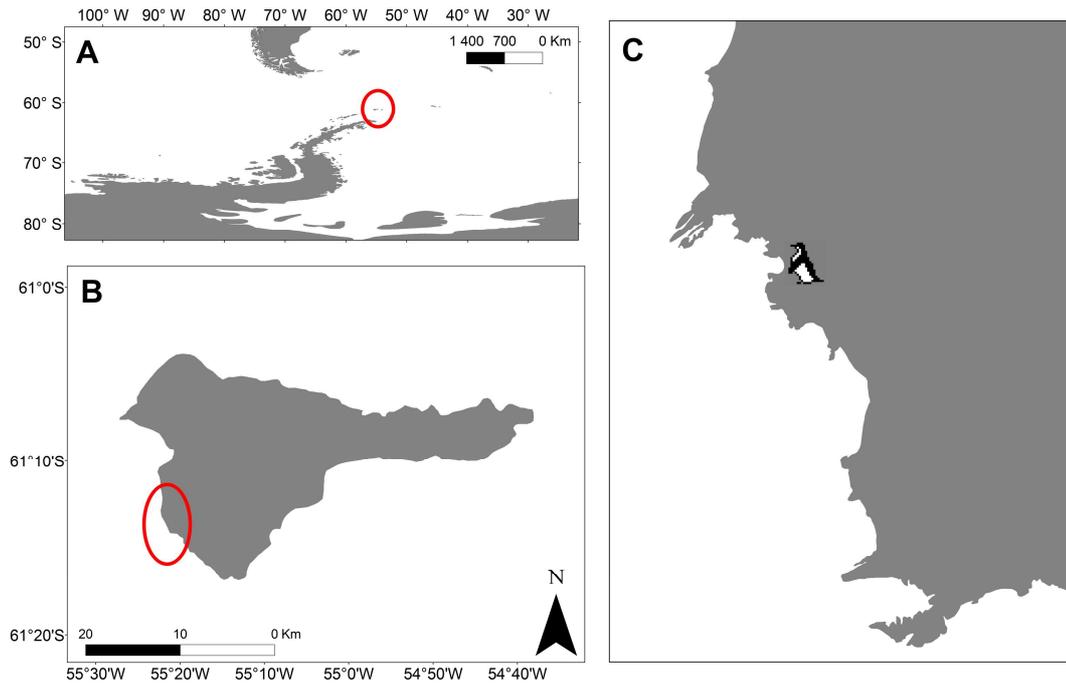


Figura 1. Área de estudo: A. América do Sul, Península Antártica, Arquipélago das Shetlands do Sul e Ilha Elefante em círculo; **B.** Ilha Elefante e Stinker Point em círculo; **C.** Região de Sinker Point.

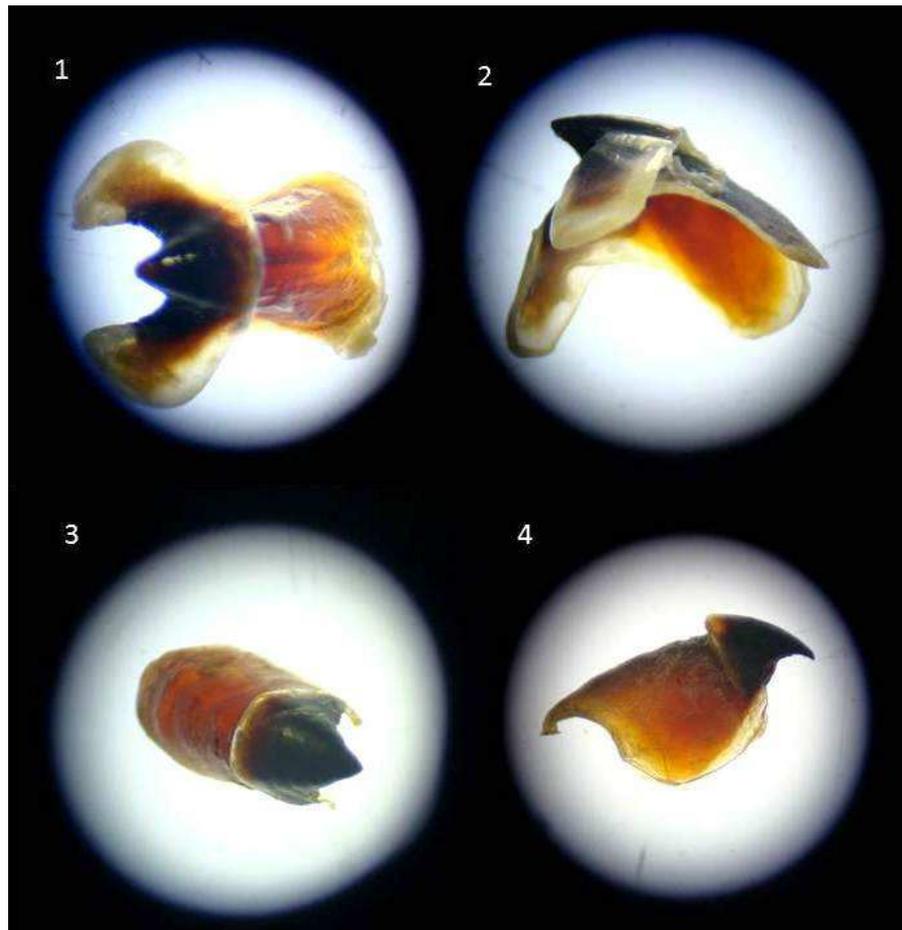


Figura 2: Bicos de queratina do Octopode *Pareledone turqueti*: 1 e 2: bicos inferiores, 3 e 4: bicos superiores.



Figura 3. Espécie de crustáceo *Themisto gaudichaudii* encontrada na dieta do *Pygoscelis papua*, na Ilha Elefante, Antártica.



Figura 4: Bicos de queratina pertencentes a espécie *Paraledone turqueti*, encontrados na dieta de *P. papua* na Ilha Elefante, Antártica.

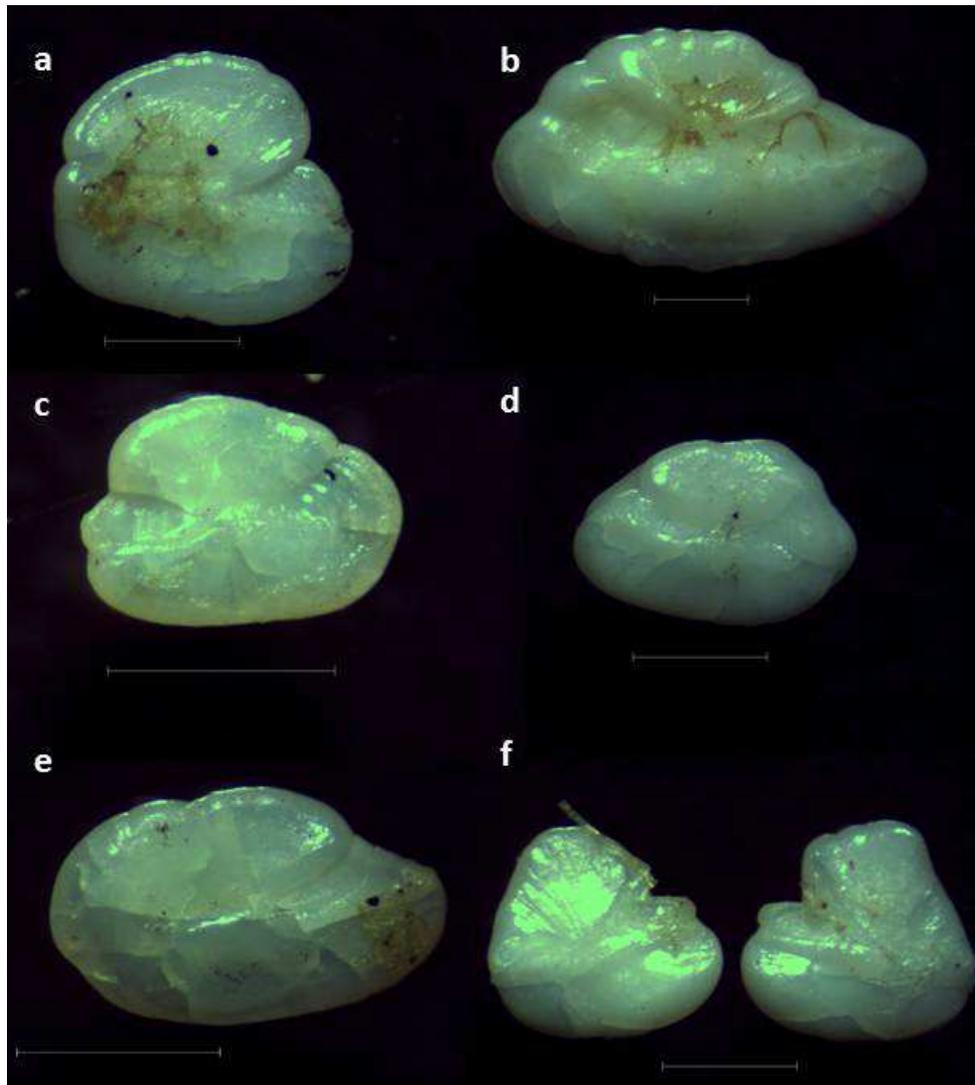


Figura 5. Otólitos saggitae. **a.** *Trematomus newnesi*, **b.** *Lepidonotothen nudifrons*, **c.** *Notothenia rossi*,
d. *Lepidonotothen squamifrons*, **e.** *Harpagifer antarcticus* e **f.** *Champscephalus gunnari*.



