

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA
NÍVEL MESTRADO**

CARLOS DE OLIVEIRA

**Padrão de ocorrências do lobo-marinho-subantártico *Arctocephalus tropicalis* (Gray 1872) no sul do
Brasil: associação com fatores climáticos e ambientais**

São Leopoldo/RS

2020

CARLOS DE OLIVEIRA

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Biologia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Área de concentração: Ecologia de Populações e Comunidades.

Orientadora: Dra. Larissa Rosa de Oliveira

São Leopoldo/RS

2020

O48p

Oliveira, Carlos de.

Padrão de ocorrências do lobo-marinho-subantártico *Arctocephalus tropicalis* (Gray 1872) no sul do Brasil : associação com fatores climáticos e ambientais / Carlos de Oliveira. – 2020.

36 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Biologia, 2020.

“Orientadora: Dra. Larissa Rosa de Oliveira.”

1. Concentração de clorófitas. 2. Padrões de variabilidade climática. 3. Distribuição extra limite. 4. Temperatura da superfície do mar. 5. Pinípedes. I. Título.

CDU 573

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

(Bibliotecária: Amanda Schuster – CRB 10/2517)

CARLOS DE OLIVEIRA

(Bolsista do programa PROSUC/CAPES)

Defesa em 28/08/2020

BANCA EXAMINADORA

Dr. Diego Rodriguez – Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, Mar del Plata, Argentina

Dra. Venisse Schossler - Centro Polar e Climático, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dra. Larissa Rosa de Oliveira (orientadora) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Agradecimentos

Não tem como chegar nesse momento e não se emocionar com mais uma conquista. As lembranças dos desafios que você teve que enfrentar vão surgindo em sua memória; noites mal dormidas, dias de 20 horas trabalhadas, quando não mais, prazos curtos para serem cumpridos, pouco tempo com a família. Porém nem tudo são problemas. Pessoas novas atravessam seu caminho, novos horizontes vão se abrindo e você vai aprendendo mais a cada dia. Porém essa conquista não é só minha, mas sim de muitas pessoas. Por isso deixo o meu agradecimento a eles (as).

Gostaria de agradecer à minha mãe Cecília de Oliveira que ao longo destes 41 anos foi mãe e pai ao mesmo tempo, tendo me ajudado com aquilo que realmente pode ajudar. Aos meus irmãos Leandro de Oliveira e Clarice Suss, que mesmo tendo pensamentos diferentes dos meus me influenciam de maneira positiva em minhas decisões. Aos meus sobrinhos por existirem na minha vida. A Melry da Conceição e Carolina da Conceição Timóteo por terem entrado em minha vida e me ensinado uma nova forma de amor e como enxergar a vida de uma maneira mais leve. A todos os membros da família Amorim e amigos, que no último ano passaram a fazer parte da minha vida.

Gostaria de agradecer à minha orientadora Dra. Larissa Rosa de Oliveira (Professora da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil), que confiou a mim este projeto e vem me auxiliando na construção do meu conhecimento. Também agradeço aos meus coorientadores Dr. Francisco Eliseu Aquino (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil) e Dra. Gyrlene Mendes da Silva (Universidade Federal de São Paulo) por suas orientações oceanográficas/climáticas e por me ajudarem a entender dinâmica dos eventos climáticos. Agradeço também ao Dr. Marcelo Zagonel (Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil), ao Eng. Cartográfico Lucas Schroeder e ao Dr. Fernando Lopes (Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Brasil) pelo auxílio na busca por bancos de dados. Ao Dr. Murilo Guimarães (Departamento de Zoologia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil) pelo auxílio nas análises estatísticas. Ao coautor Dr. Marcio Borges-Martins (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil) que realizou uma revisão no texto final da dissertação e contribuiu com ótimas sugestões. Aos membros do Grupo de Estudos de Mamíferos Aquáticos do Rio Grande do Sul e aos do Laboratório de Ecologia e Conservação da Megafauna Marinha (ECOMEGA) da Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG) pela coleta dos espécimes do lobo-marinho-subantártico e demais mamíferos marinhos no sul do Brasil por quase duas décadas de monitoramentos costeiros. Ao Dr. Eduardo R. Secchi (coordenador do ECOMEGA da Universidade Federal de Rio Grande, Brasil) e ao Dr. Jonatas H. F. Prado (Universidade Federal de Rio Grande, Brasil) por gentilmente terem cedidos os registros do lobo-marinho-subantártico, *A. tropicalis*, coletados no litoral sul do Rio Grande do Sul. Ao Dr. Marthán N. Bester (Universidade de Pretoria, África do Sul) pelas informações disponibilizadas de telemetria ainda não publicadas. Aos colegas do Laboratório de Ecologia de Mamíferos e do Laboratório de Ecologia Espacial, assim como aos professores e colegas dos demais laboratórios e técnicos de apoio, principalmente Marlon Ferraz, pelo apoio com os mapas e gráficos. À “Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior - CAPES” pela bolsa de mestrado no Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições Comunitárias de Educação Superior - PROSUC). Agradeço à todas as pessoas que de alguma forma, direta ou indiretamente contribuíram para que eu chegasse até aqui e realizasse este trabalho.

Apresentação

Este trabalho apresenta uma análise do padrão das ocorrências dos lobos-marinhos-subantárticos, *Arctocephalus tropicalis*, no sul do Brasil bem como sua potencial associação com os modos de variabilidade climática global.

A presente dissertação é composta por um capítulo, o qual está estruturado na forma de artigo científico e redigido em português, seguindo as normas do periódico “Polar Biology”, com percentil Scopus de 85% na data da entrega do documento e equivalente a avaliação A2 no Qualis Capes. Esse artigo será traduzido para o inglês para submissão ao periódico supracitado após as considerações da banca examinadora e coautores.

Nesse artigo é apresentado uma compilação dos registros de espécimes de *A. tropicalis* coletados no litoral do Rio Grande do Sul entre 1992 e 2013, com a detecção de anos específicos com grande abundância desses indivíduos. Desta forma, buscou-se compreender esse padrão das ocorrências de *A. tropicalis* respondendo algumas perguntas: Qual é a classe etária e o sexo predominantes dos espécimes que chegam ao sul do Brasil? Existem meses ou anos de maior ocorrência da espécie na região de estudo? Essas ocorrências poderiam estar associadas aos modos de variabilidade climática, remotos ou locais, mas influentes em determinados anos? E como seria essa associação entre esses modos, as frentes oceanográficas e as ocorrências de *A. tropicalis* no sul do Brasil, caso os índices dos modos fossem obtidos para a região das colônias reprodutivas da espécie assumindo-se que esses modos fossem “gatilhos pretéritos de dispersão”?

Este trabalho teve a contribuição de cinco instituições brasileiras (o Grupo de Estudos de Mamíferos Aquáticos do Rio Grande do Sul (GEMARS), o Laboratório de Ecologia e Conservação da Megafauna Marinha (ECOMEGA) da Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG), NOTOS - Laboratório de Climatologia do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto do Mar da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)) e uma sul-africana (o “Mammal Research Institute” da Universidade de Pretória), além do apoio do Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições Comunitárias de Educação Superior – PROSUC/CAPES.

Sumário

Padrão de ocorrências do lobo-marinho-subantártico <i>Arctocephalus tropicalis</i> (Gray, 1872) no sul do Brasil: associação com fatores climáticos e ambientais.....	8
Resumo.....	8
Occurrence pattern of the subantarctic fur seal <i>Arctocephalus tropicalis</i> (Gray, 1872) in Southern Brazil: association with climatic and environmental factors.....	9
Abstract.....	9
Introdução.....	10
Material e Métodos.....	13
Análises.....	17
Resultados.....	18
Discussão.....	24
Referências Bibliográficas.....	30

Padrão de ocorrências do lobo-marinho-subantártico *Arctocephalus tropicalis* (Gray, 1872) no sul do Brasil: associação com fatores climáticos e ambientais

Resumo

O estudo apresenta o padrão das ocorrências dos lobos-marinhos-subantárticos, *Arctocephalus tropicalis*, no litoral sul do Brasil e uma análise preliminar da sua associação com os padrões remotos e locais de variabilidade climática e anomalias na concentração de clorófitas e temperatura da superfície do mar na região das colônias reprodutivas das Ilhas Gough e Tristão da Cunha. Foram analisados a data, sexo e a classe etária de 254 registros da espécie entre 1992 e 2013. Os índices representativos dos padrões de variabilidade climática e as variáveis ambientais foram obtidos entre quatro e cinco meses antes dos registros, intervalo de deslocamento assumido para espécie entre suas colônias reprodutivas mais próximas e o litoral sul do Brasil. Como resultado, observou-se um padrão de predomínio de machos adultos da espécie, durante os meses de julho, agosto e setembro, principalmente em 2002 (n = 92) e 2003 (n = 21). A partir da análise de Modelos Lineares Generalizados Mistos detectou-se que o modelo que melhor explicou a associação entre os padrões de variabilidade climática e as ocorrências de *A. tropicalis* ($R^2 = 0,73$) envolvia o efeito da interação entre o Modo Anular Sul, o Dipolo do Oceano Atlântico Sul, o Dipolo Subtropical do Oceano Índico, o Dipolo do Oceano Índico e o El Niño-Oscilação Sul com quatro meses de defasagem. Também foi observada uma associação significativa entre a diminuição da concentração de clorófitas cinco meses antes nas proximidades das suas colônias reprodutivas nas Ilhas Gough e Ilha Tristão da Cunha.

Palavras-chave: concentração de clorófitas, padrões de variabilidade climática, pinípedes, distribuição extra limite, temperatura da superfície do mar

Occurrence pattern of the subantarctic fur seal *Arctocephalus tropicalis* (Gray, 1872) in Southern Brazil: association with climatic and environmental factors

Abstract

The study presents the pattern of occurrences of subantarctic fur seals, *Arctocephalus tropicalis*, in the southern Brazilian coast and their association with remote and local patterns of climatic variability and anomalies in the concentration of chlorophytes and sea-surface temperature in the region of the breeding colonies of Gough and Tristan da Cunha Islands. The date, sex and age category of 254 records of the species between 1992 and 2013 were analyzed. The representative indexes of the patterns of climatic variability and environmental variables were obtained from four and five months before the records, were assumed as time lapse for displacement for species between their closest breeding colonies and the southern Brazilian coast. As a result, we found a pattern of predominance of adult males, registered mainly in 2002 (n = 92) and 2003 (n = 21) during July, August and September months. The Mixed Generalized Linear Model explained the association between the patterns of climatic variability and the occurrences of *A. tropicalis* ($R^2 = 0.73$) involved the effect of the interaction between the Southern Annular Mode, the South Atlantic Ocean Dipole, the Subtropical Indian Ocean Dipole, the Indian Ocean Dipole and El Niño-Southern Oscillation with four months lag. A significant association was also observed between the decrease in the concentration of chlorophytes five months earlier in the vicinity of their breeding colonies on the Gough and Tristan da Cunha Islands.

Keywords: chlorophyte concentration, climate variability patterns, pinnipeds, extra limit distribution, sea-surface temperature.

Introdução

Variáveis ambientais como a concentração de clorofila-*a*, assim como, a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e suas teleconexões oriundas de padrões de variabilidade climática podem afetar diretamente e/ou indiretamente a diversidade marinha (Mo e White 1985; Georges et al. 2000; Guinet et al. 2001; Beauflet et al. 2004; Ream et al. 2005; Campagna et al. 2006). As clorófitas são um filo pertencente às algas verdes e estão associadas ao coeficiente de absorção de luz devido ao fitoplâncton, o qual representa a fração da luz incidente absorvida pelo fitoplâncton no oceano (Reviers 2006). O fitoplâncton é o organismo fotossintético autotrófico que produz carbono orgânico no oceano. A TSM é a temperatura da água na superfície (NEO 2020). Os eventos de variabilidade climática podem ser compreendidos como, uma propriedade intrínseca do sistema climático terrestre, responsável por oscilações naturais nos padrões climáticos, observados em nível local, regional e global (Confalonieri 2003). Dentre alguns dos principais padrões climáticos que exercem influência no Oceano Atlântico Sul estão o El Niño-Oscilação Sul (ENOS) (Trenberth 1997), Modo Anular Sul (MAS) (Marshall 2003), Dipolo do Oceano Atlântico Sul (DOAS) (Venegas et al. 1997), Dipolo do Oceano Índico (IOD) (Saji et al. 1999) e Dipolo Subtropical do Oceano Índico (DSOI) (Behera e Yamagata 2001). Determinar o vínculo entre as respostas comportamentais individuais ou populacionais das espécies e as variações ambientais é fundamental para entender o impacto da variabilidade climática nos ecossistemas (Guinet et al. 1994; Georges et al. 2000; Guinet et al. 2001; Beauflet et al. 2004; Forcada et al. 2005; Oliveira et al. 2006a e 2009; Lan et al. 2013; Forcada e Hoffman 2014; Bost et al. 2015; Lumban-Gaol et al. 2017; Atkinson et al. 2019).

