

Caracterização Oceanográfica de Áreas Ecologicamente Favoráveis para Elefantes-Marinheiros do Sul (*Mirounga leonina*) na Antártica através de Telemetria ARGOS

Marcelo Freitas Santini¹
Ilana E. K. C. Wainer¹
Ronald Buss de Souza²
Mônica M. C. Muelbert³
Mark A. Hindell⁴

¹ Universidade de São Paulo – USP
Laboratório de Oceanografia Física, Clima e Criosfera
Instituto Oceanográfico
05508-120 – São Paulo - SP, Brasil
santini@usp.br, wainer@usp.br

² Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 5021 - 97105-970 – Santa Maria - RS, Brasil
ronald@dsr.inpe.br

³ Universidade Federal do Rio Grande –FURG
Instituto Oceanográfico
Caixa Postal 474 - 96201-900 – Rio Grande - RS, Brasil
monica.muelbert@furg.br

⁴ University of Tasmania
Antarctic Wildlife Research Unit
GPO Box 252-05 - TAS, 7001, Australia
mark.hindell@utas.edu.au

Abstract. This paper describes two preferential regions for foraging of Southern Elephant Seals (*Mirounga leonina*), in the adjacent region of Abbott Ice Shelf and the adjacent region of Alexander I Island, Marguerite Bay, Wilkins Sound and Joinville Island. The collected oceanographic data help in the description of oceanic vertical structure and in identified the water masses in these areas. We show the seasonal variation of each region on the vertical ocean structure and identify the water masses presents in these regions using data collected by elephant seals with CTD-SRDLS. Are identified the follow water masses: Winter Water (WW), Upper Circumpolar Deep Water (UCDW) and Antarctic Surface Water (AASW). Occurs a variation of about 3° C in such areas in superficial waters from end of summer until late winter of 2008 and showed the inversion of the thermocline in the same period. The variations of superficial temperatures are a response of the oceanic coverage, in summer is free and in winter the cap of ice. The use of marine mammals gives an alternative to remote sensing of polar regions, lack or no monitored, with quality oceanic data in quasi-real time.

Palavras - chave: telemetria, mamíferos marinhos, massa d'água, Ano Polar Internacional, hidrologia Antártica,

1. Introdução

Mesmo com avanço do sensoriamento remoto ainda é difícil o monitoramento de regiões polares devido a fatores como a cobertura de gelo, nuvens e as resoluções espaciais e temporais necessárias para acompanhar fenômenos importantes como, por exemplo, o derretimento do manto de gelo. Foi identificado por Braun e Humbert (2009) um grande derretimento na região da plataforma de gelo Wilkins demonstrando o quanto estas regiões são sensíveis a pequenas variações de temperaturas. Formas tradicionais de coleta de dados

oceanográficos são também dificultadas pela dificuldade de amostrar abaixo do gelo marinho. Devido à conectividade global, seu tamanho e sua complexidade dinâmica, o conhecimento sobre a oceanografia do Oceano Austral é crítica para a melhora de nosso entendimento sobre o sistema climático global (Carter, et. al., 2008). Uma alternativa para o aumento da qualidade e quantidade de dados coletados no Oceano Austral encontra-se na utilização de plataformas de coletas de dados (PCDs). Lyndersen et al. (2001) foram pioneiros em fixar PCDs em animais marinhos (baleias beluga) para que esses animais, através de sua livre movimentação, servissem como instrumentos para a coleta de dados ambientais. As PCDs são rastreadas através de telemetria por satélites e podem conter sensores como mini-CTDs (*conductivity-temperature-depth*) que registram os perfis de temperatura, salinidade e pressão durante os mergulhos de animais marinhos de nado livre. Com dados coletados por PCDs, Lyndersen et al. (2001) geraram transectos verticais zonais e meridionais de dados oceanográficos em áreas cobertas por gelo.