Figura 6. Larvas de *Glyptonodus antarcticus*, encontradas na dieta de *Pygoscelis papua*, na Ilha Elefante, Antártica.

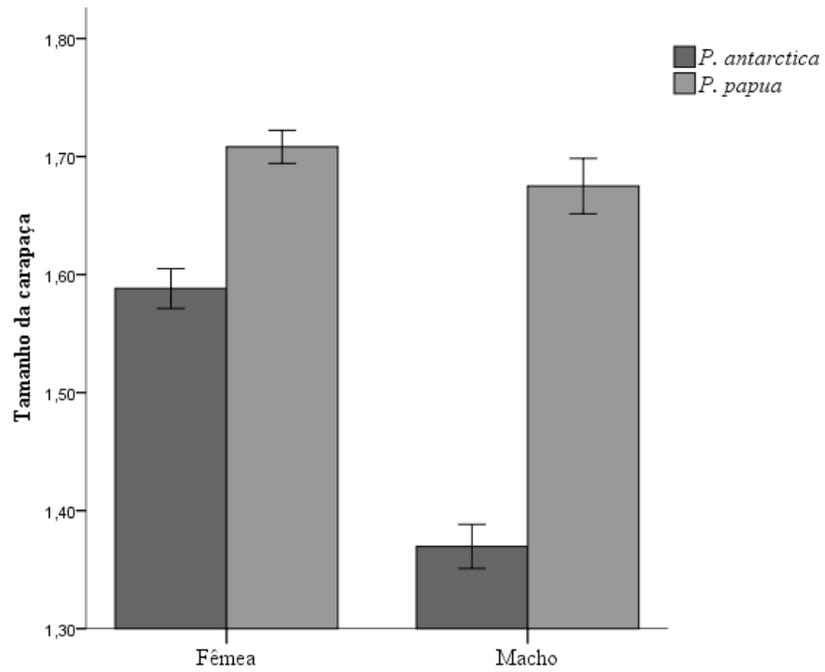


Figura 7. Relação entre o tamanho da carapaça (mm) e sexo de krill-antártico (*Euphausia superba*), entre as espécies de pinguins, *P. papua* e *P. antarcticus* na Ilha Elefante, Antártica.

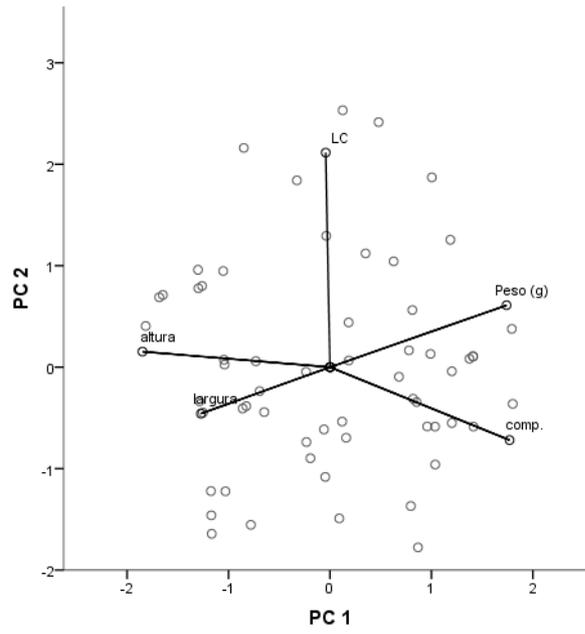


Figura 8. Análise de Componentes Principais, PCA com as variáveis: peso (g), comprimento do bico (comp.), largura da comissura (LC), altura e largura do bico, das duas espécies de pinguins, na Ilha Elefante, Antártica.

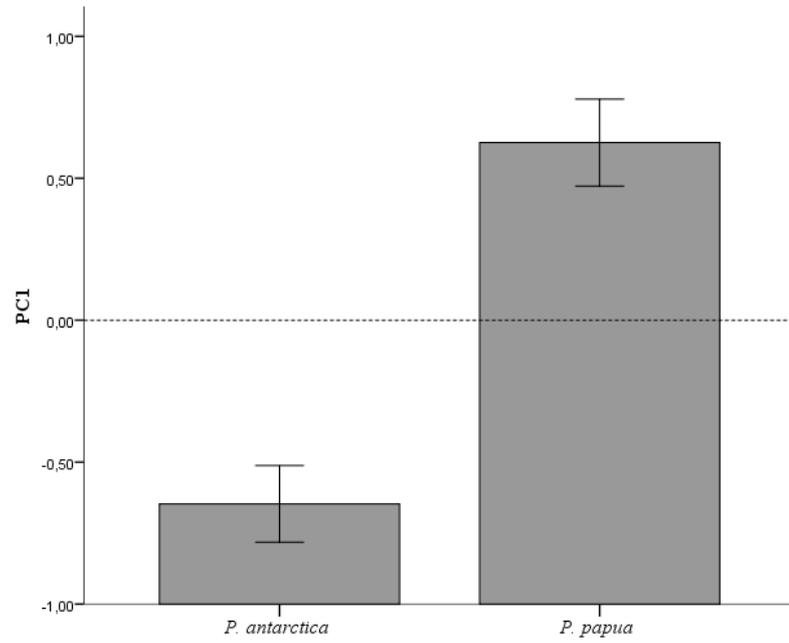


Figura 9. Os escores da PC1 são comparados positivamente com o *P. papua*, e negativamente com o pinguim-antártico *P. antarcticus*. Linha indica o limiar entre as variações positivas e negativas.

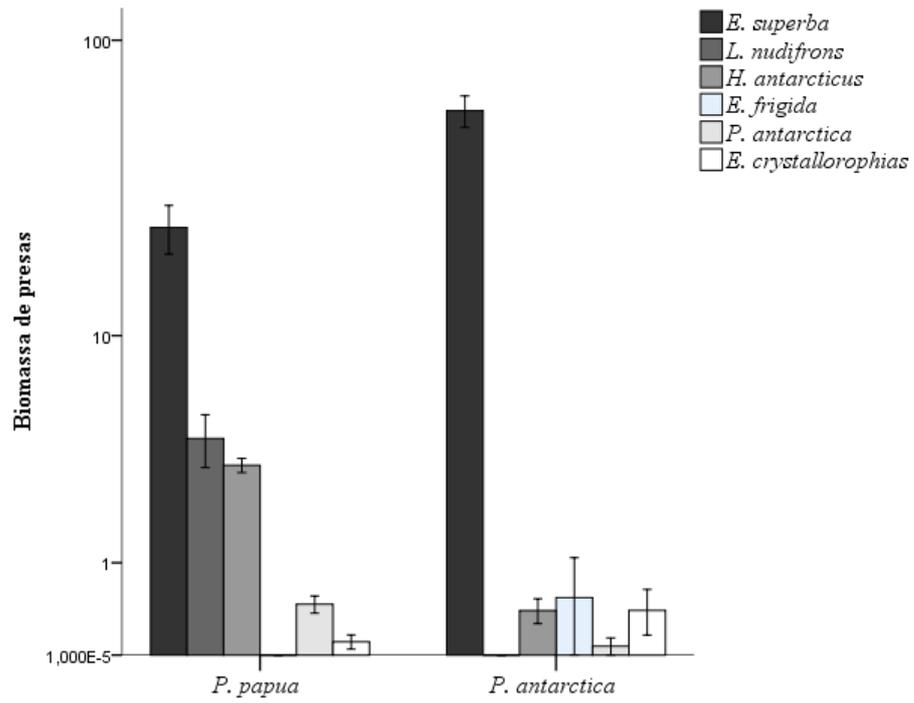


Figura 10. Biomassa (g) dos recursos alimentares mais frequentes na dieta dos pinguins *P. papua* e *P. antarcticus*, na Ilha Elefante, Antártica. Análise Discriminate com a média da biomassa dos itens alimentares.