O ENOS caracteriza-se pela fase quente (fria) definida como El Niño (La Niña) com o aumento (diminuição) anormal das TSM no centro-leste do Pacífico Equatorial e de sinal contrário no restante da bacia (Trenberth 1997). O MAS é o principal modo de variabilidade na circulação atmosférica extratropical do Hemisfério Sul em escalas de tempo mensal, sazonal e interanual e baseia-se na diferença de pressão zonal entre seis estações na latitude 40°S e seis estações na latitude 65°S (Marshall 2003). Sua fase positiva (negativa) é quando as pressões nas latitudes médias (30°S-50°S) estão acima (abaixo) da média (Marshall 2003). Isso corresponde a ventos de oeste mais fortes (fracos) que a média nas latitudes subantárticas (50°S-70°S) e ventos mais fracos (fortes) nas latitudes médias (Marshall 2003; NCAR 2019). O DOAS corresponde ao aquecimento das águas superficiais nas costas da África Equatorial Oeste/Central, entre 10° 20'E; 0° 15'S e resfriamento simultâneo de magnitude semelhante na costa entre Argentina, Uruguai e Brasil, entre 10°40'W; 25° 40'S (Venegas et al. 1997). A fase positiva (negativa) equivale a TSM na África Equatorial acima (abaixo) da média em relação à região sudoeste. O DSOI é representado pela diferença de anomalia de TSM entre o Oceano Índico subtropical ocidental ao sul de Madagascar, no domínio entre 55°-65'E, 37°S-27'S, e oriental, a oeste da Austrália, 90°-100'E, 28°-18'S (Behera e Yamagata 2001). Na fase positiva (negativa), a TSM ao sul de Madagascar está anormalmente quente (fria) em relação à região oeste da Austrália. O DOI é caracterizado pela diferença das anomalias de TSM no sudeste do Oceano Índico Equatorial situado ao norte de Austrália, 10°-10'N; 50°-70'E, em relação as anomalias da TSM na parte ocidental do Oceano Índico Equatorial ao norte de Madagascar em 10°-0'S; 90°-110'E (Saji et al. 1999). Sua fase positiva é definida quando a TSM ao norte de Madagascar está acima da média em relação a região norte da Austrália, enquanto a fase negativa apresenta configuração oposta.

Diversos estudos com pinípedes (elefantes, lobos, leões-marinhos, focas e morsas) têm demonstrado a influência negativa dos padrões de variabilidade, principalmente do ENOS, associada a efeitos demográficos como: a diminuição populacional e gargalos genéticos em lobos-marinhos-sul-americanos (*Arctocephalus australis*) no Peru, devido à mortalidade por inanição provocada pelo desaparecimento de suas presas em anos de intenso El Niño (Oliveira et al. 2006a e 2009); e a diminuição na produção de filhotes em colônias reprodutivas, tanto de lobos-marinhos-antárticos (*Arctocephalus gazella*) na Ilha Possession, Arquipélago de Crozet, (Guinet et al. 1994) e nas Ilhas Geórgia do Sul (Forcada et al. 2005) quanto de lobos-marinhos-subantárticos (*A. tropicalis*) nas Ilhas St. Paul e Possession, Arquipélago de Crozet, (Guinet et al. 1994) devido ao El Niño. Contudo, estudos que associam diretamente os padrões de variabilidade com a dispersão de pinípedes em regiões extra limite de sua distribuição tradicional, são escassos. A dispersão para áreas distantes dos seus locais reprodutivos e fora dos limites conhecidos de distribuição é um fenômeno amplamente reportado para esse grupo, mas pouco compreendido para suas espécies antárticas e subantárticas (Bester 1989; Pinedo 1990; Simões-Lopes et al. 1995; Oliveira 1999; Bastida e Rodriguez 2003; Oliveira et al. 2006b; Ferreira et al. 2008; Frainer et al. 2018; Milmann et al. 2019).

Das três espécies de lobos-marinhos registrados para o litoral do Rio Grande do Sul (RS), sul do Brasil, o lobo-marinho-sul-americano (*Arctocephalus australis*) e o lobo-marinho-subantártico (*Arctocephalus tropicalis*) são as mais frequentemente observadas (Pinedo 1990; Simões-Lopes et al. 1995; Oliveira 2013; Prado et al. 2016). A ocorrência extra limite de *A. tropicalis* tem sido muitas vezes considerada ocasional e/ou fruto de movimentos erráticos (Oliveira 1999; Ferreira et al. 2008). Ferreira et al. (2008) detectaram com o auxílio de marcadores moleculares que alguns espécimes de *A. tropicalis* encontrados mortos no litoral do RS teriam múltiplas origens, sendo a grande maioria oriunda da Ilha Gough (40°19'29"S; 9°55'43"W), considerada juntamente com a Ilha Tristão da Cunha (37°6'58"S; 12°17'01"W) como as colônias reprodutivas da espécie mais próximas do sul do Brasil, entre 4.200 km e 3.800 km de distância, respectivamente. Segundo Hofmeyr (2015), *A. tropicalis* apresenta a maior dispersão entre os pinípedes no Atlântico Sul Ocidental, inclusive para a região tropical (Ferreira et al. 2008; Velozo et al. 2010).

As colônias reprodutivas de *A. tropicalis* são amplamente distribuídas no Hemisfério Sul, principalmente em ilhas subantárticas ao norte da Convergência Antártica, em seções da parte austral dos Oceanos Atlântico e Índico, incluindo as Ilhas Amsterdã, 37°52'S; 77°32'E (Guinet et al. 1994), Crozet entre 46°24'41"S; 51°45'22"E (Guinet et al. 1994), Gough (Bester et al. 2006), Macquarie, 54°35'41"S; 158°53'44"E (Shaughnessy 1993), Prince Edward no domínio entre 46°38'17"S; 37°56'42"E (Bester et al. 2003, Hofmeyr et al. 2006a), Saint Paul, 38°43'48"S ; 77°31'20"E (Guinet et al. 1994) e Tristão da Cunha (King, 1964). Eles também se reproduzem em Heard Island entre do domínio de 53°06'S; 73°31'E (Goldsworthy e Shaughnessy 1989). Todas as ocorrências de *A. tropicalis* fora dessas regiões são consideradas extra limite e seus indivíduos chamados de vagantes ou errantes (Bester 1989, Hofmeyr 2015). Os vagantes de *A. tropicalis* foram registrados nas costas da Antártica (Shaughnessy e Burton 1986), sul da América do Sul (Pinedo 1990, Bastida et al. 1999, Oliveira et al. 2001), África Austral (Bester 1989, Shaughnessy e Ross 1980), Madagascar (Garrigue e Ross 1996), Austrália (Gales et al. 1992) e Nova Zelândia (Taylor 1990), Ilha de Bouvetøya (Hofmeyr et al. 2006b), Comores (David et al. 1993), Ilhas Juan

Fernandez (Torres e Aguayo 1984), Ilhas Kerguelen (Wynen et al. 2000), Ilhas Maurício (David e Salmon 2003) e Ilhas Geórgia do Sul (Payne 1979).

Estudos sobre movimentos e migrações em pinípedes revelaram que a maior parte das espécies se dispersaram pelos oceanos logo após o término do período reprodutivo ou após a muda (Ridgway e Harrison 1981). Estudos realizados em diferentes períodos no litoral do RS descreveram brevemente o padrão etário e da proporção sexual dos espécimes de *A. tropicalis* encontrados na região e detectaram um predomínio de machos adultos (Pinedo 1990; Simões-Lopes et al. 1995; Oliveira 1999; Prado et al. 2016). Acredita-se que esse resultado se deve ao fato que os machos não estariam envolvidos no cuidado parental de filhotes recém-nascidos em suas colônias reprodutivas como as fêmeas, o que permitiria a realização grandes deslocamentos pós-reprodutivos (Bester 1981).

Oliveira (1999) detectou períodos com alta frequência de ocorrência de *A. tropicalis* para o litoral norte do RS e para outras partes da costa atlântica da América do Sul em anos específicos, entre 1982 e 1998, e sugeriu uma potencial influência de eventos oceanográficos na chegada desses animais na região. Prado et al. (2016) também verificaram períodos de muitas ocorrências de *A. tropicalis* em seu estudo no litoral sul do RS para os anos de 1984, 1992, 1998, 2000, 2002. Diversos autores atribuíram o aumento no número de ocorrências de *A. tropicalis* ao aumento populacional devido à proteção desses animais após o término da caça das baleias, uma vez que os mesmos também eram caçados juntamente com os cetáceos na região antártica e subantártica (Pinedo 1990; Hofmeyr et al. 1997; Shaughnessy et al. 2014). Contudo, Oliveira et al. (2001) propuseram que o aumento dos registros também poderia estar relacionado as anomalias nas correntes oceânicas devido a eventos oceanográficos e climáticos, como o ENOS. Além disso, os mesmos autores ressaltaram que o aumento nos monitoramentos da costa brasileira por pesquisadores, poderia levar a um maior número de observações e registros da espécie, principalmente no sul do Brasil.

Apesar das ocorrências de *A. tropicalis* no litoral do RS terem sido registradas em diversos estudos e principalmente a partir da década de 1990 (Pinedo 1990; Simões-Lopes et al. 1995; Oliveira 1999; Ferreira et al. 2008; Oliveira 2013; Prado et al. 2016), ainda é raro encontrar na literatura uma descrição sobre o padrão dessas ocorrências, bem como análise sobre as variáveis oceanográficas e atmosféricas que poderiam estar influenciando direta ou indiretamente a dispersão de indivíduos da espécie até as áreas extra limite de distribuição. Desta forma, o principal objetivo foi caracterizar o padrão das ocorrências de *A. tropicalis* a partir dos seguintes questionamentos: (i) *Qual foi a classe etária e o sexo predominantes dos espécimes que chegaram ao sul do Brasil?* (ii) *Existiram anos ou meses de maior ocorrência da espécie na região de estudo?* (iii) *Essas ocorrências são dependentes dos padrões remotos ou locais de variabilidade climática? Qual a dependência em relação a, a concentração de clorófitas e TSM?*

Material e Métodos

Área de estudo e delineamento experimental

Para compreender os padrões das ocorrências (temporal, etário e proporção sexual) de *A. tropicalis* no litoral do RS e a potencial associação com a concentração de clorófitas e os padrões de variabilidade climática que melhor explicariam a presença da espécie na área de estudo, foram analisados os registros de espécimes coletados na região de estudo pelo Grupo de Estudos de Mamíferos Aquáticos do Rio Grande do Sul (GEMARS) (Oliveira 1999) e pelo Laboratório de Ecologia e Conservação da Megafauna Marinha, da Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande (ECOMEGA), Brasil (Prado et al. 2016) (Tabela 1). Os espécimes foram coletados durante monitoramentos costeiros mensais de 1992 a 2013, entre as localidades da Barra do Rio Mampituba, em Torres (29°S; 49°43'W) e Chuí (33°45'S; 53°22'W) um total de 645 km percorridos (Fig. 1). O material testemunho como crânios e eventualmente os esqueletos completos, de todos os espécimes incluídos neste estudo estão depositados nas coleções científicas das mencionadas instituições.

Tabela 1 Número amostral para cada análise realizada nos espécimes de lobo-marinho-subantártico, *Arctocephalus tropicalis*, registrados no litoral do Rio Grande do Sul. M = espécimes machos; F = espécimes fêmeas; I = espécimes de sexo indeterminado.

	GEMARS	ECOMEGA	Total	Período
Padrão temporal	62 (41M+11F+10I)	192 (91M+36F+65I)	254	
Padrão etário	52 (41M+11F)	127 (91M+36F)	179	1992-2013
Proporção sexual	62 (41M+11F+10I)	192 (91M+36F+65I)	254	
Modos de variabilidade climática	48 (38M+6F+4I)	160 (88M+39F+33I)	208	1998-2013

A possível associação entre as ocorrências e os padrões climáticos e a concentração de clorófitas foi verificada. Os valores/índices dessas variáveis foram obtidos em uma data anterior ao registro dos espécimes no RS, nesse caso, entre quatro e cinco meses. O período de defasagem foi assumido como uma estimativa do período de saída e de deslocamento dos lobos-marinhos-subantárticos entre as ilhas de suas colônias reprodutivas no Oceano Atlântico Sul e o sul do Brasil. Essa estimativa temporal teve como base os dados não publicados de telemetria do projeto coordenado pelo Dr. Marthán Bester da Universidade de Pretória e gentilmente compartilhados. As informações inéditas de telemetria referem-se a duas fêmeas de *A. tropicalis* aparelhadas com transmissores satelitais na Ilha Tristão da Cunha localizada a aproximadamente 3.800 Km de distância do litoral do RS. De acordo com Bester (comunicação pessoal), esses espécimes levaram cerca de 2 meses para percorrer entre 1.500 e 2.000 km no oceano Atlântico, em direção à América do Sul na linha da latitude de 45°S.