Seguindo essas idéias, foi desenvolvido o projeto SEaOS (*Southern Elephant as Oceanographic Samplers*) que fixou PCDs em elefantes-marinhos do sul (*Mirounga leonina*). Esses animais são predadores de topo de cadeia trófica e realizam mergulhos profundos no Oceano Austral, sendo aptos a coletar dados em situações antes indisponíveis na prática (Charrassin et al., 2008; Boehme et al., 2008a,b). O projeto '*Marine Mammals Exploring the Oceans – Pole to Pole*' (MEOP) foi concebido como parte do Ano Polar Internacional (2007 a 2009), baseando-se no sucesso do SEaOS. Dez países (Austrália, Brasil, Canadá, França, Alemanha, Groelândia, Noruega, África do Sul, Reino Unido e Estados Unidos) estiveram envolvidos nesse esforço. Em conjunto, esses países fixaram 150 CTD – *Satellite Relay Data Loggers* (CTD-SRDLs) em mamíferos marinhos objetivando conhecer os padrões de movimentação, comportamento e ambiente por eles habitados através da coleta de perfis oceanográficos em regiões polares e do registro de sua localização em função do tempo.

A contrapartida brasileira ao projeto MEOP, o MEOP-BR, foi financiada pelo Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) durante o Ano Polar Internacional e teve seu centro de atividades localizado na Ilha Elefante (61,2° S 55,3°W), arquipélago das Shetlands do Sul na Antártica. O MEOP-BR instrumentou 10 fêmeas adultas de elefantes-marinhos com mini-CTD acoplados a PCDs após a muda de pele no ano de 2008. Para esse trabalho, das 10 fêmeas instrumentadas pelo MEOP-BR, foram escolhidas seis que se mantiveram na região próxima a plataforma de gelo Abbott e próximas as Ilhas Alexander I, Adelaide, Baía Marguerite e Plataforma Willkins a sudoeste da Península Antártica (Figura 1). Essas regiões são importantes locais de forrageio dessa espécie e, devido a sua vasta cobertura de gelo são regiões afetadas pelo impacto do seu derretimento.

Como objetivo geral, esse trabalho investiga as condições oceanográficas de salinidade, temperatura potencial e densidade potencial das regiões a sudoeste da Península Antártica durante o período que compreende o final do verão até próximo do final do inverno austral de 2008.

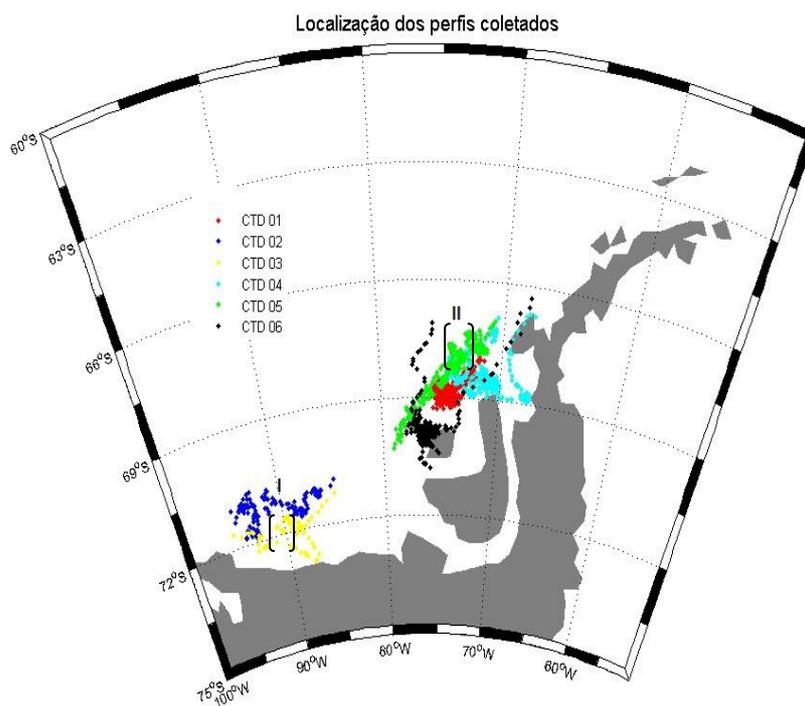


Figura 1 - Área de estudo a sudoeste da Península Antártica. As cores indicam os diferentes animais utilizados com PCDs no trabalho. São indicados como Região I a área adjacente a plataforma de gelo Abbott e como Região II a área próxima a Ilha Alexander I, Ilha Adelaide, Baía Marguerite e Plataforma de gelo Wilkins.