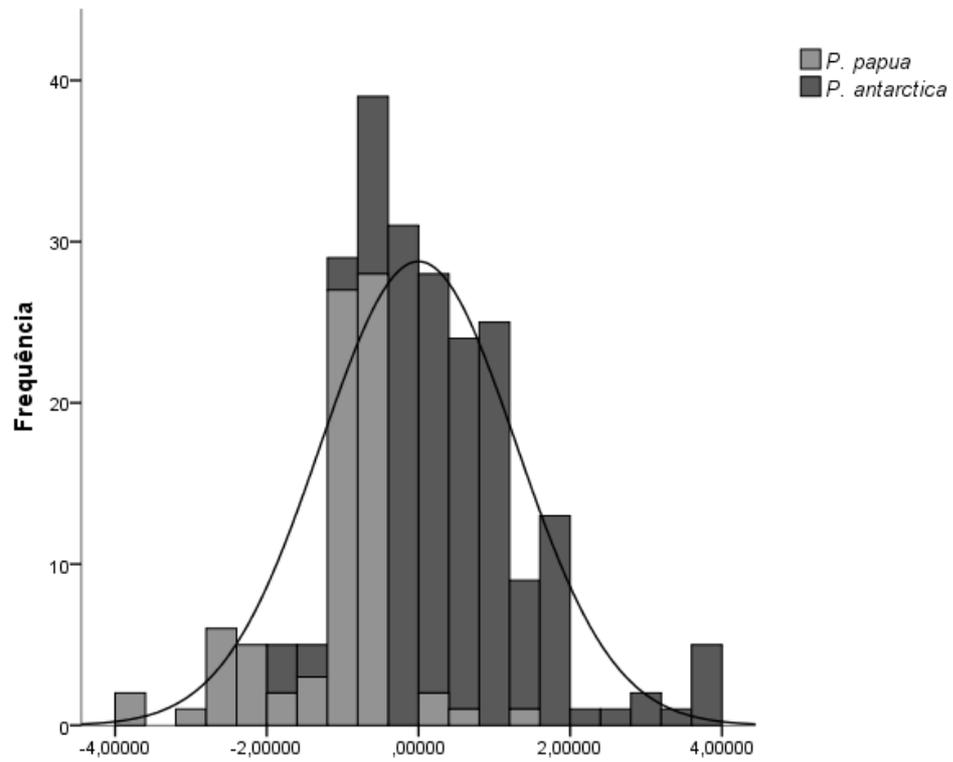


Figura 11. Distribuição de frequência dos escores resultantes da Análise Discriminante entre as espécies de pinguins em estudo.

À procura de krill: variação de forrageio do pinguim-antártico *Pygoscelis antarcticus* na Ilha Elefante.

Resumo. A ecologia do forrageio das espécies de aves marinhas é um componente essencial para o monitoramento dos ecossistemas nos oceanos do sul, especialmente para traçar uma tendência no uso de habitats pelas espécies. O pinguim-antártico (*Pygoscelis antarcticus*) se alimenta quase que exclusivamente de krill (*Euphausia superba*) durante o período de reprodução, portanto é provável que o comportamento do pinguim-antártico seja influenciado pelo comportamento e distribuição de krill-antártico no oceano. Além disso, variações de áreas de forrageio em menor escala e variações individuais devem existir em função dos fatores que agem sobre uma população. Para tanto, o objetivo deste trabalho é avaliar a variação individual do habitat de forrageio utilizado por *P. antarcticus* e avaliar o quanto do uso destes habitats é influenciado pela variação na produtividade e na temperatura superficial do mar. O estudo foi desenvolvido na região de Stinker Point na Ilha Elefante, Antártica, (61°07'31"S/55°19'26"W). O monitoramento dos pinguins através de geolocalizadores foi realizado no período correspondente ao verão austral, de dezembro de 2011 a março de 2012. Os aparelhos foram fixados nas penas na parte inferial dorsal do animal com utilização de fita Tesa. A Densidade de Kernel aponta duas grandes áreas de forrageio distribuídas latitudinalmente em direção à Ilha Elefante, com o centro de maior densidade ao norte da ilha. Existe uma diferença na utilização dos habitats pelos indivíduos, dois indivíduos permaneceram perto da Ilha, enquanto outros dois indivíduos percorreram maiores distâncias, para oeste e sul da ilha. Além disso, as variáveis distância (0,989) e produtividade (0,523) são de grande representatividade. Os pinguins-antárticos são aves marinhas abundantes que ocorrem ao longo da região circumpolar. O entendimento da ecologia do forrageio destas espécies é importante para o monitoramento, conservação e manejo dos ecossistemas.

Palavras-chave. *áreas produtivas, comportamento de forrageio, Euphausia superba, geolocalizador, Ilha Elefante, pinguim-antártico.*

Abstract. The foraging ecology of seabirds' species is an essential component for monitoring the ecosystem in Southern Ocean, especially to trace a tendency in habitat use by species. Chinstrap Penguin (*Pygoscelis antarcticus*) feeds almost exclusively on antarctic krill (*Euphausia superba*) during the breeding season, so it is likely that the foraging behavior of Chinstrap penguin is severely influenced by the behaviour and distribution of antarctic krill in the ocean. In addition, variations in foraging areas at a smaller scale and individual variations should exist on the basis of factors that act upon a population. Therefore, the aim of this study is to evaluate the individual variation of foraging habitat used by *Pygoscelis antarcticus* and evaluate how these habitats use is influenced by variation in productivity and in sea surface temperature. The study was conducted on the Stinker Point region, Elephant Island (61°07'31"S/55°19'26"W). Penguins were monitored by the use of geolocation techniques in the austral breeding summer, December 2011 to March 2012. The devices were fixed in feathers of the bottom dorsal part of the animal back with Tesa tape. The Kernel Density showed two large foraging areas, with the highest centre of density on north of the Island. There is a difference in habitat between individuals, two individuals remained closer to the island, while two went farther, to west and to south. In addition, the variables distance (0,989) and productivity (0,523) are variables with greater representativeness, among the set. Chinstrap penguins are abundant seabirds that range widely across circumpolar regions. Understanding the foraging ecology of this specie is important for monitoring and ecosystem conservation and management.

Keywords: *Chinstrap Penguin, Euphausia superba, Elephant Island, foraging behavior, geolocation, productivity areas.*

Introdução

A ecologia do forrageio das espécies de aves marinhas é um componente essencial para o monitoramento do ecossistema nos oceanos do sul (CCAMLR 2004), especialmente para traçar uma tendência no uso de habitat pelas espécies (Miller *et al.* 2010; Wilson 2010). O conhecimento do uso de habitat pelos predadores de topo de cadeia na Antártica em resposta às variações ambientais é indispensável, principalmente quando as mudanças globais estão agindo sobre esta região. Estudos acerca do comportamento de forrageio de espécies como pinguim-rei *Aptenodytes patagonicus* (Kooyman *et al.* 1992), pinguim-papua *Pygoscelis papua* (Croxall *et al.* 1988), pinguim-antártico *Pygoscelis antarcticus* (Lishman & Croxall 1983), pinguim-de-adélia *Pygoscelis adeliae* (Wilson *et al.* 1991, Whitehead 1989) e pinguim-macaroni *Eudyptes chrysolophus* (Croxall *et al.* 1988), indicam que o esforço de forrageio de cada espécie é explicado por uma série de fatores biológicos e físicos.

Como fatores biológicos, a disponibilidade dos recursos alimentares é um importante fator, influenciando diretamente na dinâmica populacional das espécies antárticas (Trathan, Croxall & Murphy 1996; Reid & Croxall 2001; Lynnes, Reid & Croxall 2004; Forcada *et al.* 2006). Há ainda, as restrições físicas (como as barreiras de gelo no mar), a distribuição das presas em relação aos locais de nidificação, a competição pelos recursos disponíveis, a capacidade fisiológica de cada indivíduo, como manter uma condição corporal favorável e por fim, a necessidade de retornar à colônia para alimentar seus filhotes (Clarke *et al.* 2006). Os pinguins são conhecidos por forragear perto do local de reprodução (Clarke *et al.* 2006), principalmente para minimizar o tempo de forrageio e gasto energético ao retornar à colônia de reprodução. Alonzo *et al.* (2003), demonstraram que as características do forrageio dos pinguins como, gasto energético e tempo, podem alterar sua distribuição oceânica em função do local onde a presa está disponível. Ou seja, a distribuição oceânica dos pinguins estaria fortemente relacionada com o aumento de produtividade primária, abundância de presas, através de processos oceânicos físicos como áreas de frente polares, plataforma continental e barreiras de gelo (Ainley *et al.* 2012).