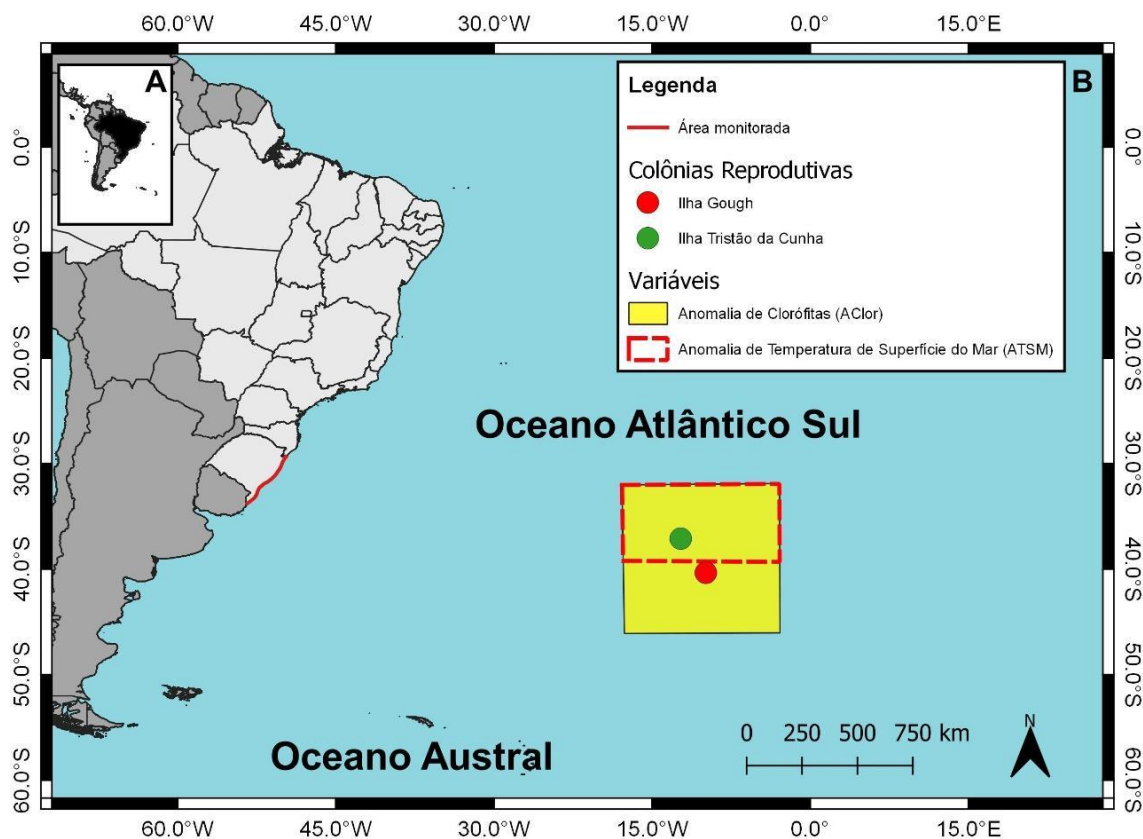


Fig. 1 **A)** América do Sul, em destaque o Brasil. **B)** Litoral do Rio Grande do Sul com a área monitorada em vermelho (625 km de extensão), entre as localidades da Barra do Rio Mampituba e Barra do Chuí. Localização da Ilha Gough (círculo vermelho) e da Ilha Tristão da Cunha (círculo verde). Área em amarelo e o retângulo tracejado em vermelho indicam as regiões onde foram calculadas as anomalias das concentrações de clorófitas e a Temperatura da Superfície do Mar, respectivamente. Fonte: Marlon Ferraz (IBGE, 2020).

Padrões temporal, etário e de proporção sexual das ocorrências

A análise do padrão temporal das ocorrências de *A. tropicalis* foi realizada com base em indivíduos de lobo-marinho-subantártico registrados no litoral do RS entre 1992 e 2013. A data do encontro dos espécimes durante o monitoramento costeiro foi considerada como a data do registro, sendo utilizada para representar a chegada dos espécimes na área de estudo. O estado de decomposição dos espécimes foi categorizado seguindo Geraci e Lounsbury (2005) e quando esse era considerado como muito avançado foi estimada uma defasagem de um mês na data da ocorrência (Prado et al. 2016).

Os dados dos registros dos espécimes de *A. tropicalis* foram agrupados e apresentados por mês e ano, sexo e as categorias etárias estimadas a partir do Comprimento Total (CT) dos espécimes (Tabela 2). O esforço amostral foi calculado de acordo com período e por meio do km de praia percorrido. Todas as análises levaram em consideração os registros de ocorrências entre os meses de maio e novembro, uma vez que não foram encontrados exemplares nos demais meses. Os meses que não foram realizados monitoramentos de praia não foram considerados nas análises.

A estimativa das classes etárias dos espécimes registrados foi realizada pelo CT (cm) e de acordo com os intervalos propostos por Bester e Jaarsveld (1994) e por Oliveira (1999) e definidas como: “yearling” ou filhotes por completar 1 ano de idade, juvenil, subadulto e adultos. A frequência de indivíduos

em cada categoria etária foi calculada com base no número de espécimes encontrados em cada intervalo de CT (Tabela 2).

Tabela 2 Classes etárias a partir de intervalos de comprimento total (cm) para a análise do padrão etário de machos e fêmeas de lobo-marinho-subantártico, *Arctocephalus tropicalis*, registrados no litoral do Rio Grande do Sul entre 1992 e 2013. Dados com base em Bester e Jaarsveld (1994) e Oliveira (1999).

Classe etária	Comprimento Total (cm)	
	Machos	Fêmeas
“Yearling”	≤92	≤ 80
Juvenil	>92,1 – 127	>80,1 – 90
Subadulto	>127,1 – 147	>90,1–104
Adulto	>147,1	> 104,1

Padrões de variabilidade climática

Para avaliar quais padrões de variabilidade teriam uma associação maior com as ocorrências de *A. tropicalis* no sul do Brasil, foram utilizados os índices calculados para definir a ocorrência de cada padrão sobre as bacias oceânicas relativas (Fig. 2). É importante salientar que esses índices foram escolhidos em função das menções prévias na literatura sobre as suas influências na dinâmica desta e de outras espécies de lobos-marinhos (Valdivia e Arntz 1985; Guinet et al. 1994; Oliveira et al. 2001; Forcada et al. 2005; Oliveira et al. 2006a e 2009; Coulson e Clegg 2014; Forcada e Hoffman 2014; Prado et al. 2016).

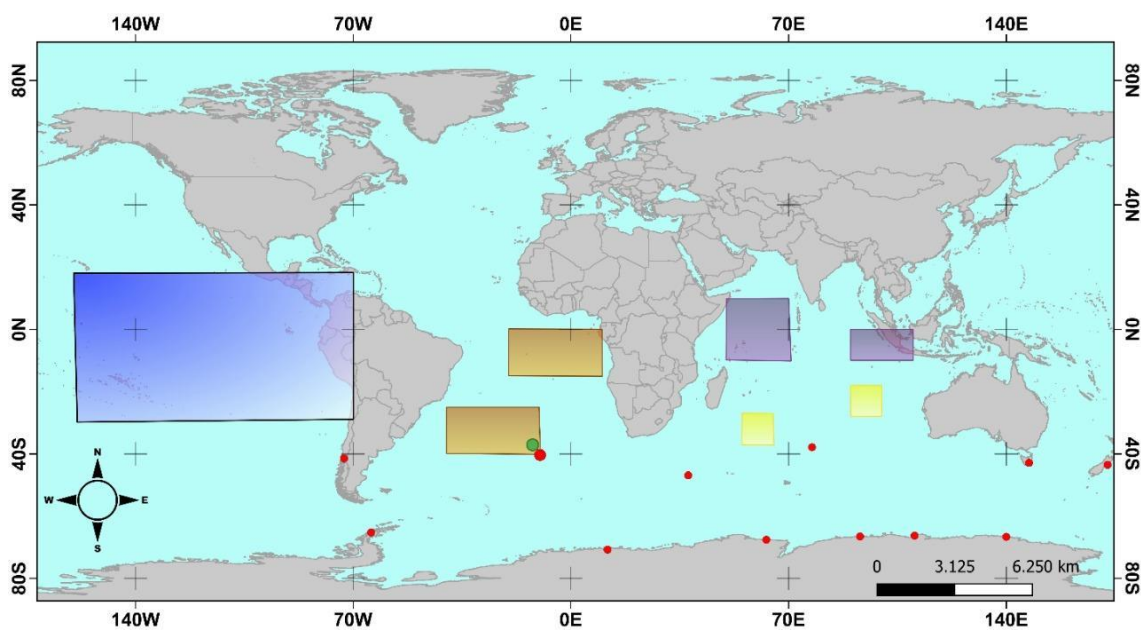


Fig. 2 Bacias oceânicas onde são calculados os índices representativos dos padrões de variabilidade climática. O ENOS no Oceano Pacífico (grade azul), o DOAS no Oceano Atlântico Sul (grades laranjas), o DSOI (grades amarela) e DOI (grades roxas) no Oceano Índico e o MAS obtido através de dados das estações meteorológicas representadas pelos pontos vermelhos. As colônias reprodutivas da Ilha Gough e da Ilha Tristão da Cunha estão representadas através dos círculos vermelho maior e verde. Fonte: Marlon Ferraz (IBGE, 2020).

Para identificação dos padrões climáticos foram utilizadas séries temporais mensais dos índices representativos de cada um. Para o ENOS foi utilizado o dados o Índice Multivariado do ENOS (IME) recomendado por ser composto por seis variáveis que fazem parte do processo acoplado oceano-atmosfera no Pacífico Tropical, sendo mais indicado para o tipo de análise do presente estudo do que os outros índices do ENOS (Wolter e Timlin, 2011). A série temporal da sua segunda versão (IMEv2) foi obtida do *National Center Atmospheric Research* (NOAA) (<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/multivariate-enso-index>) e considera cinco variáveis atuando no Pacífico equatorial na área entre 30° S 30°N; 100°E 70°W: pressão ao nível médio do mar, componente zonal e meridional do vento em superfície, a TSM e a radiação de onda longa. Os valores positivos desse índice representam os meses de ocorrência de El Niño e os valores negativos são os meses de La Niña (NCAR 2019). A série mensal do dados MAS foi obtida de Marshall (2003) a partir do *National Center Atmospheric Research* (<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/marshall-southern-annular-mode-sam-index-station-based>). O índice representativo do DOAS foi extraído do *East Asian Climate* (<http://ljp.gcess.cn/dct/page/65592>), enquanto que os associados ao DSOI e DOI foram obtidos do *Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology* (http://www.jamstec.go.jp/virtualearth/data/SINTEX/SINTEX_SIOD.csv) e *Global Climate Observing System* (https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/Data/dmi.had.long.data), respectivamente.

Anomalias mensais de concentração de clorófitas e Temperatura da Superfície do Mar

As anomalias mensais de concentração de Clorófitas (aClor) e Temperatura da Superfície do Mar (aTSM) sobre a região das colônias reprodutivas das Ilhas Gough e Tristão da Cunha (Fig. 1) foram obtidas pela remoção da climatologia de 1998 a 2013 e considerando a defasagem temporal assumida no estudo. O procedimento permitiu avaliar a associação entre as ocorrências de *A. tropicalis* no litoral do RS e as respectivas anomalias.

A grande maioria dos estudos utiliza valores de concentração de clorofila-*a* para analisar a produtividade primária (e.g. Ream et al. 2005; Campagna et al. 2006), porém neste estudo foram utilizados dados de concentração de clorófitas, apenas, como uma variável biótica de produtividade primária, porque não há base de dados para clorofila-*a* para a região das Ilhas Gough e Tristão da Cunha para o período em análise. As clorófitas indicam a variabilidade da biomassa fitoplanctônica em águas turvas marinhas e costeiras. Já a concentração de clorofila (utilizada em outros estudos) representa a concentração do pigmento fotossintético clorofila-*a* (a clorofila "verde" mais comum) (Rousseaux e Gregg 2014).

Os dados mensais da concentração de clorófitas provenientes do satélite AQUA/MODIS foram obtidos da plataforma de parâmetros geofísicos *Giovanni* do canal NASA GESDISC (https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=TmAvMp&starttime=&endtime=&data=NOBM_DAY_R2017_dia&variableFacets=dataFieldMeasurement%3APhytoplankton%3B). A extração foi a partir de, uma imagem no formato GeoTIFF com resolução de 0,67 x 1,25 graus para uma grade que cobriu a região das Ilhas Gough e Tristão da Cunha (colônias reprodutivas de *A. tropicalis*) (Fig. 1) totalizando 210 pontos de extração de dados no período do estudo.

Os dados mensais de TSM provenientes do satélite AQUA/MODIS foram disponibilizados através da *Nasa Earth Observations* - NEO (<https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MYD28M>) onde se utilizou uma imagem no formato GeoTIFF com resolução de 0,25 x 0,25 graus totalizando 1701 pontos.

Esta segunda grade foi menor devido à falta de dados contínuos de TSM para a série temporal e região estudadas, da plataforma utilizada para se obter os valores de TSM.