2. Material e Métodos

Os dados utilizados neste trabalho foram coletados durante o ano de 2008, após a fixação de PCDs em 10 fêmeas de elefantes-marinhos e escolhidas seis destas por permanecerem na região de interesse desse estudo. Estas PCDs são fixadas na parte posterior da cabeça dos animais (Figura 2) e, através dos mini-CTDs acoplados, medem a pressão (profundidade), temperatura e condutividade da coluna d'água. Após retornarem à superfície, as PCDs transmitem seus dados para o sistema ARGOS. O sistema, através de um processamento específico do sinal UHF, calcula a localização da transmissão com precisão de até 150 m. Os dados dos sensores e localização são então recebidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em Cachoeira Paulista (SP) e pela *Sea Mammal Research Unit* (SMRU), em St. Andrews, Escócia.

Os sensores de temperatura e condutividade tem uma resolução de $0,001^{\circ}\text{C}$ e $0,002$ mS/cm, respectivamente. Corrigidas, a pressão, temperatura e salinidade possuem uma acurácia de 2 dbar, $0,02^{\circ}$ - $0,03^{\circ}\text{C}$, e $0,03$ - $0,05$, respectivamente. Uma melhor descrição dos sensores e metodologia de transmissão e armazenamento pode ser obtida em Boheme et al. (2009). As PCDs utilizadas aqui são construídas pela SMRU. O período de amostragem de cada PCD e informações acerca do número de transmissões são mostrados na Tabela 1.

Os dados de temperatura (T) foram corrigidos para temperatura potencial (Θ) através dos algoritmos seawater. A densidade potencial foi calculada a partir dos dados de Θ , salinidade (S) e pressão através da Equação de Estado da Água do Mar de Millero (1986). Foram gerados diagramas T-S temporais e perfis verticais de temperatura potencial, densidade potencial e salinidade para as duas regiões onde houve maior permanência destes animais mostrando características e mudanças da estrutura vertical oceânica destas áreas e identificadas massas de água.



Figura 2 – Exemplo de PCD utilizada no trabalho fixa em uma fêmea de elefante-marinho do sul. A antena transmissora é facilmente identificada. A pequena caixa preta é o mini-CTD e atrás desse nota-se um elemento cilindro branco que é a caixa de bateria.

A distância média amostrada entre cada perfil foi 9,52 +/- 7,63 km, resultando em resolução média diária amostrada de 30,66 km, bem menor que distâncias amostradas por formas tradicionais de coletas de dados. A profundidade máxima atingida foi de 1028 m com uma média 407,34 +/-131,53 m nas coletas durante os mergulhos realizados pelos EMS.

Tabela 1 – Resumo dos períodos amostrados, totais de perfis coletados e transmissões por CTD e pelo conjunto.

CTD	Início	Final	Duração da coleta	Total de perfis	Taxa diária
1	21/02/2008	12/08/2008	174	565	3,25
2	28/02/2008	08/04/2008	41	142	3,46
3	26/02/2008	15/03/2008	19	65	3,42
4	01/03/2008	23/08/2008	176	562	3,19
5	01/06/2008	16/09/2008	108	337	3,12
6	17/02/2008	05/07/2008	143	462	3,23
Total			661	2133	
Média			110,17	355,50	3,28
Desvio Padrão +			67,21	213,63	0,13
-					

3. Resultados e Discussão

3.1 Estruturas de massas d'água

Os diagramas T-S de temperatura potencial-salinidade (Θ -S) foram construídos com dados coletados entre fevereiro e setembro de 2008 pelos diversos animais e mostram valores de temperatura potencial entre -1,9 °C e 1,9 °C e salinidades entre 32,95 e 34,9 para região I e entre -1,9 °C e 2,1 °C e 32,35 e 34,8 para a região II (Figura 3). Destas faixas de identificamos a Água Superficial Antártica (AASW) com temperaturas entre -1,5 °C e -1 °C e salinidades entre 33 e 33,7. O grande espalhamento dos dados no diagrama e a evolução de acordo com a

variação sazonal refletem a influência do derretimento do gelo marinho ocorrido no verão e posterior resfriamento e congelamento que ocorre no outono/inverno.