Conhecido como pinguim-antártico *Pygoscelis antarcticus*, se reproduz nas Ilhas da Scotia e Península Antártica ao sul do paralelo 65° (Stonehouse 1975; Kooyman 2002), foi incluído pela

Comissão para Conservação dos Recursos Vivos Marinhos da Antártica (CCAMLR), e está classificado como “fora de perigo” em nível mundial (Birdlife International 2012). O pinguim-antártico (*P. antarcticus*) se alimenta quase que exclusivamente de krill-antártico (*Euphausia superba*) durante a época de reprodução (Croxall & Furse 1980; Jablonski 1985; Miller *et al.* 2010; Polito *et al.* 2011; Trivelpiece *et al.* 2003; Volkman 1980), portanto é provável que o comportamento de forrageio do *P. antarcticus* seja fortemente influenciado pelo comportamento e distribuição de krill-antártico no oceano, que por sua vez estão claramente associadas com a produtividade oceânica (Atkinson *et al.* 2004). Além disso, variações de áreas de forrageio em menor escala e variações individuais devem existir em função dos fatores que agem sobre uma população. Assim, espera-se que o forrageio dos pinguins-antárticos seja em áreas onde a produtividade primária está em maior escala, ainda que haja uma diferença no forrageio destes indivíduos. Para tanto, o objetivo deste trabalho é avaliar a variação individual do habitat de forrageio utilizado por *P. antarcticus* e avaliar o quanto do uso destes habitats é influenciado pela variação na produtividade e na temperatura superficial do mar.

Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na região de Stinker Point na Ilha Elefante, Antártica, (61°07'31"S/55°19'26"W) (Figura 1). A Ilha Elefante é localizada ao norte do arquipélago das Shetlands do Sul, e, portanto mais exposta às frentes frias vindas do continente Antártico, através do Mar de Weddell (O'Brien 1974), com temperatura média anual de -3°C, sendo 1°C no verão e -10°C no inverno. Com aproximadamente cinco quilômetros de extensão de praia, a região de Stinker Point, é uma das diversas áreas da Ilha Elefante que se apresentam desprovidas de gelo no verão, e serve de área para nidificação de diversas espécies de aves (Harris *et al.* 2011).

Procedimentos

Todos os métodos utilizados na avaliação da dieta de aves marinhas levam em conta os itens alimentares consumidos e o quanto foi ingerido na alimentação. Entretanto, técnicas recentes são

utilizadas através de telemetria, por exemplo, através de aparelhos como geolocalizadores (Figura 2), para registrar o local de forrageio das espécies (Barrett *et al.* 2007). Tais métodos envolvem a captura e recaptura dos indivíduos marcados para fazer download das informações registradas.

O monitoramento dos pinguins através de geolocalizadores foi realizado no período correspondente ao verão austral, de dezembro de 2011 a março de 2012. Foram utilizados oito (8) geolocalizadores Lotek Lat 2900, em pinguins no período reprodutivo (Tabela 1). Os indivíduos foram capturados na colônia de reprodução com utilização de um puçá de mão e imobilizados, para posterior colocação dos aparelhos. Estes foram fixados nas penas da parte inferior dorsal do animal com fita Tesa e marcados com violeta genciana, para que o procedimento não seja repetido em um mesmo animal e para auxiliar na recaptura dos indivíduos marcados.

Após a colocação dos geolocalizadores nos indivíduos, a colônia de reprodução era visitada todos os dias, ou sempre que as condições climáticas permitiam, de modo que houvesse um monitoramento dos indivíduos marcados. A partir da recaptura do aparelho no indivíduo, foi feito download das informações através do software Tag Talk. O software calcula automaticamente as posições geográficas, os pontos geográficos registrados foram filtrados utilizando-se a ferramenta Standard Distance, do ArcGis, através da qual foi calculado o raio de dois desvios padrões da posição média da nuvem de pontos. Todos os pontos fora desse raio foram excluídos das análises. As variáveis extraídas foram: posicionamento geográfico, distância da colônia, profundidade da área utilizada e Densidade de Kernel, extraídas através do software ArcGis. As variáveis, temperatura da superfície da água (SST) e produtividade (CHL) foram extraídas através das imagens de satélites cedidas pelo NOAA. Foram extraídas aleatorizações de 100 pontos em um retângulo considerando o ponto mínimo e máximo em latitude e longitude. Esse procedimento permitiu amostrar áreas onde a densidade de Kernel foi zero, ou seja, áreas que não foram utilizadas pelos indivíduos.

Foi avaliada variação individual através de análise Discriminante pelo SPSS 18 e aplicada uma Generalized Last Squares (GLS), a fim de verificar se a Clorofila e a Temperatura Superficial do Mar explicam a densidade de Kernel. O GLS é aplicado quando as variâncias das observações não são

iguais (heterocasticidade), ou há certo grau de correlação entre as variáveis. Esse método permite controlar o efeito da correlação entre as variáveis, tornando as estimativas mais precisas. Para excluir o efeito da auto correlação espacial, foram utilizados os resíduos de um semi-variograma, pelo procedimento padrão do software SAM – *Spatial Analysis in Macroecology* (Rangel *et al.* 2010). Assim, utilizando um método que leva em conta o efeito da auto correlação espacial, é possível corrigir potenciais tendenciosidades para gerar coeficientes das variáveis explicativas com maior acurácia.

Resultados

Quatro (4) indivíduos de pinguim-antártico reprodutores foram monitorados na Ilha Elefante. O esforço de forrageio dos indivíduos dentro da zona de Frente Polar não foi homogêneo (Figura 3), mas sim, associado com áreas de produtividade oceânica. Os indivíduos A, B e C, foram marcados durante o período de choco, enquanto que o indivíduo D foi marcado no período de crèche (Tabela 2). O indivíduo C percorreu maiores longitudes e, portanto distanciou-se mais da colônia de reprodução, enquanto os demais indivíduos permaneceram em latitudes mais próximas da colônia. Já o indivíduo D utilizou zonas menos profundas, localizadas mais ao sul das áreas de reprodução (Figura 3; Tabela 2). A distância máxima que o indivíduo C forrageou a partir da colônia de reprodução foi de 2.460 km, enquanto os outros indivíduos forragearam em zonas centrais, próximas e localizadas ao norte da colônia de reprodução. Somente um indivíduo foi marcado no período de crèche, o pinguim D, este foi o indivíduo que permaneceu mais dias forragendo no mar, quando comparados com os outros (Tabela 2).

O resultado da densidade de Kernel aponta duas grandes áreas de forrageio distribuídas latitudinalmente em direção à Ilha Elefante, com o centro de maior densidade ao norte da ilha (Figura 3). A Análise discriminante resultou em 2 funções, das quais a função 1 explicou 95,8% da variação dos dados (Correlação Canônica = 0,952; $p < 0,001$) e a função 2 explicou 4,2% da variação dos dados (Correlação Canônica = 0,543; $p = 0,003$) (Figura 4). A Função 1 é representada pelas variáveis distancia da colônia (0.99) e Kernel (-0.28), enquanto a Função 2 é representada pelas variáveis

Profundidade (0.98), Clorofila (CHL) (0.61) e temperatura superficial da água (SST) (-0.44). Na Função 1, o indivíduo C, difere de todos os outros indivíduos, pois percorreu maiores distâncias em zonas de menor densidade. Já na Função 2, os indivíduos A e D, diferiram entre si, de modo que o indivíduo D forrageou principalmente em zonas mais quentes, menos produtivas e mais rasas (Tabela 3, Figura 5).

Os parâmetros utilizados foram $C0 = 0,02$, $C1 = 0,15$ e $a=25$. Embora o ajuste do semi-variograma tenha sido baixo ($R^2=0,002$), o modelo foi significativo ($P=0,005$) (Tabela 4, Figura 6). A variável preditora explicou ($r: 0.215$; $r^2: 0.046$; AIC: 65.683), enquanto que juntas (preditora + autocorrelação), explicaram ($r: 0.658$; $r^2: 0.433$; AIC: 13.644) (Figura 6). A temperatura não explicou a variação da densidade de Kernel, no entanto a Clorofila explicou de maneira significativa, ou seja, existe uma relação entre a distribuição oceânica dos indivíduos marcados com as concentrações de produtividade no mar, quanto maior a produtividade, maior a densidade de Kernel (Tabela 4). Ou seja, áreas produtivas são utilizadas com maior frequência.