A partir do programa ArcGIS, os valores dos pixels da imagem GeoTIFF foram obtidos para gerar os valores de clorófitas e TSM. Cada pixel correspondia à área de 112 km x 85 km para a concentração de clorófitas e 25 km x 25 km para TSM e o centroide desse pixel foi selecionado e seu valor extraído, em seguida, foram obtidas as séries temporais de anomalias.

Análises

Para se avaliar o predomínio de um determinado sexo nas ocorrências da espécie no litoral do RS, foi calculada a proporção sexual entre machos e fêmeas de *A. tropicalis* registrados no litoral do RS. A proporção encontrada foi testada pelo teste do qui-quadrado. Modelo Linear Generalizado Misto (MLGM) com a distribuição binomial negativa e variável “ano” como fator aleatório, foi utilizado para a predição do padrão temporal e as prováveis associações entre os padrões de variabilidade climática em análise e a ocorrência dos espécimes de *A. tropicalis* no sul do Brasil no período de 1992 a 2013, assim como nas prováveis associações com as anomalias de clorófitas e TSM. Esta distribuição é indicada para contagens como as ocorrências de *A. tropicalis*, com superdispersão dos dados (Zuur et al. 2009).

Foram construídos quatro modelos sendo que dois desses levou em conta os efeitos ocorridos durante quatro meses, onde um deles incluiu efeitos de interação entre as variáveis e o outro incluiu efeitos aditivos; e os outros dois modelos representaram os efeitos de cinco meses de defasagem, sendo um deles contendo efeitos de interação e outro, aditivo. A variável “mês” foi transformada em dia juliano e contínua e posteriormente incluída nos quatro modelos, para se testar o padrão temporal dos meses nas ocorrências. A análise da diferença do número de ocorrências de *A. tropicalis* entre os anos foi analisada a partir do desvio padrão do efeito aleatório e a partir da observação do gráfico, uma vez que os softwares de pacotes estatísticos não fornecem valores de graus de liberdade e p para efeitos aleatórios, além disso, o uso do “ano” como efeito aleatório torna nosso modelo mais leve, pois “economiza” os graus de liberdade. Para a análise da dependência em relação as anomalias de clorófitas e TSM foram gerados dois modelos, ambos incluindo os efeitos de interação entre as variáveis e efeitos aditivos dessas anomalias com defasagem de quatro e cinco meses para cada modelo. A variável esforço foi incluída em todos os modelos, uma vez que não houve coletas em todos os meses do ano.

As variáveis preditoras foram padronizadas e centralizadas, com média 0 e desvio-padrão 1. Todos os índices climáticos foram ajustados para a defasagem de 4 e 5 meses e testados em relação as suas colinearidades utilizando a função *vif* (*Variance inflation fator*) do pacote *HH* (Heiberger, 2020). As variáveis que apresentaram um índice superior a três foram retiradas da análise, a partir do índice de maior valor e a análise realizada novamente sem a variável com maior índice. Ao final, as variáveis que restaram com índices entre zero e três foram incluídas no modelo (Zuur et al. 2009).

Por fim foram testadas quais seriam as melhores combinações das variáveis (padrões climáticos, mês e ano, anomalias de clorófitas e TSM, utilizando a função *gmer.nb* do pacote *lme4* do R Project (Bates et al. 2015). Os modelos foram ranqueados a partir do critério de informação de Akaike (AIC) com a função *aictab* do pacote *AICcmodavg* (Mazerolle 2019) do R Project. Em todas as análises foi considerado o nível de significância de $p < 0,01$ e foram realizadas no programa R (R Core Team 2019).

Resultados

Padrão temporal, etário e de proporção sexual das ocorrências de *A. tropicalis* no sul do Brasil

No período compreendido entre 1992 e 2013 um total de 254 espécimes mortos de *A. tropicalis* foram registrados ao longo da área de estudo. Desse total 147 eram machos, 52 eram fêmeas e em 55 indivíduos não foi possível se determinar o sexo. A proporção sexual foi estatisticamente diferente do esperado de 1:1, com 2,82 machos registrados para cada fêmea ($\chi^2 = 45,35176$; $p < 0,01$; $df = 1$). Dentre os registros no período de estudo, 179 possuíam a informação do CT ($n = 132$ machos, $n = 47$ fêmeas), sendo a maioria dos espécimes formada por machos adultos (40%) fêmeas adultas e machos subadultos. Contudo, juvenis e *yearlings* de ambos os sexos também foram registrados no estudo (Fig. 3).

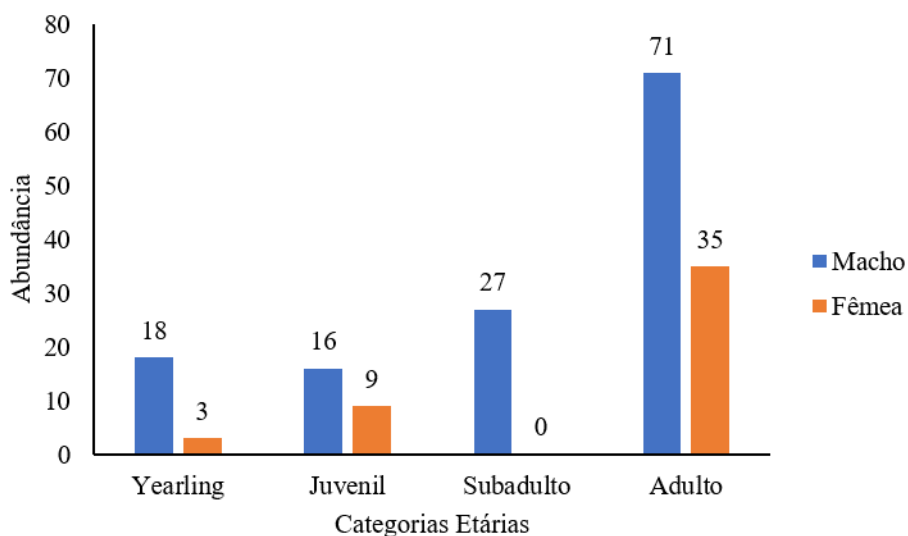


Fig. 3 Abundância de espécimes coletados do lobo-marinho-subantártico, *Arctocephalus tropicalis* com relação às classes etárias e sexo entre 1992 e 2013 no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil.

As ocorrências da espécie variaram (DP do efeito aleatório = 0,3309) com uma média de 11,5 indivíduos registrados por ano, sendo o ano 2002 teve maior ocorrência ($n = 92$), seguido de 2003 ($n = 21$). Os anos de 1993 e 2005 tiveram cada um apenas um indivíduo registrado (Fig. 4a). Já os meses com o maior número de registros de *A. tropicalis* na área de estudo foram principalmente julho, agosto e setembro (Fig. 4b), porém os resultados não foram significativos no modelo selecionado ($z = -0,081$; $p > 0,001$).

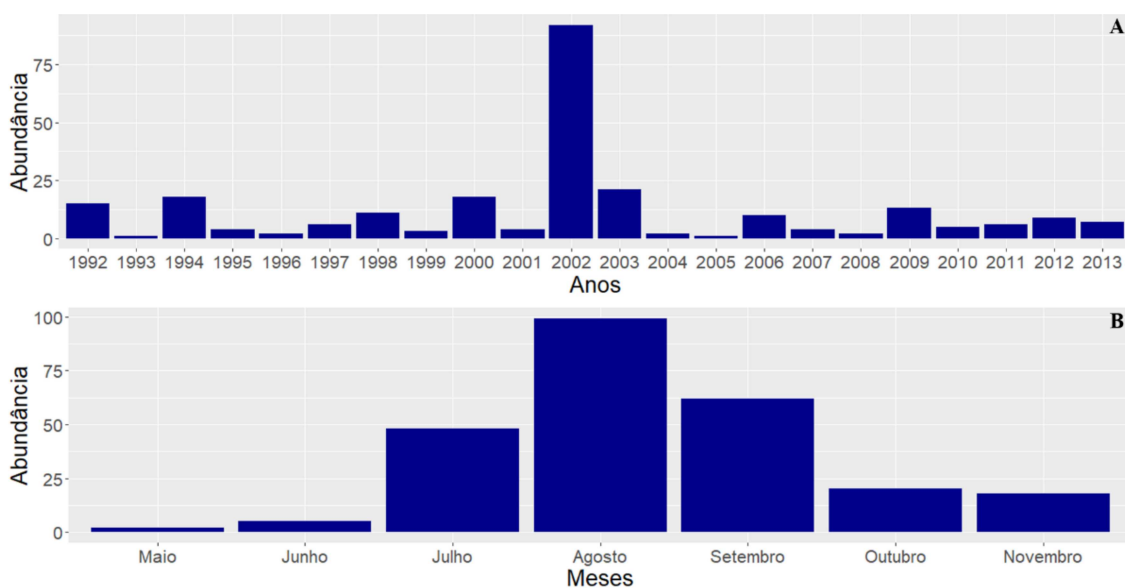


Fig. 4 Abundância de espécimes coletados do lobo-marinho-subantártico, *Arctocephalus tropicalis*, com relação ao **a)** ano e ao **b)** mês das ocorrências entre 1992 e 2013 no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil.

Associação com os modos de variabilidade climática

De acordo com os critérios de Akaike (menores AICc e maiores AICcWt) o modelo 1 ajustado a defasagem de 4 meses foi o que melhor explicou a associação entre todos os padrões climáticos e as ocorrências de *A. tropicalis* no litoral em estudo. O modelo 1 explicou 73% de toda a variabilidade temporal nas ocorrências de *A. tropicalis* (Tabela 3). De todos os modos testados no modelo 1, cinco, com interações, foram significativos para $p < 0,01$ indicando associação com as ocorrências em análise. Desses um envolvia o efeito de interação entre os padrões climáticos locais, MAS e DOAS, três com padrões climáticos locais, MAS e DOAS em interação com padrões de variabilidade remota, DSOI e DOI, e um com padrões remotos ENOS interagindo com DOI (Tabela 4).

Tabela 3 Modelos concorrentes (M) para o padrão temporal e a provável influência dos padrões de variabilidade climática nas ocorrências de *Arctocephalus tropicalis*, para o litoral do Rio Grande do Sul entre 1992 e 2013. As siglas representam os valores do critério de informação de Akaike (AICc), Peso (AICcWt), Delta_AICc e número de parâmetros de cada modelo (K), coeficiente de determinação (R^2) do modelo selecionado.

Modelos (M)	AICc	AICcWt	Delta_AICc	K	R^2
M1: 4 meses interação	357,07	0,64	0,00	20	0,73
M4: 5 meses individual	358,90	0,26	1,84	10	
M3: 4 meses individual	360,77	0,10	3,71	10	
M2: 5 meses interação	374,41	0,00	17,34	20	

Tabela 4 Estimativas dos efeitos das variáveis predictoras sobre o número de ocorrências do lobo-marinho-subantártico, *Arctocephalus tropicalis*, no sul do Brasil com base no modelo 1. Dipolo do Oceano Atlântico Sul (DOAS), Dipolo Subtropical do Oceano Índico (DSOI), Dipolo do Oceano Índico (DOI), Modo Anular Sul (MAS) e Índice Multivariado do ENOS (IME) . Em negrito as interações significativas ($p < 0,01$) e (*) representa a interação das variáveis.

Variáveis	Estimado (α)	Valor de Z	P
MAS*DOI	-0.482852	-4.289	1.8e-05
DOAS*DOI	0.374384	2.941	0.00327
MAS*DSOI	0.251927	2.937	0.00332
MAS*DOAS	0.328601	2.747	0.00601
IME*DOI	-0.430392	-2.612	0.00899
DSOI	0.324521	2.188	0.02864
DOAS	0.296134	1.856	0.06343
DSOI*DOI	-0.293671	-1.615	0.10630
DOAS*DSOI	-0.180754	-1.442	0.14926
MAS	0.130807	1.341	0.17981
DOAS*IME	0.179209	0.916	0.35944
MAS*IME	-0.077865	-0.607	0.54382
IME*DSOI	0.067756	0.592	0.55398
DOI	0.083327	0.523	0.60095
IME	-0.070545	-0.444	0.65736
MÊS	-0.008734	-0.081	0.93548

Foi observada uma relação nos efeitos da interação entre o índice representativo do MAS e DOAS em associação com as ocorrências de *A. tropicalis* no sul do Brasil. Ou seja, o maior número de registros de *A. tropicalis* ocorreu durante eventos de MAS positivo em interação com eventos de DOAS neutro (0) para positivo (Fig. 5a). Verificou-se uma relação entre os efeitos da interação entre o MAS, efeito local, e cada um dos padrões climáticos remotos, DOI e DSOI. O menor número de ocorrências de *A. tropicalis* na área de estudo ocorreu durante eventos de MAS positivo em interação com eventos de DOI positivo (Fig. 5b) e os maiores em eventos de MAS na fase positiva em interação com eventos DSOI neutro (0) para positivo (Fig. 5c).