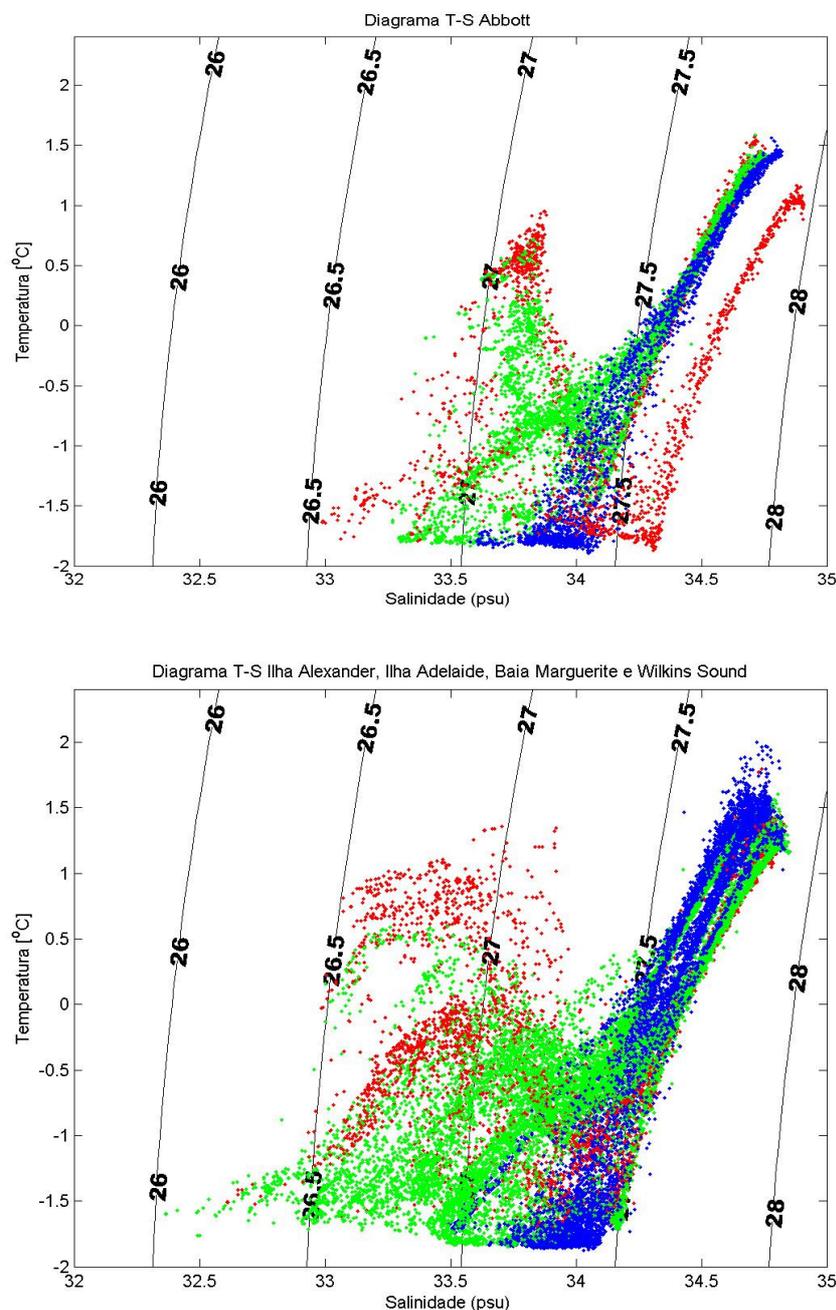


Figura 3 - Diagramas Θ -S temporais referentes as regiões I (acima) e II (abaixo). As diferentes cores são referentes a cada estação do ano sendo vermelho (verão), verde (outono) e azul (inverno), respectivamente.