Discussão

Apesar de o número amostral ser relativamente pequeno, foi encontrada uma aparente segregação geográfica na área de forrageio dos indivíduos, particularmente na área utilizada pelo indivíduo C, que em período de reprodução com ovo, distanciou-se da colônia, diferentemente dos outros indivíduos. Ao contrário de Green *et al.* (2009), não houve uma diferença de forrageio nos diferentes períodos de criação do filhote. Esperava-se que o indivíduo que percorreu maiores distâncias, estivesse em período de creche, uma vez que neste momento, ambos os indivíduos do casal forrageiam no mar, enquanto que o filhote já pode permanecer sozinho na colônia. Entretanto, não foi observado este comportamento com os indivíduos marcados. O comportamento dos indivíduos de forragear perto da colônia de reprodução já era esperado, assim como visto em outros estudos realizados com pinguins em outras ilhas do Arquipélago das Shetlands do Sul (Trivelpiece *et al.* 1986; Kokubun *et al.* 2010), entretanto, apesar de Kokubun *et al.* (2010), ter registrado o forrageio do pinguim-antártico em mar aberto, a distância observada neste estudo para o indivíduo C, é inesperada

para esta espécie, particularmente, em período de reprodução. A distância máxima que o indivíduo C forrageou a partir da colônia de reprodução foi de 2.460 km, enquanto os outros indivíduos forragearam em zonas centrais, próximas e localizadas ao norte da colônia de reprodução, corroborando com os registros obtidos de pinguim-antártico que reproduzem na Ilha Rei George (Trivelpiece *et al.* 2007; Kokubun *et al.* 2010). Indivíduos desta espécie têm sido registrados com distância entre 20 km até 1300/1500 km, ainda que no período não reprodutivo.

Foram observadas duas grandes áreas de forrageio utilizadas pelos pinguins, as áreas perto e ao norte da colônia de reprodução e outra área a oeste da Ilha Elefante, aproximadamente 2,000 km de distância. Além disso, a associação do hábitat de forrageio do pinguim-antártico com as áreas de produtividade oceânica reflete na disponibilidade de presas no mar. A zona de maior densidade populacional de krill-antártico (*Euphausia superba*) no Atlântico Sul se dá ao redor de ilhas (Nicol 2006), e particularmente, a região norte da Península Antártica apresenta a maior produtividade de krill de toda a Antártica (Atkinson *et al.* 2004). Portanto, é esperado que esses hábitats sejam alvos para as espécies de aves marinhas, principalmente o pinguim-antártico que depende quase exclusivamente do krill-antártico. Porém, através das imagens podemos verificar que no período de amostragem a zona utilizada pelo indivíduo C possuía uma baixa produtividade quando relacionadas com as outras áreas de forrageio. Sugere-se que mesmo, estando em áreas não tão ricas em alimento os indivíduos podem segregar, para assim evitarem a competição intraespecífica.

Além das zonas com maior produtividade primária, Barlow & Croxall (2002) citam às zonas de Frentes Polares (PFZ), como importantes locais na distribuição dos pinguins no oceano. Quantidades significativas de peixes myctophideos, foram encontradas na dieta de outra espécie de pinguim como o pinguim-rei *Aptenodytes patagonicus*, e segundo Clarke (1980), os Myctophideos possuem um maior valor energético comparado com o krill-antártico.

As respostas das aves marinhas às mudanças ambientais se manifestam através de parâmetros demográficos, como a sobrevivência dos adultos, taxa de recrutamento e sucesso reprodutivo (Wilson *et al.* 2001; Hinke *et al.* 2007), que determinam as variações no tamanho populacional. Fatores que influenciam estes parâmetros demográficos incluem fatores climáticos, temperatura do mar,

velocidade e direção do vento, intensidade de tempestades e nevascas, espessura e extensão do gelo marinho e período de congelamento do mar (Croxall *et al.* 2002, Le Bohec *et al.* 2007, Ballerini *et al.* 2009, Forcada & Trathan 2011, Barbraud *et al.* 2012; Sidhu *et al.* 2012). As mudanças climáticas globais, reconhecidamente têm alterado muitos do equilíbrio desses fatores na antártica, desencadeando uma baixa produtividade em diversos setores. De maneira geral, a redução da produtividade média dos oceanos (Gremillet & Boulinier 2009) deverá ter consequências sobre as espécies de pinguins. Particularmente, o pinguim-antártico, tendo uma clara relação com zonas de maior produtividade pode ser afetado mudando sua área de distribuição, como o indivíduo C. Outras espécies de aves marinhas respondem à redução de produtividade ampliando sua área de forrageio e forrageando em distâncias cada vez maiores da colônia (Gremillet & Boulinier 2009, Péron *et al.* 2012). As consequências sobre ecologia populacional não são totalmente compreendidas.

Em estudo realizado por Meyer *et al.* (1997), os autores encontraram que os pinguins-antárticos aumentam o esforço de forrageio para atender as demandas da colônia de reprodução, enquanto que Jansen, Russell & Meyer (2002) constataram que os indivíduos de *Pygoscelis antarcticus* aumentaram o número de viagens de forrageio em resposta ao crescimento do filhote. Ambos os estudos atribuíram o esforço de forrageio dos pinguins em resposta aos filhotes em vez de às mudanças nos recursos disponíveis no oceano. Porém, alguns estudos já mediram os esforços de forrageio dos pinguins e concluíram que o sucesso reprodutivo está diretamente ligado às mudanças na disponibilidade de alimento, ou seja, na abundância de krill disponível (Loeb *et al.* 1997; Lynnes, Reid & Croxall 2004), porém em escalas temporais diferentes (Croll *et al.* 2006), e espécies estreitamente relacionadas. Diferentemente de outras espécies de aves marinhas, os pinguins-antárticos dependem da produtividade de krill associada às banquisas de gelo (Trivelpiece *et al.* 2011). Mudanças nos ciclos climáticos antárticos têm reduzido as populações de krill, e isso tem afetado o sucesso reprodutivo e o recrutamento de várias populações de pinguins-antárticos no Arquipélago das Shetlands do Sul (Trivelpiece *et al.* 2011). Apesar da quantidade amostral neste estudo ser relativamente pequena para interpretação adequada dos padrões observados, o comportamento através de geolocalizadores representa uma técnica útil para inferir a localização espacial das atividades dos pinguins e são

amplamente compatíveis com os de outros estudos de comportamento de forrageio. Assim, é nítida a associação dos indivíduos em áreas onde a produtividade é maior. O efeito da contínua redução da produtividade das águas do Atlântico sul com consequência na redução dos estoques de krill fica evidente quando se assume que este evento pode levar a maiores distâncias percorridas e maior gasto energético por parte dos indivíduos para satisfazer as necessidades energéticas próprias e do filhote.

Conclusão

A telemetria tem sido uma excelente ferramenta para avaliar os habitats de forrageio e migração de aves marinhas, além de informar as áreas prioritárias de produtividade oceânica e de conflito com a pesca comercial, gerando assim conhecimentos essenciais para a aplicabilidade de projetos de manejo e conservação destas áreas. O monitoramento com a telemetria em longo prazo na Ilha Elefante deve fornecer informações essenciais para a nossa compreensão dos efeitos das alterações climáticas nos ecossistemas marinhos antárticos. Pode-se concluir que o pinguim-antártico têm diferentes estratégias individuais de forrageio, e que a associação desta espécie com zonas de produtividade está clara. Entretanto se fazem necessários mais estudos acerca do hábito de forrageio desta espécie, para entender como essa associação pode ser refletida nos padrões populacionais em consequência das mudanças climáticas na Antártica e a redução de produtividades oceânica no Atlântico Sul. Uma vez que a aplicação de aparelhos como geolocalizadores ou via satélite, ainda é escasso em pinguins, estudos aplicando essas tecnologias são estimulados pela comunidade científica e conservacionista.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Antártico de Pesquisas Ambientais – INCT-APA, CNPq, Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio de Janeiro – FAPERJ, Programa Antártico Brasileiro, Secretaria Interministerial para os Recursos do Mar – SECIRM e Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Referências