Existiu uma relação entre os efeitos da interação do modo de variabilidade local DOAS e o remoto DOI. Os maiores números de registros de *A. tropicalis* ocorreram durante os eventos de DOAS positivo em interação com eventos de DOI neutro (0) para positivo (Fig. 5d). O único efeito de interação entre padrões remotos de variabilidade climática que foi estatisticamente significativo foi relativo à interação entre IME e DOI. O maior número de ocorrências ocorreu na fase negativa de IME (La Niña) e na fase positiva do DOI (Fig. 5e).

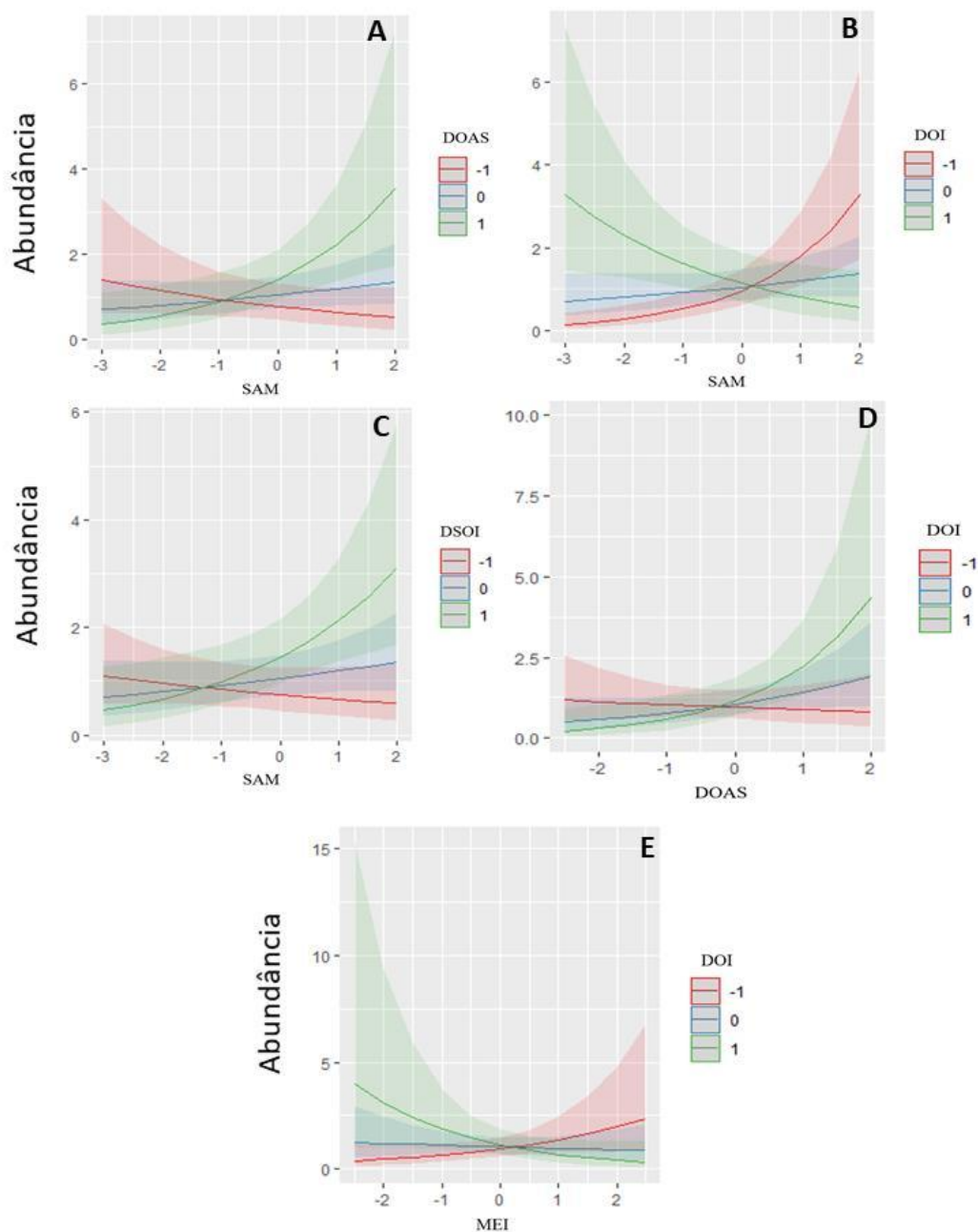


Fig. 5 Abundância de lobos-marinhos-subantárticos, *Arctocephalus tropicalis*, coletados entre 1992 e 2013 no litoral do Rio Grande do sul, Brasil, em relação as interações dos padrões de variabilidade climática Modo Anular Sul (MAS) e **a)** Dipolo do Oceano Atlântico Sul (DOAS), **b)** Dipolo do Oceano Índico (DOI) e **c)** Dipolo Subtropical do Oceano Índico (DSOI), **d)** Dipolo do Oceano Atlântico (DOAS) e Dipolo do Oceano Índico (DOI), **E)** Índice Multivariado do ENOS (IME) e Dipolo do Oceano Índico (DOI). O período de defasagem de 4 meses.

Associação com as anomalias mensais de concentração de clorófitas e Temperatura da Superfície do Mar

O modelo 2 ajustado para a defasagem de 5 meses foi o que melhor explicou a associação entre o número de ocorrências de *A. tropicalis* no litoral do RS e as anomalias de mensais de concentração de clorófitas e TSM no período entre 1998 e 2013. Esse modelo explicou 65% da variabilidade temporal nas ocorrências de *A. tropicalis* (Tabela 5).

Tabela 5 Modelos concorrentes para associação das anomalias da concentração de Clorófitas (aClor) e da Temperatura da Superfície do Mar (aTSM) com as ocorrências de *Arctocephalus tropicalis*, no litoral do Rio Grande do Sul entre 1998 e 2013. Valores do critério de informação de Akaike (AICc), Peso (AICcWt), Delta_AICc e número de parâmetros de cada modelo (K), coeficiente de determinação (R²) do melhor modelo.

Modelos	AICc	AICcWt	Delta_AICc	K	R ²
M2: 5 meses_aClor + aTSM	247,60	1,00	0,00	7	0,65
M1: 4 meses_aClor + aTSM	260,06	0,00	12,43	7	

Foi observada uma relação negativa dos efeitos das aClor sobre as ocorrências de *A. tropicalis*, ou seja, o maior número de registros de *A. tropicalis* ocorreu durante períodos de aClor negativas (Tabela 6 e Fig. 6a). Na Figuras 7a e b, exceto para o ano de 2003, é demonstrada essa relação inversa para todos os anos com um maior número de registros de *A. tropicalis* (1998, 2000, 2002, 2006 e 2009). E a mesma relação foi observada com os meses (Fig. 8a e b). Embora não tenha sido estatisticamente significativo de acordo com o critério do estudo, os meses com aTSM positivas apresentaram uma associação com o número de ocorrências de *A. tropicalis* na área de estudo (Fig. 8c). O maior número de ocorrências dessa espécie no litoral do RS ocorreu durante as aTSM positivas na região das colônias reprodutivas nas Ilhas Gough e Tristão da Cunha, de acordo com o modelo de retrocálculo proposto de 5 meses (Fig. 6b).

Tabela 6 Estimativas dos efeitos das variáveis preditoras sobre o número de ocorrências do lobo-marinho-subantártico, *Arctocephalus tropicalis*, com base no modelo 2: anomalias de concentração de Clorófitas (aClor), anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (aTSM). Em negrito as interações significativas ($p < 0,01$) (*) interação das variáveis.

Variáveis	Estimado (α)	Valor de Z	P
aClor	-0.55471	-3.001	0.00269
aClor*aTSM	0.32076	1.825	0.06804
aTSM	-0.01168	-0.071	0.94312

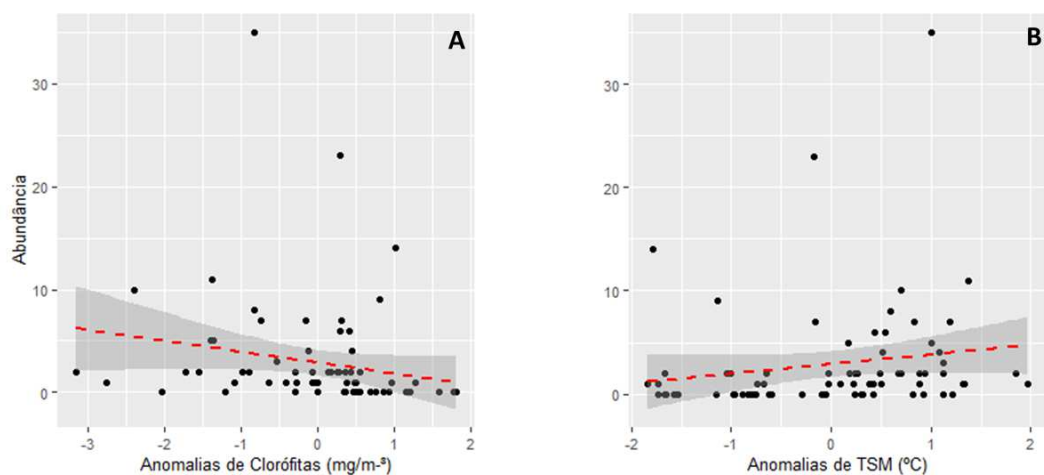


Fig. 6 Abundância dos lobos-marinhos-subantárticos, *Arctocephalus tropicalis*, em relação as **a)** anomalias de concentração de Clorófitas (mg/m³) e **b)** anomalias de TSM (°C) entre 1998 a 2013 no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. Os valores de anomalias são referentes à região das colônias reprodutivas na Ilha Gough e Tristão da Cunha no período de defasagem de 5 meses. A linha tracejada (vermelha) mostra a função GLM ajustada e a área sombreada indica os intervalos de confiança de 95%.

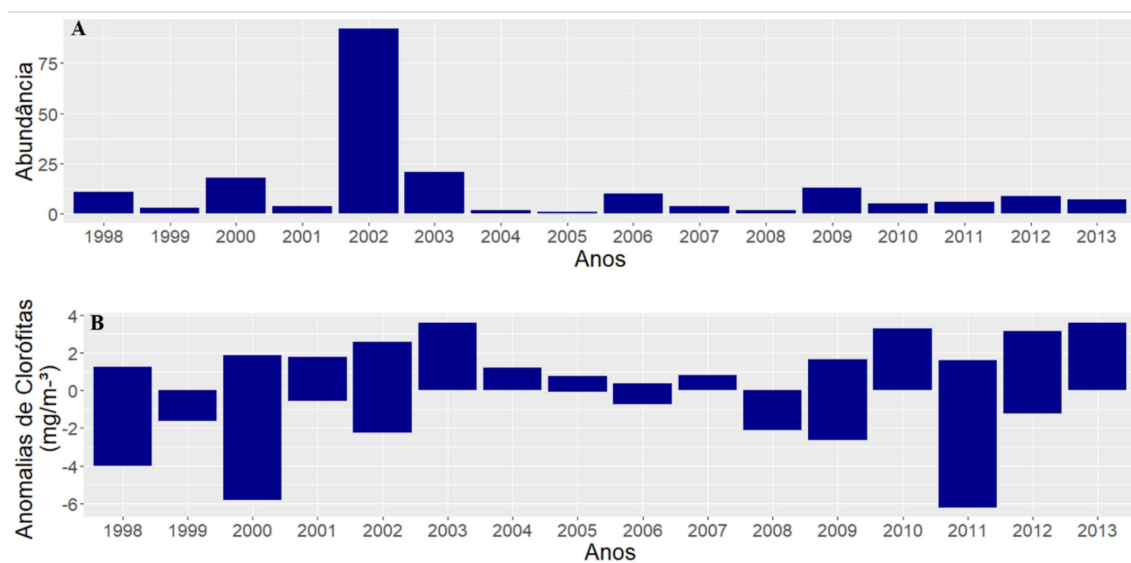


Fig. 7 a) Abundância das ocorrências dos lobos-marinhos-subantárticos, *Arctocephalus tropicalis*, coletados entre 1998 e 2013 no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil e as **b)** anomalias de concentração de Clorófitas (mg/m³) com defasagem de 5 meses referentes à região das colônias reprodutivas nas Ilhas Gough e Tristão da Cunha.