Temperaturas mínimas entre $-1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ para salinidades de 34,1 são associadas com a Água de Inverno (WW), remanescente do inverno anterior que sofre mistura devido à exposição da camada superficial a forçantes mecânicos. Essa sofre posterior afundamento, dando lugar a AASW.

Águas com temperaturas de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e salinidades entre 34,6 e 34,74 representam a Água Circumpolar de Fundo (CDW). Essa é composta de duas variedades: Água Circumpolar Profunda Superior (UCDW) e Água Circumpolar Profunda Inferior (LCDW) (Klink et al., 2004). Nesse trabalho identificamos a UCDW, que é caracterizada por um máximo de temperatura para uma densidade potencial de 27,72. Uma massa d'água que é intermediária

entre a AASW e CDW, caracterizada por temperaturas entre 1 °C e -1,6 °C e salinidades entre 34,3 e 34,6 também foi encontrada em nosso estudo. Essa água se forma de uma massa água mais fria e menos salina e tem sido referida por diversos autores como CDW modificada (Klinck et. al., 2004, Smith et al., 1999, Smith e Klinck, 2002).

Os valores de temperatura entre 0 °C e 1,5 °C para salinidades menores que 34 são referentes a águas de origem no derretimento de gelo marinho que ocorre durante o verão que podem ser notadas tanto na região I como na região II.

3.2 Perfis Verticais

A Figura 4 mostra os perfis verticais de temperatura potencial, salinidade e densidade potencial para as duas regiões desse estudo. Nos perfis de temperatura podemos observar o resfriamento de mais que 3 °C entre o final do verão (vermelho) e meados do inverno (azul) de 2008 para águas de superfície que atingem profundidades entre 50 e 100 m. No verão, as águas superficiais possuem temperaturas de até 1,4° C chegando até -1,8 °C no inverno. Outra feição que se destaca é a inversão da termoclina, presente em ambas as regiões entre o início da amostragem e o final. A temperatura é a variável que possui maior alteração, isto se deve a processos sazonais como derretimento do gelo marinho e conseqüentemente contato e mistura gerada por exposição superficial ao vento. Em profundidade maiores que 200 m ocorre um aumento de cerca de 1,5 °C na coluna d'água que pode estar associado principalmente a inclusão da UCDW durante o inverno em ambas regiões. A inclusão de UCDW na plataforma continental é um elemento crítico nos balanços de sal e calor (Smith e Klinck, 2002).

Os perfis de salinidade sofrem um aumento (32,3 a 34) em seus valores do final do verão que se estende até o inverno na camada de até 200 m. Segundo Charrassin, et al. (2008) isso se deve principalmente a liberação de sal causada pela formação do gelo marinho. O processo pode ser inferido também pelos dados dos perfis de densidade potencial, que variou sazonalmente entre 26 até 27,4. As menores salinidades no período de verão (33,2) são conseqüência principal do derretimento de gelo que ocorre, reduzindo também os valores de densidade potencial (26,1) nesta camada. No inverno, acompanhado as variações dos perfis de salinidade (33,5 a 34), as densidades sofrem um aumento de 27 a 27,5.

Na camada que se estende entre 200 a 500 m, as maiores variações nos perfis de salinidade e densidade são observados na região I (34 até 35) e (27,4 até 27,8), respectivamente. Na região II, as variações dos perfis são bem menos pronunciadas. porém com uma sazonalidade bem marcada. Estes valores encontrados para salinidade e densidade se assemelham aos encontrados por Jacobs e Comiso (1996).