- AINLEY, D. G. & BALLARD, G. 2012. Non-consumptive factors affecting foraging patterns in Antarctic penguins: a review and synthesis. *Polar Biology*, **35**, 1–13.
- ALONZO, S.H., SWITZER, P.V. & MANGEL, M. 2003. Ecological games in space and time: the distribution and abundance of antarctic krill and penguins. *Ecology*, **84**(6), 1598–1607.
- 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.
- BALLERINI, T., TAVECCHIA, G., OLMASTRONI, S., PEZZO, F. & FOCARDI, S. 2009. Nonlinear effects of winter sea ice on the survival probabilities of Adélie penguins. *Oecologia*, **161**, 253–265.
- BARBRAUD, C., ROLLAND, V., JENOUVRIER, S., NEVOUX, M., DELORD, K. & WEIMERSKIRCH, H. 2012. Effects of climate change and fisheries bycatch on Southern Ocean seabirds: a review. **454**, 285–307.
- BARLOW, K.E. & CROXALL, J.P. 2002. Seasonal and interannual variation in foraging range and habitat of macaroni penguins *Eudyptes chrysolophus* at South Georgia. *Marine Ecology Progress Series*, **232**, 291–304.
- BARRETT, R.T., CAMPHUYSEN, K., ANKER-NILSSEN, T., CHARDINE, J.W., FURNESS, R.W., GARTHE, S., HÜPPOP, O., LEOPOLD, M., MONTEVECCHI, W.A. & VEIT, R.R. 2007. Diet studies of seabirds: a review and recommendations. *ICES Journal of Marine Science*, **64**, 1675-1691.
- BIRDLIFE INTERNATIONAL. 2012. *Pygoscelis antarcticus*. In: IUCN 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.2. <www.iucnredlist.org>. Acessado em 26 Dezembro 2012.
- CCAMLR. 2004. Standard methods for monitoring parameters of predators species. CCAMLR Ecosystem Monitoring Program. CCAMLR, Hobart, Australia.
- CLARKE, A. 1980. The biochemical composition of krill (*Euphausia superba*) from South Georgia. *Journal of Experimental Marine Biology Ecology*, **43**, 221-236.

- CLARKE, J., EMMERSON, L.M. & OTAHAL, P. 2006. Environmental conditions and life history constraints determine foraging range in breeding Adélie penguins. *Marine Ecology Progress Series*, **310**, 247-261.
- CROLL, D.A. DEMER, D.A., HEWITT, R.P., JANSEN, J.K., GOEBEL, M.E. & TERSHY, B.R. 2006. Effects of variability in prey abundance on reproduction and foraging in chinstrap penguins (*Pygoscelis antarctica*). *Journal of Zoology*, **269**, 506-513.
- CROXALL, J.P. & FURSE, J.R. 1980. Food of Chinstrap penguins *Pygoscelis antarctica* and macaroni penguins *Eudyptes chrysolopus* at Elephant Island Group, South Shetland Islands. *Ibis*, **122**, 237–245.
- CROXALL, J.P., DAVIS, R.W. & O'CONNELL, M.J. 1988. Diving patterns in relation to diet of gentoo and macaroni penguins at South Georgia. *The Condor*, **90**, 157-167.
- FORCADA, J. & TRATHAN, P.N. 2011. Penguin responses to climate change in the Southern Ocean. *Global Change Biology*, **15**, 1618–1630.
- FORCADA, J., TRATHAN, P.N., REID, K., MURPHY, E. & CROXALL, J.P. 2006. Contrasting population changes in sympatric penguin species in association with climate warming. *Global Change Biology*, **12**, 411–423.
- GREEN, J.A., WILSON, R.P., BOYD, I.L. WOAKES, A.J. GREEN, C.J. & BUTLER, P.J. 2009. Tracking macaroni penguins during long foraging trips using 'behavioural geolocation'. *Polar Biology*, **32**, 645–653.
- GRÉMILLET, D. & BOULINIER, T. 2009. Spatial ecology and conservation of seabirds facing global climate change: a review. *Marine Ecology Progress Series*, **391**, 121–137.
- HARRIS, C.M., CARR, R, LORENZ, K., JONES, S. 2011. Important Bird Areas in Antarctica: Antarctic Peninsula, South Shetland Islands, South Orkney Islands – Final Report. Prepared for BirdLife International and the Polar Regions Unit of the UK Foreign & Commonwealth Office. Environmental Research & Assessment Ltd., Cambridge IBA.

- HINKE, J.T., SALWICKA, K., TRIVELPIECE, S.G., WATTERS, G.M., TRIVELPIECE, W.Z. 2007. Divergent responses of *Pygoscelis* penguins reveal a common environmental driver. *Oecologia*, **153**, 845–855.
- JABLONSKI, B. 1985. The diet of penguins on King George Island, South Shetland Islands. *Acta Zoologica Cracoviensia*, **29(8)**, 117–186.
- JANSEN, J.K., RUSSELL, R.W. & MEYER, W.R. 2002. Seasonal shifts in the provisioning behavior of chinstrap penguins, *Pygoscelis antarctica*. *Oecologia*, **131**, 306–318.
- KOOYMAN, G.L., CHEREL, Y., MAHO, Y., CROXAL, J.P., THORSON, P.H., RIDOUX, V. & KOOYMAN, C.A.. 1992. Diving behaviour and energetics during foraging cycles in king penguins. *Ecological Monographs*, **62**, 143-163.
- KOKUBUN, N., TAKAHASHI, A., MORI, Y., WATANABE, S. & SHIN, H.C. 2010. Comparison of diving behavior and foraging habitat use between chinstrap and gentoo penguins breeding in the South Shetland Islands, Antarctica. *Marine Biology*, **157**, 811–825.
- LE BOHEC, C., DURANT, J.L. M., GAUTHIER-CLERC, M., STENSETH, N.C., PARK, Y.H., PRADEL, R., DAVID, G., GENDNER, J.P. & LE MAHO, Y. 2007. King penguin population threatened by Southern Ocean warming. *Proceedings of the National Academy of Science*, **105(7)**, 2493–2497.
- LISHMAN, G.S. & CROXAL, J.L.P. 1983. Diving depths of the chinstrapp enguin, *Pygoscelis antarctica*. *British Antarctic Survey Bulletin*, **61**, 21-25.
- LOEB, V., SIEGEL, V., HOLMHANSEN, O., HEWITT, R., FRASER, W., TRIVELPIECE, W. & TRIVELPIECE, S. 1997. Effects of sea-ice extent and krill or salp dominance on the Antarctic food web. *Nature*, **387**, 897–900.
- LYNNES, A. S., REID, K. & CROXALL, J. P. 2004. Diet and reproductive success of Adélie and chinstrap penguins: linking response of predators to prey population dynamics. *Polar Biology*, **27**, 544–554.

- MEYER, W.R., BENGTSON, J.L., JANSEN, J.K. & RUSSELL, R.W. 1997. Relationships between brood size and parental provisioning performance in chinstrap penguins during the chick guard phase. *Polar Biology*, **17**, 228–234.
- MILLER, A.K., KAPPES, M.A., TRIVELPIECE, S.G. & TRIVELPIECE, W.Z. 2010. Foraging-niche separation of breeding Gentoo and Chinstrap penguins, South Shetland Islands, Antarctica. *The Condor*, **112(4)**, 683-695.
- NICOL, S. 2006. Krill, Currents, and Sea Ice: *Euphausia superba* and its Changing Environment. *BioScience*, **56(2)**, 111-120.
- O'BRIEN, R. M .G. 1974. Meteorological observations on Elephant Island. *British Antarctic Survey Bulletin*, **39**, 21-33.
- PÉRON, C., WEIMERSKIRCH, H. & BOST, C.A. 2012. Projected poleward shift of king penguins' (*Aptenodytes patagonicus*) foraging range at the Crozet Islands, southern Indian Ocean. *Proceedings of the Royal Society*, doi: 10.1098/rspb.2011.2705.
- POLITO, M.J., TRIVELPIECE, W.Z., KARNOVSKY, N.J., NG, E. & PATTERSON, W.P. 2011. Integrating Stomach Content and Stable Isotope Analyses to Quantify the Diets of Pygoscelid Penguins. *PLoS ONE*, **6(10)**, 26642.
- RANGEL, T.F., DINIZ-FILHO, J.A.F. & BINI, L.M. 2010. SAM: a comprehensive application for Spatial Analysis in Macroecology. *Ecography*, **33**, 46-50.
- REID, K. & CROXALL, J.P. 2001. Environmental response of upper trophic-level predators reveals a system change in an Antarctic marine ecosystem. *Proceedings of the Royal Society*, **268**, 377-384.
- SIDHU, L.A., DANN, P., CHAMBERS, L., CATCHPOLE, E.A. 2012. Seasonal ocean temperature and the survival of first-year little penguins *Eudyptula minor* in south-eastern Australia. *Marine Ecology Progress Series*, **454**, 263–272.
- STONEHOUSE, B. 1975. The Biology of penguins. pp.555. Macmillan, London.