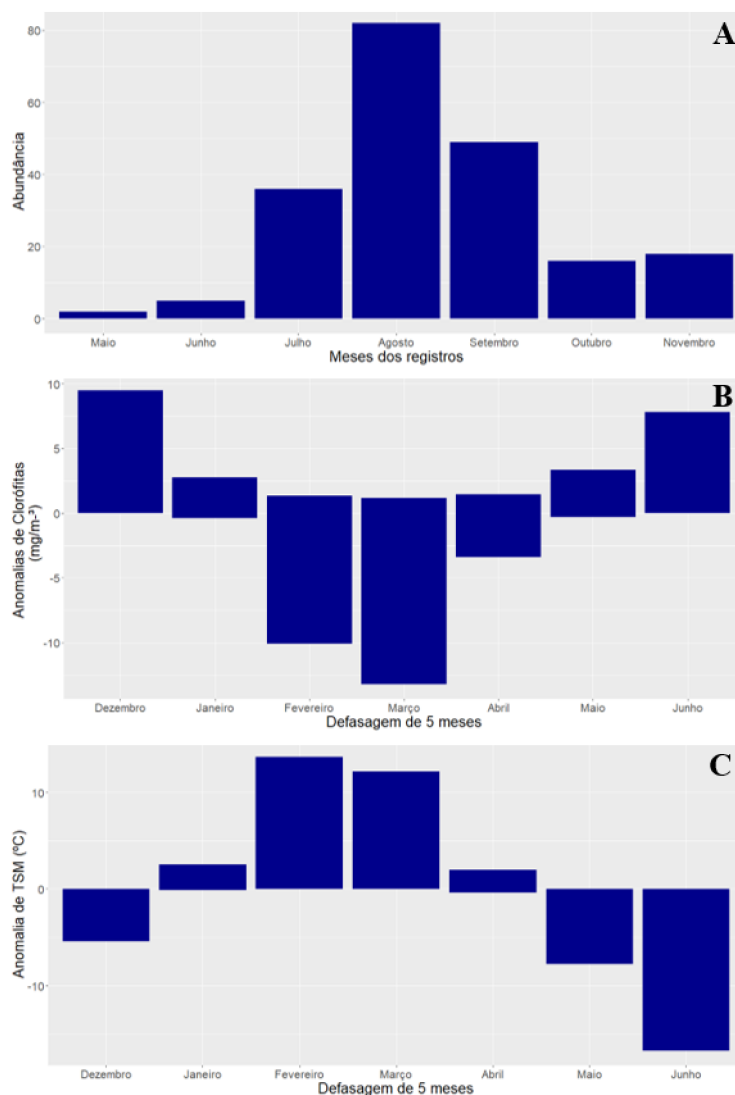


Fig. 8 a) Abundância das ocorrências nos meses de registros do lobo-marinho-subantártico, *Arctocephalus tropicalis*, coletados no período de maio a novembro de 1998 a 2013 no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil e as **b)** anomalias de Clorófitas (mg/m^{-3}) e **C)** anomalias de TSM ($^{\circ}\text{C}$), ambas com defasagem de 5 meses. Os valores de anomalias são referentes às colônias reprodutivas na Ilha Gough e Tristão da Cunha no período de defasagem de 5 meses.

Discussão e Conclusão

Foi encontrado um padrão temporal de predomínio de machos adultos em determinados anos (1994, 2000 2002 e 2003) e, principalmente, nos meses de julho, agosto e setembro no litoral do RS. Esse comportamento esteve associado aos padrões de variabilidade climática locais, o Dipolo do Oceano Atlântico Sul (DOAS) e Modo Anular Sul (MAS) interagindo com os padrões remotos, o Dipolo do Oceano Índico (DOI) e o Dipolo Subtropical do Oceano Índico (DSOI), influenciando as colônias reprodutivas da espécie nas Ilhas Gough e Tristão da Cunha, quatro meses antes da chegada da espécie ao sul do Brasil. Também foi observada a dependência dos padrões remotos de variabilidade climática, o El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e o DOI. Os resultados demonstraram que o maior número de ocorrências de *A. tropicalis*

ocorreu durante anomalias negativas de clorófitas na região das colônias reprodutivas da Ilha Gough e Tristão da Cunha cinco meses antes dos registros no sul do Brasil. Apesar das anomalias da TSM não terem sido significativas ao nível estabelecido no estudo, observou-se uma tendência de aumento das ocorrências de *A. tropicalis* durante meses com desvios positivos de TSM.

O mesmo predomínio de machos adultos foi detectado por Oliveira (1999) para as ocorrências de *A. tropicalis* no litoral norte do RS, entre 1982 e 1998. Moura et al. (2007) encontraram também um maior número de machos de *A. tropicalis* (10 machos e 2 fêmeas) para a costa do Rio de Janeiro entre 1994 e 2006. Shaughnessy e Ross (1980) registraram 22 espécimes errantes para a costa da África do Sul, sendo que destes 59% (n = 13) eram machos. O predomínio de machos de *A. tropicalis* foi observado também por Torres et al. (1984) no Arquipélago de Juan Fernández no Chile com registro de 41 espécimes errantes, dos quais 78% (n = 32) eram machos e 22% (n = 9) fêmeas. Praticamente todos os autores atribuíram esse maior número de machos adultos nas ocorrências extras limite de *A. tropicalis* e o baixo número de fêmeas adultas ao envolvimento das fêmeas adultas no longo cuidado parental com as crias nas colônias reprodutivas da espécie (um período de amamentação entre 10 e 11 meses), o que impossibilitaria que as fêmeas realizassem grandes deslocamentos durante este período (Bester, 1981). Em adição, a presença de *yearlings* no sul do Brasil poderia estar associada aos indivíduos recém-desmamados, já iniciando pequenos deslocamentos de forrageio no entorno de suas colônias reprodutivas (Bester, 1981). Esses *yearlings* poderiam ser levados até o litoral sul do Brasil pelas correntes marinhas associadas a eventos oceanográficos em virtude dos modos de variabilidade climática (Oliveira 1999).

Pinedo (1990) foi uma das primeiras autoras a reportar a espécie para o RS, registrando 23 espécimes para os meses de agosto e setembro entre 1980 e 1985. Contudo, a existência de um padrão temporal nessa região foi mencionado pela primeira vez por Oliveira (1999), por meio da coleta de carcaças da espécie encontradas entre 1982 e 1998, com a maior frequência para os meses de agosto e setembro de 1992, 1994 e 1998 no litoral norte do RS. Oliveira (1999) também descreveu a existência desse mesmo comportamento para a costa atlântica da América do Sul em anos específicos, porém devido a diversidade de esforços de coleta no continente a autora não apresentou nenhuma análise estatística desses dados. Prado et al. (2016) registraram 219 ocorrências de *A. tropicalis* na região litorânea do sul do Brasil entre 1976 a 2013. Segundo os autores, essa é a terceira espécie mais frequente entre os otariídeos e a segunda entre os lobos-marinhos nesse litoral. Os resultados desse estudo também corroboram os dados apresentados no presente estudo, com os meses de julho, agosto e setembro como os de maior ocorrência da espécie nos anos de 1984, 1992, 1998, 2000, 2002. Moura et al. (2007) encontraram 18 espécimes de *A. tropicalis* para a costa do Rio de Janeiro nos meses de maio a outubro entre 1994 e 2006, com base em dados de monitoramentos de longo prazo e registros fornecidos por salva-vidas, pescadores, banhistas e outros, após o exame dos animais ou das fotos disponíveis. Shaughnessy e Ross (1980) registraram, para a costa da África do Sul, 19 exemplares entre os meses de maio a setembro. Bastida e Rodriguez (2003) encontraram 53 indivíduos para a região da Província de Buenos Aires na Argentina entre maio e dezembro, sendo julho, agosto e setembro foram os de maior frequência de ocorrências.

Historicamente as ocorrências de *A. tropicalis* no litoral do RS foram atribuídas ao aumento populacional, e principalmente como explicação dos primeiros registros desta espécie na década de 1980

na costa brasileira e demais áreas fora de seus limites de distribuição (Pinedo, 1990). No entanto, o aumento populacional talvez não seja a única explicação para as flutuações na ocorrência dos espécimes erráticos no sul do Brasil, e talvez para outras regiões de ocorrências extra limites. Através dos resultados do presente estudo é sugerida que os registros de *A. tropicalis* na região analisada estariam associados aos padrões de variabilidade climática (MAS e DOAS) com influência local, ou seja, na bacia oceânica do Atlântico Sul, e a baixa concentração de clorófitas, quando essas variáveis estivessem agindo conjuntamente entre quatro e cinco meses antes na região das principais colônias reprodutivas da espécie nas Ilhas de Gough e Tristão da Cunha.

A partir desses resultados, é sugerido que esse seja um possível mecanismo de dispersão dos espécimes, sendo os fatores, mencionados acima, os “gatilhos” que agiriam no período de saída dos espécimes de *A. tropicalis* de suas colônias reprodutivas mais próximas do sul do Brasil, porém, futuras análises são necessárias. Com base nos dados inéditos de telemetria (Bester, comunicação pessoal), assumiu-se que o período de deslocamento de *A. tropicalis* entre as colônias originárias e o litoral do RS duraria quatro meses, aproximadamente (Tabela 2). Dessa forma, a saída dos espécimes foi estimada para os meses do outono austral (abril e maio), período que coincide com término da fase de muda nas suas colônias reprodutivas (Bester 1990). Após o período de muda os machos e algumas fêmeas não envolvidas no cuidado parental de filhotes saíam em busca de locais mais prósperos para forrageio, devido à baixa produtividade local, em consequência da diminuição da concentração de clorófitas nas proximidades das colônias reprodutivas, juntamente as águas superficiais oceânicas mais aquecidas.

Durante esses quatro meses de dispersão, os indivíduos sofreriam influência da variabilidade das frentes oceanográficas provocadas pelos padrões de variabilidade no período prévio de chegada ao Brasil. Estudos têm demonstrado que predadores de topo estão associados a frentes oceanográficas, onde encontram condições favoráveis de alimentação, independente do sistema oceânico (Kinder et al. 1983; Haney 1986; Ainley et al. 2005). George et al. (2000) verificaram que fêmeas de lobos-marinhos-subantárticos aparelhadas com transmissor satelital do tipo *Satellite Time Deph Recorder* (STDR) na Ilha de Amsterdam forragearam, principalmente, na Frente Subtropical e seguiam a variação latitudinal sazonal dessa frente. Além disso, as colônias reprodutivas de *A. tropicalis* sofreriam a influência das anomalias nas Frentes Antárticas e Subantárticas, como o deslocamento de ambas em direção ao sul, influenciado pelo MAS, DOAS e DSOI, ambos na fase positiva. Billany et al. (2010) estudaram os movimentos das Frentes Polar e Subantártica, além da Frente Subtropical, na região do Meridiano de Greenwich. Uma mudança rápida na posição da Frente Subtropical ocorreu de maio a agosto, quando essa moveu-se do extremo sul (38,8° S) para a posição norte (38,3° S). Os autores observaram uma variação significativa no deslocamento da Frente Subtropical em alguns anos, com cerca de 2° de latitude em 2002. Salée et al. (2018) investigaram a influência do MAS nas Frentes Subantártica e Polar, e verificaram diferenças nas interações entre o MAS e as Frentes nas diferentes bacias oceanográficas. Na região do Índico as frentes foram deslocadas para o sul (norte) durante eventos MAS positivos (negativos). No setor atlântico os autores sugeriram que ambas as frentes se deslocaram para o sul durante MAS positivo.

Eventos de DSOI interagindo com DOAS também podem alterar a posição das Frentes oceânicas. Bost et al. (2015), verificaram que evento DSOI extremamente positivo com um aquecimento anormal em

grande escala da TSM no sudoeste do Oceano Índico interagindo com DOAS positivo deslocaram a Frente Polar mais ao sul, aumentando as distâncias de forrageio dos pinguins-rei (*Aptenodytes patagonicus*). Esses deslocamentos das frentes afastariam as águas mais frias e ricas em nutrientes das Frentes Antárticas e Subantárticas em direção oposta à Frente Subtropical, diminuindo a produtividade primária e, conseqüentemente, levando a uma diminuição das presas de *A. tropicalis* na região das Ilhas Gough e Tristão da Cunha. Essa alta produtividade nas Frentes Antártica e Subantártica, poderia ser levada em direção ao RS pela dinâmica da ciclogênese no Hemisfério Sul influenciado pela fase positiva do MAS, o que poderia levar os espécimes de *A. tropicalis* a buscar alimento no litoral sul americano.

Aquino (2012) verificou que anos com eventos de MAS positivo durante o outono estavam relacionados com anomalias negativas mensais de temperatura do ar no sul do Brasil. Para tentar explicar o mecanismo desta correlação, o autor analisou os campos de anomalias de pressão ao nível do mar, velocidade zonal e meridional do vento para as estação de outono. A diminuição (aumento) da pressão no nível do mar favorece (desfavorece) a ciclogênese e as componentes zonal e meridional do vento estão relacionadas ao deslocamento no sentido longitudinal e latitudinal, respectivamente. Foram verificadas anomalias positivas de pressão (zonas de alta pressão) no sudeste e sul da América do Sul e uma marcada atividade ciclônica (zona de baixa pressão) no Oceano Atlântico Sul, na região de 40° S. A componente meridional do vento teve um deslocamento de sul para o norte, a partir do Mar de Weddell em direção ao sul do Brasil. As zonas de alta pressão associadas são responsáveis pelo deslocamento de massas de ar frio mais intensas, a partir do Mar de Weddell em direção ao sul do Brasil durante MAS positivo. Para a componente zonal do vento, Aquino (2013) observou um escoamento de vento mais ao sul das colônias reprodutivas, deslocando-se no sentido leste para oeste, em direção ao litoral sul americano. A sinergia entre esses eventos poderia tornar o litoral da região sul do Brasil propício para os indivíduos de *A. tropicalis* que buscariam áreas adequadas para forrageamento.