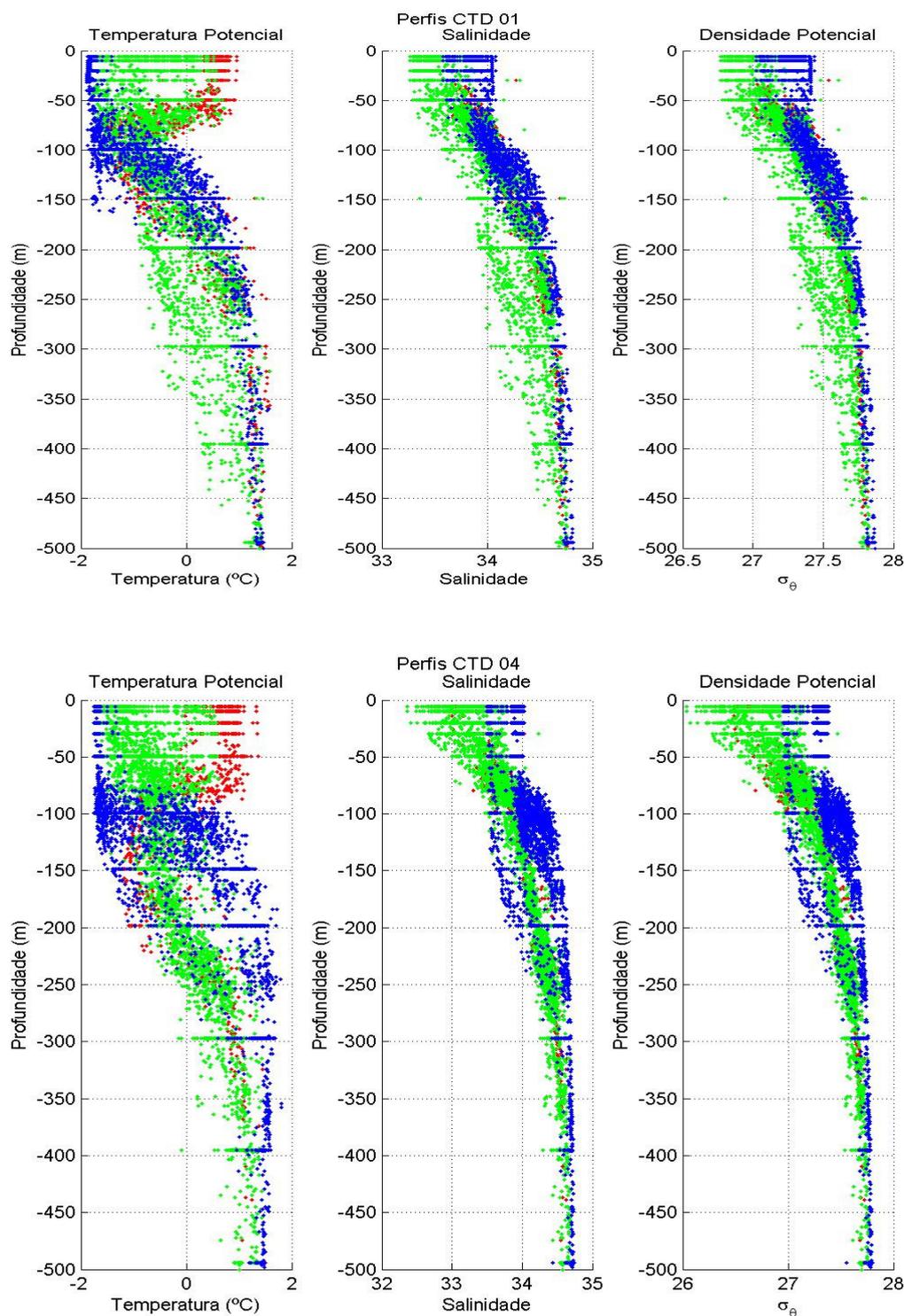


Figura 4 – Perfis verticais temporais de temperatura potencial, salinidade e densidade potencial referentes as regiões I (acima) e II (abaixo). As diferentes cores são referentes a cada estação do ano sendo vermelho (verão), verde (outono) e azul (inverno), respectivamente.

4. Conclusões e Trabalhos Futuros

Foi demonstrado que dados coletados por mamíferos marinhos podem fornecer dados de qualidade para o monitoramento de regiões oceanográficas de difícil acesso e para identificação de áreas de preferência forrageio de EMS.