- TRATHAN, P.N., CROXALL, J.P. & MURPHY, E.J. 1996. Dynamics of Antarctic penguin populations in relation to the inter-annual variability in sea-ice distribution. *Polar Biology*, **16**, 321-330.
- TRIVELPIECE, W.Z., HINKE, J.T., MILLER, A.K., REISS, C.S., TRIVELPIECE, S.G., & WATTER, G.M. 2011. Variability in krill biomass links harvesting and climate warming to penguin population changes in Antarctica. *Proceedings of the National Academy of Science*, **108(18)**, 7625–7628.
- TRIVELPIECE, W. Z.; BUCKELEW, S.; REISS, C. & TRIVELPIECE, S. G. 2007. The winter distribution of chinstrap penguins from two breeding sites in the South Shetland Islands of Antarctica. *Polar Biology*, **30**, 1231–1237.
- TRIVELPIECE, W.Z., BENGSTON, J.L., TRIVELPIECE, S.G. & VOLKMAN, N.J. 1986 Foraging behaviour of gentoo and chinstrap penguins as determined by new radiotelemetry techniques. *The Auk*, **103**, 777-781.
- TRIVELPIECE, W.Z., SALWICKA, K. & TRIVELPIECE, S.G. 2003. Diets of sympatrically penguins from Admiralty Bay, South Shetland Islands, Antarctica, 1981 to 2000. WG-EMM-03/29. CCAMLR Hobart, Australia
- WHITEHEAD, M.D. 1989. Maximum diving depths of the Adklie penguin, *Pygoscelis adeliae*, during the chick rearing period in Prydz Bay, Antarctica. *Polar Biology*, **9**, 329-332.
- WILSON, R.P., CULIK, B.M., ADELUNG, D., SPAIRANI, H.J., CORIA, N.R. 1991. Depth utilisation by breeding Adélie penguins, *Pygoscelis adeliae*, at Esperanza Bay, Antarctica. *Marine Biology*, **109**, 181-189.
- WILSON, R.P. 2010. Resource partitioning and niche hyper-volume overlap in free-living Pygoscelid penguins. *Functional Ecology*, **24**, 646–657.
- WILSON, P.R., AINLEY, D.G., NUR, N., JACOBS, S.S., BARTON, K.J., BALLARD, G., COMISO, J.C. 2001. Adélie penguin population change in the pacific sector of Antarctica:

relation to sea ice extent and the Antarctic circumpolar current. *Marine Ecology Progress Series*, **213**, 301–309.

VOLKMAN, N.J., PRESLER, P. & TRIVELPIECE, W.Z. 1980. Diets of pygoscelid penguins at King George Island, Antarctica. *Condor*, **82**, 373–378.

Tabela 1. Configurações do geolocalizador Lat 2900 da marca Lotek, utilizados nos pinguins *Pygoscelis antarcticus* na Ilha Elefante, Antártica.

Configurações do geolocalizador Lat 2900

Quantidade	8 aparelhos
Dimensões	8 mm X 15 mm x 7 mm
Peso	2.0 g
Memória	32 kb
Tempo mínimo de vida	6 meses

Tabela 2. Resultados obtidos através dos geolocalizadores fixados em pinguins-antárticos, distância máxima percorrida a partir da Ilha Elefante, total de dias de forrageio, período de reprodução em que os indivíduos foram marcados.

Indivíduo	Distância máx. (km)	Dias de forrageio	Período de reprodução
A	464.3	9	choco
B	572.5	10	choco
C	2460.9	10	choco
D	406.0	14	crèche

Tabela 3. Combinações par a par do método de stepwise, obtidos através dos resultados da Análise Discriminante. Comparações entre os indivíduos A, B, C e D, nos 2 passos. Valores estatísticos (F) e valores de significância (P).

Fonte de Variação	step 1		step 2	
Comparações par a par	F	P	F	P
C x A	193,75	<0,001	100,127	<0,001
C x D	233,054	<0,001	113,122	<0,001
C x B	219,123	<0,001	110,462	<0,001
A x D	0,044	0,044	5,972	0,01
A x B	0,006	0,94	,321	0,73
D x B	0,019	0,89	3,94	0,03

Tabela 4. Valores dos coeficientes obtidos através da análise Generalized Least Squares (GLS).

Variável	Coeficiente GLS	Coeficiente B	Erro padrão	t	Valor de Significância P
Constante	-0.423	0	0.456	-0.927	0.356
CHL	<.001	0.211	<.001	2.026	0.046
SST	<.001	0.179	<.001	1.258	0.211

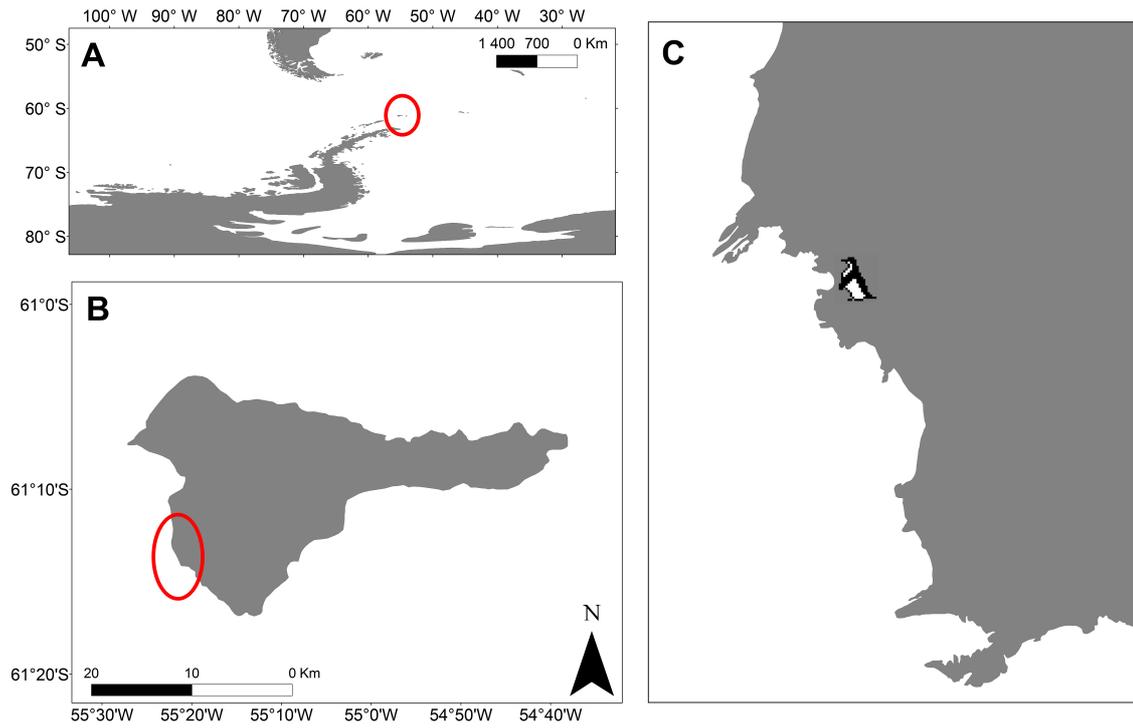


Figura 1. Localização da área de estudo: **A.** Pensínsula Antártica, Shetlands do Sul e América do Sul; **B.** Ilha Elefante; **C.** Região de Stinker Point e localização da colônia de reprodução de *Pygoscelis antarcticus*.

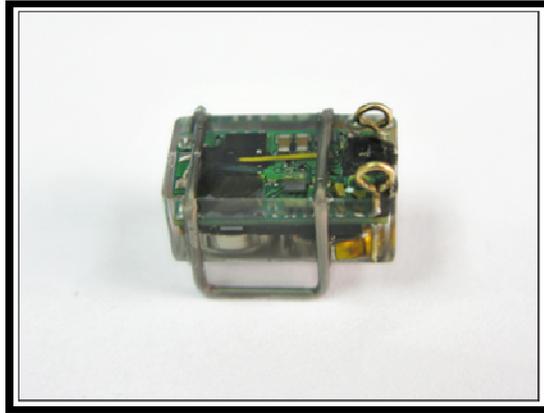


Figura 2: Imagem do geolocalizador Lat 2900, fixado nas penas dos pinguins, na parte inferior dorsal com fita Tesa, na Ilha Elefante, Antártica.