Outro evento que poderia influenciar nas ocorrências identificadas no estudo é o derramamento dos vórtices das Agulhas. O Oceano Atlântico Sul é influenciado por meio de trocas interoceânicas, como por exemplo, o “vazamento” das Agulhas (Lutjeharms 2006). Os eventos positivos de DOI e o El Niño podem impedir a entrada dos vórtices das Agulhas no Atlântico (Schouten et al. 2003). Em contra partida, Rodrigues et al. (2015) demonstraram que eventos de El Niño (La Niña) causam um enfraquecimento (fortalecimento) e mudança para norte (sul) da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), o que desencadeia a fase negativa (positiva) do DOAS. Esse deslocamento da ASAS para o sul, em associação com os ventos de oeste, conecta os giros subtropicais dos Oceanos Atlântico Sul e do Índico, ocasionando um aumento no vazamento de vórtices das Agulhas (De Ruijter 1982, Beal et al. 2011). Guerra et al. (2018) analisaram 140 anéis das Agulhas que escaparam para o Oceano Atlântico Sul no período de 1993 a 2016. Desses, 74 anéis foram considerados de vida longa e seguiram a oeste, onde três deles atingiram a Corrente do Brasil. Além da interação com a Corrente do Brasil, um dos anéis foi acompanhado interagindo com dois redemoinhos ciclônicos, o que resultou em um aumento de velocidade da corrente em três vezes.

Além de águas mais quentes e salinas, os vórtices das Agulhas podem levar nutrientes e fitoplâncton da Corrente das Agulhas no Oceano Índico para o Oceano Atlântico Sul. Dower e Lucas (1993) estudaram a diferença na concentração de clorofila-*a* entre o interior e a borda dos vórtices. Os autores

verificaram que a concentração de clorofila-*a* era menor no interior do vórtice e maior na borda. Ansoorge et al. (2010) também demonstram que vórtices ciclônicos apresentam maior concentração de clorofila-*a* nas bordas. Wege et al. (2019) investigaram como as características ambientais das áreas de forrageio diferem entre duas colônias de 121 fêmeas de *A. tropicalis* e *A. gazella* coletadas durante o verão e o inverno (2009-2015) no Oceano Índico. Os autores também investigaram a influência do ciclo sazonal sobre esses fatores ambientais e verificaram que durante o inverno, as fêmeas de ambas as espécies forragearam mais em regiões associadas a redemoinhos ciclônicos. Para os autores, esses vórtices poderiam fornecer durante o inverno austral bolsões de produtividade dentro de um habitat que, de outra forma, não possui recursos. Os vórtices das Agulhas em deslocamento no Oceano Atlântico Sul poderiam servir de bolsões de produtividade para os indivíduos de *A. tropicalis* em dispersão para outras áreas do Atlântico Sul.

As baixas concentrações de clorófitas juntamente com águas oceânicas superficiais aquecidas nas proximidades das colônias reprodutivas das Ilhas Gough e Tristão da Cunha no período do estudo, poderiam influenciar a dispersão de *A. tropicalis* para áreas distantes de suas colônias em busca de áreas adequadas para forrageio. Bester (1981) analisou as mudanças sazonais dessa população na Ilha Gough e verificou que durante março e abril ocorre uma diminuição no número de animais na colônia reprodutiva. Arthur et al. (2017), utilizaram modelos de habitat para prever quais fatores ambientais estariam influenciando a escolha de habitat de forrageio de 184 fêmeas de lobo-marinho-antártico (*A. gazella*). Juntamente com velocidade do vento, batimetria e distância da colônia reprodutiva, a concentração de clorofila-*a* e a TSM, foram as principais variáveis na escolha do habitat de forrageio. Segundo os autores, as fêmeas do estudo apresentaram uma escolha clara, passando por áreas de qualidade presumivelmente baixa em busca de habitats, provavelmente, com melhores condições de produtividade.

Os resultados apresentados na presente análise sugerem uma rota mais direta desde as colônias mais próximas da espécie nas Ilhas Gough e Tristão da Cunha. Estudos para outras localidades sugerem outra possível rota de dispersão da espécie em direção à costa atlântica da América do Sul via Sistema Anticiclônico do Atlântico Sul (Rodriguez et al. 1995; Oliveira, 1999; Ferreira et al. 2008). Rodriguez et al. (1995) foi o um dos primeiros a documentar os registros da espécie na América do Sul e as possíveis rotas de dispersão via Sistema Anticiclônico do Atlântico Sul, a partir de estudos com etiquetas plásticas de deriva (*plastic drift cards*) mencionados em Stander et al. (1969) e Shannon et al. (1973). Em sua revisão sobre a espécie, Bastida e Rodriguez (2003) propõem que esse seriam conduzidos pela Corrente de Benguela em direção norte e nas proximidades do Equador os lobos-marinhos-subantárticos seriam levados pela Corrente Sul-Equatorial em direção oeste para a costa brasileira. Oliveira (1999) sugeriu um deslocamento em quase linha reta a partir de suas colônias no Atlântico Sul e concordou com a proposta de Rodriguez et al. (1995) e Bastida e Rodriguez (2003) sobre o uso do Sistema Anticiclônico pelos espécimes para explicar as ocorrências do nordeste do Brasil. Contudo, Ferreira et al. (2008) detectaram um espécime na costa do RS oriundo das Ilhas Crozet (45°95'S; 50°33'E), localizada entre os continentes Africano e Australiano, no oceano Índico Sul. Os autores sugeriram que esse indivíduo teria percorrido aproximadamente 16.500 km em direção oeste no sentido horário, provavelmente auxiliado pela corrente de Deriva de Oeste e ao redor da Antártica e alcançando a Corrente fria das Malvinas, onde seria levado até o sul do Brasil.

O método mais direto para se determinar as rotas e/ou movimentos de uma espécie com grande poder de dispersão como *A. tropicalis* seria a telemetria satelital. Dessa forma, a única informação disponível para as colônias reprodutivas da espécie na parte ocidental do Oceano Atlântico Sul são os dados não publicados de aparelhamento e monitoramento incompleto de duas fêmeas na Ilha Tristão da Cunha, as quais percorreram entre 1.500 km e 2.000 km em direção à América do Sul na latitude 45° S durante 2 meses, sugerindo um caminho em quase linha reta desde suas colônias (Bestler, comunicação pessoal). Uma vez que os indivíduos de *A. tropicalis* apresentaram registros de ocorrências desde o Nordeste até o sul do Brasil, parece factível que ambas as rotas sejam utilizadas. Espécimes com registros mais ao norte poderiam ser influenciadas em seu deslocamento pelo Sistema Anticiclônico do Atlântico Sul e associado à corrente de Benguela, Sul-Equatorial e do Brasil e os espécimes com ocorrências no RS pela dinâmica das Frentes oceânicas e a formação de ciclogênese na região sudoeste do Oceano Atlântico Sul e influenciados pelo MAS e DOAS podendo ter influência com os demais padrões (DSOI, DOI e ENOS).

As análises preliminares do presente estudo fornecem um primeiro registro do padrão temporal nas ocorrências do lobo-marinho-subantártico, *A. tropicalis*, no sul do Brasil bem como evidências estatísticas da sua associação com padrões de variabilidade climática e variáveis ambientais locais (concentração de clorófitas e temperatura da superfície do mar). De uma maneira geral, estudos que investigam variáveis climático-oceanográficas, são geralmente realizados com indivíduos aparelhados com transmissores satelitais (Ream et al. 2005; Campagna et al. 2006; Lan et al. 2013; Constable et al. 2014; Bost et al. 2015). Contudo, a análise de espécimes mortos encontrados nas praias também é uma fonte importante de dados, permitindo a observação de padrões temporais e biológicos associados ao período dessas ocorrências. Desta forma, análises futuras são necessárias através do estabelecimento das relações entre essas ocorrências e outros fatores, por exemplo, físicos (ventos, correntes, vórtices das Agulhas do Índico e altura da superfície do mar), químicos (concentração de carbono e salinidade) e biológicos (censos populacionais, disponibilidade de nutrientes, comportamento, teia trófica) elevando em consideração a defasagem temporal entre esses fatores as prováveis rotas de dispersão discutidas no presente análise.

Referências

- Ainley DG, Spear LB, Tynan CT, Barth JA et al (2005) Physical and biological variables affecting seabird distributions during the upwelling season of the Northern California current. *Deep Sea Research II* 52:123-143
- Ansorge IJ, Pakhomov EA, Kaehler S, Lutjeharms JRE, Durgadoo JV (2010) Physical and biological coupling in eddies in the lee of the South-West Indian Ridge. *Polar Biology* 33:747–759
- Aquino FE (2012) Conexão climática entre o Modo Anular do Hemisfério Sul com a Península Antártica e o Sul do Brasil. Dissertação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- Aquino FE, Viana DR., Simões JC, Carpenedo CB, Setzer AW (2013) The influence of the Southern Hemisphere Annular Mode in the mean monthly temperature spatial pattern in the region between the Antarctic Peninsula and Southern Brazil. In: V SIC Simpósio Internacional de Climatologia, 2013, Florianópolis. V SIC Simpósio Internacional de Climatologia.
- Arthur B, Hindell M, Bester M, De Bruyn PN, Trathan P, Goebel M, e Lea MA (2017). Winter habitat predictions of a key Southern Ocean predator, the Antarctic fur seal (*Arctocephalus gazella*). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 140, 171-181.
- Atkinson A, Hill SL, Pakhomov EA, Siegel V et al (2019). Krill (*Euphausia superba*) distribution contracts southward during rapid regional warming. *Nature Climate Change* 9:142-147
- Bastida R, Loureiro J, Quse V, Bernadelli A, Rodriguez D, Costa E (1999) Tuberculosis in a wild subantarctic fur seal from Argentina. *Journal of Wildlife Diseases* 35:796-798
- Bastida R, Rodríguez D (2003) Mamíferos marinos de Patagonia y Antártida. 1 ed. Vázquez Mazzini, Buenos Aires, Argentina
- Bates D, Mächler M, Bolker B, Walker S (2015) “Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4.” *Journal of Statistical Software* 67:1–48
- Beauplet G, Dubroca L et al (2004) Foraging ecology of subantarctic fur seals *Arctocephalus tropicalis* breeding on Amsterdam Island: seasonal changes in relation to maternal characteristics and pup growth. *Marine Ecology Progress Series* 273:211-225
- Behera SK, Yamagata T (2001). Subtropical SST dipole events in the southern Indian Ocean. *Geophysical Research Letters*, 28:327-330
- Bester MN (1981) Seasonal changes in the population composition of the fur seal *Arctocephalus tropicalis* at Gough Island. *South African Journal of Wildlife Research* 11:49-55
- Bester MN (1989) Movements of southern elephant seals and subantarctic fur seals in relation to Marion Island. *Mar Mammal Sci* 5:257–265
- Bester MN (1990) Reproduction in the male subantarctic fur seal *Arctocephalus tropicalis*. *Journal of Zoology* 222:177–185
- Bester MN, Jaarsveld ASV (1994) Sex-specific and latitudinal variance in postnatal growth of the Subantarctic fur seal (*Arctocephalus tropicalis*). *Canadian Journal of Zoology* 6:1126-1133

- Bester MN, Ryan PG, Dyer BM (2003) Population numbers of fur seals at Prince Edward Island, Southern Ocean. *African Journal of Marine Science* 25:549-554
- Bester MN, Wilson JW, Burle MH, Hofmeyr GJG (2006) Population trend of Subantarctic fur seals at Gough Island. *South African Journal of Wildlife Research* 36:191-194
- Billany W, Swart S, Hermes J, Reason CJC (2010). Variability of the Southern Ocean fronts at the Greenwich Meridian. *Journal of Marine Systems* 82:304-310
- Bost CA, Cotté C, Terray P et al (2015). Large-scale climatic anomalies affect marine predator foraging behaviour and demography. *Nature communications* 6:1-9
- Campagna C, Piola A R, Marin M R, Lewis M, Fernández T (2006) Southern elephant seal trajectories, fronts and eddies in the Brazil/Malvinas Confluence. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 53:1907-1924
- Confalonieri, UEC (2003) Variabilidade climática, vulnerabilidade social e saúde no Brasil. *Terra livre* 1:193-204
- Constable AJ, Melbourne-Thomas J, Corney SP et al (2014) Climate change and Southern Ocean ecosystems I: how changes in physical habitats directly affect marine biota. *Global change biology* 20:3004-3025
- Coulson T, Clegg S. (2014) Population biology: Fur seals signal their own decline. *Nature* 511:414-415
- David JHM, Mercer J, Hunter K (1993) A vagrant subantarctic fur seal *Arctocephalus tropicalis* found in the Comores. *South African Journal of Zoology* 28:61-62
- David JHM, Salmon L (2003) Records of the subantarctic fur seal from Rodrigues and Mauritius, Indian Ocean. *African Journal of Marine Sciences* 25:403-405
- De Ruijter W (1982) Asymptotic analysis of the Agulhas and Brazil Current systems. *Journal of Physical Oceanography* 12:361–373
- Dower KM, Lucas MI (1993) Photosynthesis-irradiance relationships and production associated with a warm-core ring shed from the Agulhas Retroflexion south of Africa. *Marine Ecology-Progress Series* 95:141-141
- Ferreira JM, Oliveira LR, Wynen (2008) Multiple origins of vagrant Subantarctic fur seals: a long journey to the Brazilian coast detected by molecular markers. *Polar Biology* 31:303-308
- Frainer GV, Heissler L, Moreno IB (2018) A wandering weddell seal (*Leptonychotes weddellii*) at Trindade Island, Brazil: the extreme sighting of a circumpolar species. *Polar biology* 41:579-582
- Forcada J, Trathan PN, Murphy EJ (2005) The effects of global climate variability in pup production of Antarctic fur seals. *Ecology*. 9:2408-2417