São apresentados perfis verticais de temperatura potencial, salinidade e densidade potencial e sua dependência sazonal da cobertura oceânica que regula variações superficiais destes perfis e a variação da sazonal da termoclina. Identificamos as massas d'água WW, UCDW e AASW. A UCDW realiza inclusões na plataforma continental sudoeste Antártica influenciando na distribuição das variáveis hidrológicas em profundidades maiores que 200m.

Como propostas de aplicações destes dados podemos citar sua utilização em modelos oceânicos, cálculo de taxas de formação de gelo marinho através da aplicação da equação de balaço de sal, identificação de frentes oceânicas em praticamente todo o ano. Através desta metodologia de coleta de dados oceanográficos adquirimos mais uma alternativa para o monitoramento de regiões polares que são sensíveis as mudanças climáticas e ao aquecimento global.

Devem-se incentivar projetos como o GOOS (*Global Ocean Observing System*) que objetiva utilizar metodologia semelhante para a coleta de dados oceanográficos e monitoramento ambiental polar de regiões ocupadas por mamíferos marinhos.

4. Referências

Boehme, L., Meredith, M., Thorpe, S., Biuw, M., and Fedak, M.: Monitoring Drake Passage with elephant seals: Frontal structures and snapshots of transport, *Limnol. Oceanogr.*, 53, 2350–2360, 2008b. 1264, 1276

Boehme, L., Meredith, M., Thorpe, S., Biuw, M., and Fedak, M.: The ACC frontal system in the South Atlantic: monitoring using merged Argo and animal-borne sensor data, *J. Geophys. Res.*, 113, doi:10.1029/2007JC004647, 2008a. 1264, 1274

Braun, M.; Humbert, A. (2009). Recent Retreat of Wilkins Ice Shelf Reveals New Insights in Ice Shelf Breakup Mechanisms. *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE* . 6 263-267.

Carter, L., McCave, I. N., Williams, M. J. M. 2008. Circulations and water masses of the Southern Ocean: A Review. *Developments in Earth & Environmental Sciences*. Academic Press, Elsevier Science, F. Florindo and M. Siegert. DOI 10.1016/S1571-9197(08)00004-9. Cap. 4, 85-115.

Charrassin, J.-B., Hindell, M., Rintoul, S. R., Roquet, F., Sokolov, S., Biuw, M., Costa, D., Boehme, L., Lovell, P., Coleman, R., Timmermann, R., Meijers, A., Meredith, M., Park, Y.-H., Bailleul, F., Goebel, M., Tremblay, Y., Bost, C.-A., McMahon, C. R., Field, I. C., Fedak, M. A., and Guinet, C.: Southern Ocean Frontal Structure and Sea-Ice Formation Rates Revealed by Elephant Seals, *P. Natl. Acad. Sci. USA*, 105, 11634–11639, doi:10.1073/pnas.0800790105, 2008. 1264, 1276.

David A. Smith and John M. Klinck (2002), Water properties on the west Antarctic Peninsula continental shelf: a model study of effects of surface fluxes and sea ice, *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* Volume 49, Issue 21, 2002, Pages 4863-4886

Klinck, John M., Hofmann, Eileen E., Beardsley, Robert C., Salihoglu, Baris, Howard, Susan. 2004, Water-mass properties and circulation on the west Antarctic Peninsula Continental Shelf in Austral Fall and Winter 2001. *Deep Sea Res. I*. 51, 1925-1946

Lydersen, C., Nøst, O. A., Lovell, P., McConnell, B. J., Gammelsrød, T., Hunter, C., Fedak, M. A., and Kovacs, K. M.: Salinity and temperature structure of a freezing Arctic fjord monitored by white whales (*Delphinapterus leucas*), *Geophys. Res. Lett.*, 29(23), 2119, 2002.

Millero, F. J. *Chemical Oceanography*. Boca Raton: CRC Press, 1996.

Smith, D. A., Hofmann, E. E., Klinck, J. M., Lascara, C. M. 1999. Hydrography and circulation of the West Antarctic Peninsula Continental Shelf. *Deep Sea Res. I*, 46, 925-049.

Stanley Jacobs and Josefino C. Comiso (1996), Climate Variability in the Amundsen and Bellingshausen Seas, *Journal of Climate*, 10, 697-709.