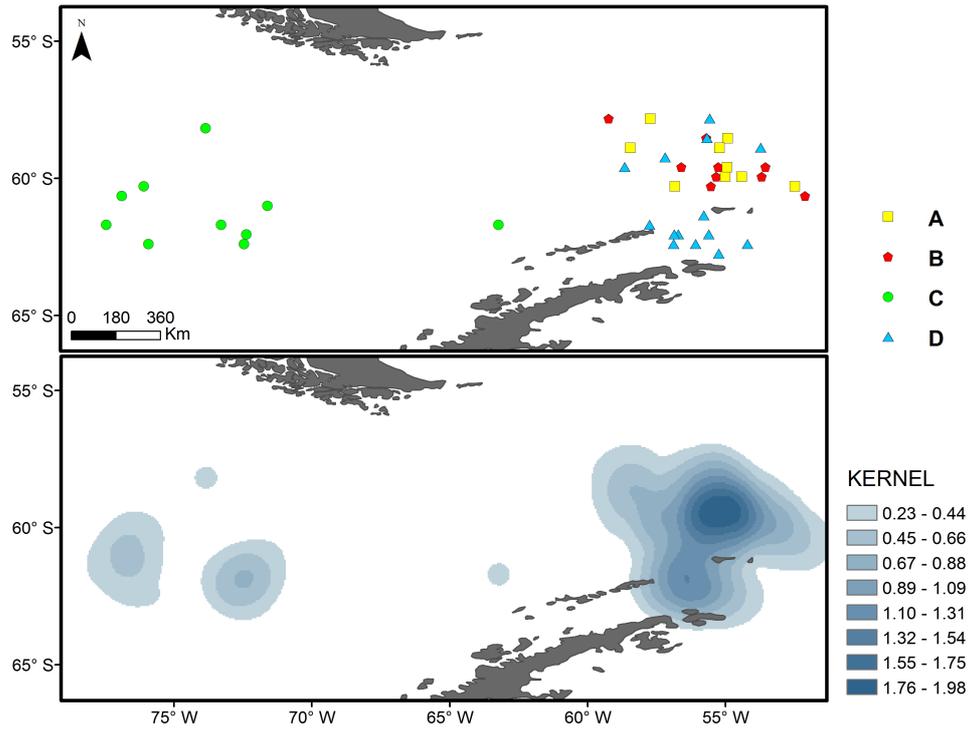


Figura 3. Distribuição espacial da área de forrageio dos indivíduos A, B, C e D de *Pygoscelis antarcticus* da Ilha Elefante, Antártica. Densidade de Kernel obtida através dos pontos geográficos dos geolocalizadores.

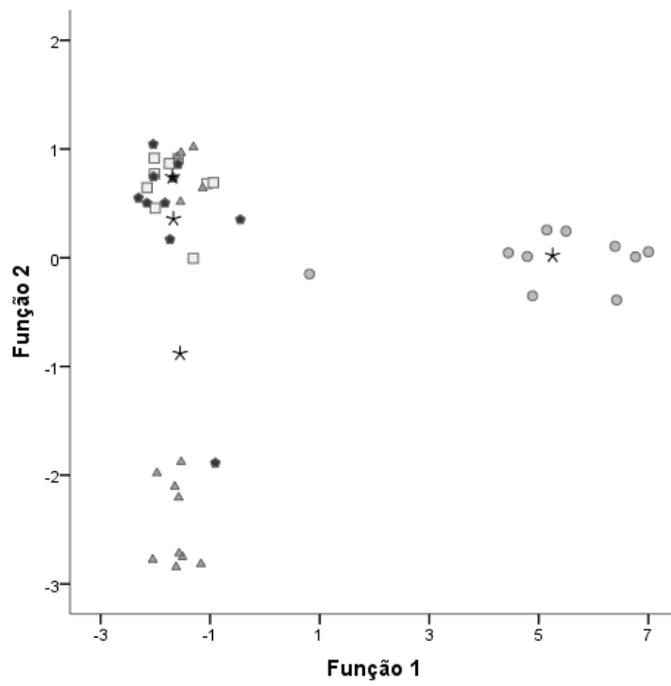


Figura 4. Análise Discriminante demonstrando a similaridade da utilização das áreas pelos indivíduos: A (quadrado), B (losângulo), C (círculo) e D (triângulo), marcados na Ilha Elefante, Antártica.

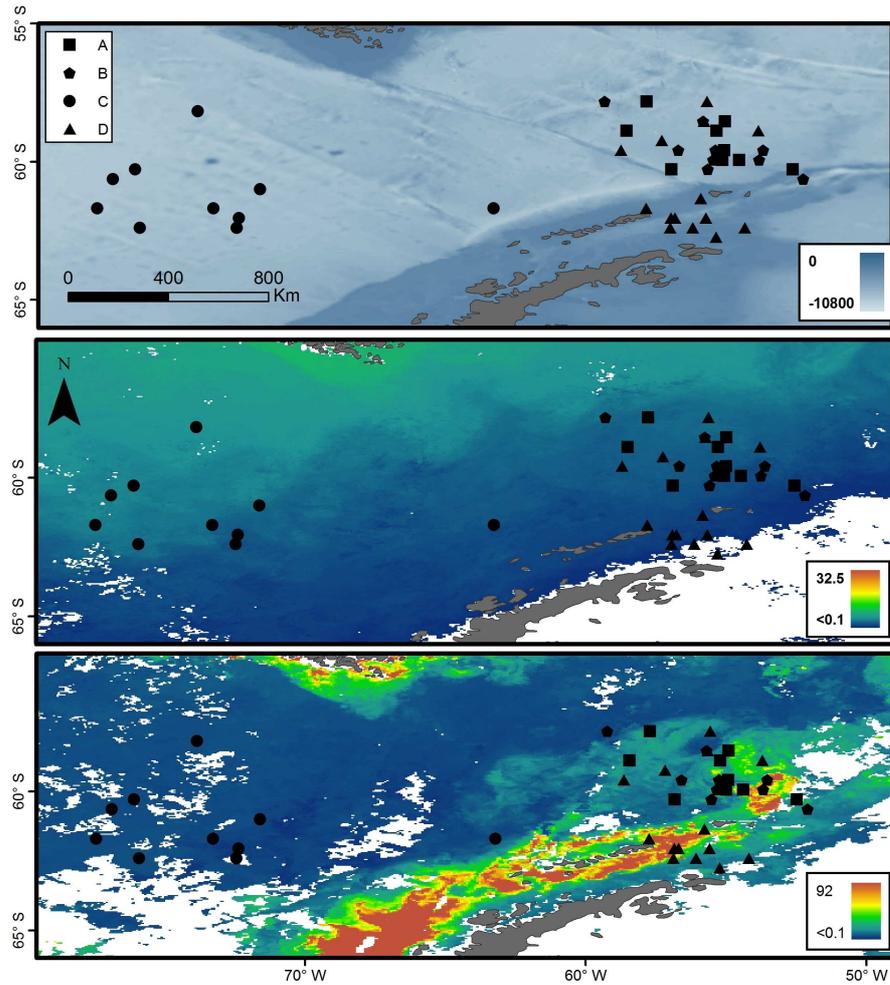


Figura 5. Imagens de satélite do NOAA do mesmo período do estudo, Profundidade (acima), Temperatura da superfície (meio) e Produtividade Oceânica (abaixo) e distribuição oceânica dos indivíduos marcados a partir da Ilha Elefante, Antártica.

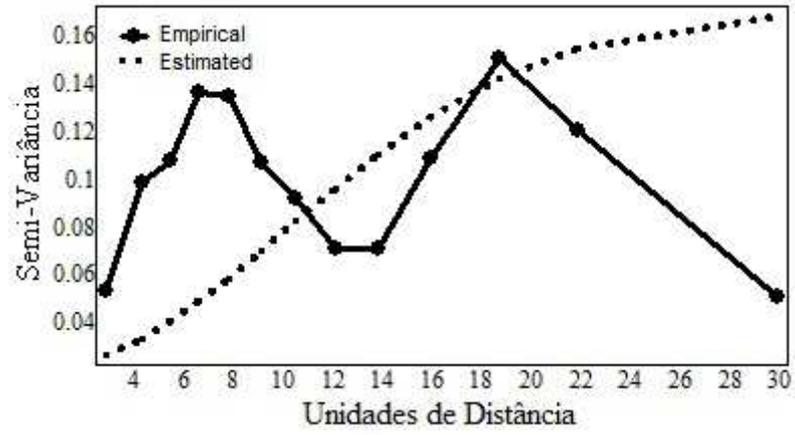


Figura 6. Semivariograma dos dados reais (linha sólida) e o modelo estimado (linha pontilhada), com modelo gaussiano de curva indicando a distância da variância dos pontos.