- Forcada J, Hoffman JI (2014) Climate change selects for heterozygosity in a declining fur seal population. *Nature* 511:462-465
- Gales NJ, Coughran D, Queale LF (1992) Records of Subantarctic fur seals *Arctocephalus tropicalis* in Australia. *Australian Mammalogy* 15:135-138
- Garrigue C, Ross G (1996) A record of the subantarctic fur seal, *Arctocephalus tropicalis*, from Madagascar, Indian Ocean. *Marine Mammal Science* 125:624-626
- Georges JY, Bonadonna F, Guinet C (2000) Foraging habitat and diving activity of lactating Subantarctic fur seals in relation to sea-surface temperatures at Amsterdam Island. *Marine Ecology Progress Series* 196:291-304
- Geraci JR, Lounsbury, VJ (2005) *Marine mammals ashore: a field guide for strandings*. National Aquarium in Baltimore
- Goldsworthy SD, Shaughnessy PD (1989) Subantarctic fur seals *Arctocephalus tropicalis* at Heard Island. *Polar Biology* 9:337-339
- Guerra LAA, Paiva AM, Chassignet EP (2018) On the translation of Agulhas rings to the western South Atlantic Ocean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 139:104-113
- Guinet C, Jouventin P, Georges JY (1994) Long term population changes of fur seals *Arctocephalus gazella* and *Arctocephalus tropicalis* on subantarctic (Crozet) and subtropical (St. Paul and Amsterdam) islands and their possible relationship to El Niño Southern Oscillation. *Antarctic Science* 6:473-478
- Guinet C, Dubroca L, Lea MA, Goldsworthy SD, Cherel Y et al (2001) Spatial distribution of foraging in female Antarctic fur seals *Arctocephalus gazella* in relation to oceanographic variables: a scale-dependent approach using geographic information systems. *Marine Ecology Progress Series* 219:251-264
- Gray, JE (1872) On the sea-bear of New Zealand (*Arctocephalus cinereus*) and the North-Australian sea-bear (*Gypsophoca tropicalis*). In: *Proceedings of the Zoological Society of London* 653-662
- Haney JC (1986) Seabird segregation at Gulf Stream frontal eddies. *Marine Ecology Progress Series* 28:279-285
- Heiberger RM (2020) *HH: Statistical Analysis and Data Display: Heiberger and Holland*. R package version 3.1-40, <https://CRAN.R-project.org/package=HH>
- Hofmeyr GJG, Bester MN, Jonker FC (1997) Changes in population sizes and distribution of fur seals at Marion Island. *Polar Biology* 17:150-158
- Hofmeyr GJG, Bester MN, Makhado AB, Pistorius PA (2006a) Population changes in Subantarctic and Antarctic fur seals at Marion Island. *Polar Biology* 17:150-158.
- Hofmeyr, G. J. G., Bester, M. N. and Kirkman, S. P. 2006b. Vagrant Subantarctic fur seals at Bouvetøya. *Journal of African Zoology* 41: 145-146.

- Hofmeyr GJG (2015) *Arctocephalus tropicalis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T2062A45224547. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T2062A45224547.en>. Accessed 01 June 2020
- Kinder TH, Hunt GL Jr, Schneider D, Schumacher JD (1983) Correlations between seabirds and oceanic fronts around the Pribilof Islands, Alaska. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 16:309-319
- King, JE (1964) *Seals of the world*. British Museum (Natural History), London, U.K.
- Lan KW, Evans K, Lee MA (2013) Effects of climate variability on the distribution and fishing conditions of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the western Indian Ocean. *Climatic change* 119:63-77
- Lumban-Gaol J, Leben RR, Vignudelli S et al (2015) Variability of satellite-derived sea surface height anomaly, and its relationship with Bigeye tuna (*Thunnus obesus*) catch in the Eastern Indian Ocean. *European Journal of Remote Sensing* 48:465-477
- Lutjeharms JRE (2006) *The Agulhas Current.*, Berlin: Springer. 330 p.
- Marshall G (2003) Trends in the Southern Annular Mode from observations and reanalyses. *Journal of Climate* 16:4134-4143
- Mazerolle MJ (2019) AICcmodavg: Model selection and multimodel inference based on (Q)AIC(c). R package version 2.2-2. <https://cran.r-project.org/package=AICcmodavg>
- Milmann L, Machado M, Oliveira LR, Ott PH (2019) Far away from home: presence of fur seal (*Arctocephalus sp.*) in the equatorial Atlantic Ocean. *Polar Biology* 1-6
- Mo KC, WHITE GH (1985) Teleconnections in the southern hemisphere. *Monthly Weather Review* 113:22-37
- Moura JF, Siciliano S (2007) Straggler Subantarctic Fur Seals (*Arctocephalus tropicalis*) on the coast of Rio de Janeiro state, Brazil. *Latin American Journal of Aquatic Mammals* 6:103–107
- NEO – Nasa Earth Observation. "Sea Surface Temperature (1 Month – AQUA/MODIS)" Retrieved from <https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MYD28M>. Accessed 03 nov 2020
- NCAR - National Center for Atmospheric Research Staff (Eds). Last modified 15 Jul 2019. "The Climate Data Guide: Multivariate ENSO Index." Retrieved from <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/multivariate-enso-index>. Accessed 20 jan 2019
- Oliveira LR (1999) Caracterização dos padrões de ocorrência dos pinípedes (Carnivora: Pinnipedia) ocorrentes no Litoral do Rio Grande do Sul, Brasil, entre 1993 e 1999. Dissertação, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

- Oliveira LR, Danilewicz DS, Martins MB et al (2001) New records of the Antarctic fur seal, *Arctocephalus gazella* (Peters, 1875) to the Brazilian coast. *Comunicações do Museu de Ciências e Tecnologia da PUCRS, Série Zoologia* 14:201-207
- Oliveira LR, Arias-Schreiber M, Meyer D, Morgante JS (2006a) Effective population size in a bottlenecked fur seal population. *Biological Conservation* 4:505-509
- Oliveira LR, Machado R, Alievi MM, Wurdig, NL (2006b) Crabeater seal (*Lobodon carcinophaga*) on the coast of Rio Grande do Sul state, Brazil. *Latin American Journal of Aquatic Mammals* 5:145-148
- Oliveira LR, Meyer D, Hoffman J, Majluf P, Morgante JS (2009) Evidence of a genetic bottleneck in an El Niño affected population of South American fur seals, *Arctocephalus australis*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 8:1717-1725
- Oliveira LR (2013) Carnívoros marinhos. In Weber MM, ROMAN C, CÁCERES N. C. (eds) *Mamíferos do Rio Grande do Sul*. Editora UFSM, Santa Maria, pp 405-427
- Payne MR (1979) Fur seals *Arctocephalus tropicalis* and *A. gazella* crossing the Antarctic Convergence at South Georgia. *Mammalia* 43:93-98
- Pinedo MC (1990) Ocorrência de Pinípedes na costa brasileira. *Garcia de Orta, Sér. Zool., Lisboa* 15:37-48
- Prado JHF, MATTOS PH, SILVA KG, SECCHI ER (2016) Long-Term Seasonal and Interannual Patterns of Marine Mammal Strandings in Subtropical Western South Atlantic. *Plos one* 11. doi:10.1371/journal.pone.0146339
- R version 3.6.2 (2019-12-12) "Dark and Stormy Night" Copyright (C) (2019) The R Foundation for Statistical Computing Platform: x86_64-w64-mingw32/x64 (64-bit)
- Ream RR, Sterling JT, Loughlin TR (2005) Oceanographic features related to northern fur seal migratory movements. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 52:823-843
- Reviere B (2006) *Biologia e Filogenia das Algas*. Porto Alegre: ARTMED Editora S.A
- Ridgway SH, Harrison RJ (1981) *Handbook of marine mammals*, London, Academic Press, vol. 1, 235p
- Rodriguez D, Bastida R, Morón S, Loureiro J (1995) Registros de lobos marinos subantárticos, *Arctocephalus tropicalis*, em Argentina. In: VI Congresso Latinoamericano de Ciencias del Mar. Mar del Plata. Argentina. Resúmenes. p.170
- Rodrigues RR., Campos EJD, Haarsma ER (2015) The Impact of ENSO on the South Atlantic Subtropical Dipole Mode. *Journal of Climate* 28:2691–2705
- Rousseaux CS, Gregg WW (2014) Interannual variation in phytoplankton primary production at a global scale. *Remote sensing* 1:1-19

- Saji NH, Goswami BN, Vinayachandran PN, Yamagata T (1999) A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature* 401:360–363
- Sallée JB, Speer K, Morrow R (2008) Response of the Antarctic Circumpolar Current to atmospheric variability. *Journal of Climate* 21:3020-3039
- Schouten MW, de Ruijter WPM, van Leeuwen PJ, Dijkstra HA (2002) An oceanic teleconnection between the equatorial and southern Indian Ocean. *Geophysical Research Letters* 16:59-1-59-4
- Shannon LV, Campbell JA, Stander JH (1973) Oceanic circulation deduced from plastic drift cards. Sea Fisheries Branch Investigational Report, 108:31
- Shaughnessy PD, Ross JP (1980) Records of the Subantarctic fur seal (*Arctocephalus tropicalis*) from South Africa with notes on its biology and some observations of captive animals. *Annals of the South African Museum* 82:71-89
- Shaughnessy PD, Burton HR (1986) Fur seals *Arctocephalus spp.* At Mawson Station, Antarctica, and in the Southern Ocean. *Polar Records* 23:79-81.
- Shaughnessy PD (1993) The status of fur seals in the Australian sub-Antarctic: information brochure number 3. Antarctic Society of Australia, Pymble, Australia.
- Shaughnessy PD, Kemper CM, Stemmer D, Mckenzie J (2014) Records of vagrant fur seals (family Otariidae) in South Australia. *Aust Mammal* 36:154–168
- Simões-Lopes PC, Drehmer CJ, Ott PH (1995) Nota sobre os Otariidae e Phocidae (Mammalia: Carnivora) da costa norte do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, Brasil. *Biociência* 3:173-181
- Standar GH, Shannon LV, Campbell JA (1969) Average velocities of some ocean currents as deduced from the recovery of plastic drift cards. *Journal of Marine Research* 27:293-300
- Taylor RH (1990) Records of subantarctic fur seals in New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 24:499-502.
- Tremberth KE (1997) The definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78:2771-2778
- Torres D, Aguayo A (1984) Presence of *Arctocephalus tropicalis* (Gray 1872) at the Juan Fernandez Archipelago, Chile. *Acta Zoologica* 172:130-134
- Torres D, Guerra C, Cardenas JC (1984) Primeros registros de *Arctocephalus gazella* y nuevos de *Arctocephalus tropicalis* y *Leptonychotes weddelli* en el archipiélago de Juan Fernández. *Série Científica INACH* 31:115-148
- Valdivia E, Arntz WE (1985) Cambios en los Recursos Costeros y su Incidencia en la Pesquería Artesanal durante «El Niño» 1982-1983

Veloza RS, Schiavetti A, Dórea-Reis LW (2009) Analysis of subantarctic fur seal (*Arctocephalus tropicalis*) records in Bahia and Sergipe, north-eastern Brazil. *Marine Biodiversity Records* 2

Venegas SA, Mysak LA, Straub DN (1997) Atmosphere–ocean coupled variability in the South Atlantic. *J. Climate* 10:2904–2920

Wege, M, de Bruyn PJN, Hindell MA, Lea MA, Bester MN (2019) Preferred, small-scale foraging areas of two Southern Ocean fur seal species are not determined by habitat characteristics. *BMC Ecology*, 19: 1-14

Wolter K, Timlin MS (2011) El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI. ext). *International Journal of Climatology*, 31:1074-1087

Wynen LP, Goldsworthy SD, Guinet C, Bester M.N, Boyd IL, Gjertz I, Hofmeyr GJG, et al (2000) Post sealing genetic variation and population structure of two species of fur seals (*Arctocephalus gazella* and *A. tropicalis*). *Molecular Ecology* 9:299-314

Zuur A, Ieno EM, Walker N, Saveliev AA, Smith GM (2009) *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. Springer Science & Business Media