

FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA

XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Ocorrência de baleias na Bacia de Santos e sua relação com a temperatura da superfície do mar

Espirito Santo, S.R.G.S.¹; Xavier, F.C.²; Soares-Filho, W.³; Galotta, C.⁴; Lima, F.M.⁵; Calado, L.⁶

^{1,3,4,5} Instituto de Pesquisa da Marinha, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, {sidneyrafaelgomes,fabianomarcos26}@gmail.com, {william.soares,catia.galotta}@marinha.mil.br

^{1,2,6} Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, fabiofcx@gmail.com, leandro_calado@hotmail.com

Resumo

O uso de técnicas automáticas de detecção acústica de baleias tem crescido nos últimos anos devido, principalmente, ao aumento do volume de dados gerados por um monitoramento acústico passivo mais intenso. Durante o inverno e a primavera, há maior concentração de baleias na costa brasileira devido à migração. Alguns estudos mostram que frentes térmicas têm o potencial de atrair as baleias, ainda que, em ambiente tropical, a maioria destes organismos não se alimente. Na costa brasileira estes estudos são escassos, não sendo encontrado um estudo que proponha uma análise integrada da distribuição de baleias e a temperatura da superfície do mar (TSM). O objetivo deste trabalho é avaliar as variações espaciais e temporais de gemidos de baleia durante o inverno e sua relação com a TSM. Com o intuito de detectar baleias, foi aplicado um detector automático nas gravações acústicas efetuadas por *glider*, entre 23/07/18 e 28/08/18, no âmbito do Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos (PMPAS-BS). Já a TSM, foi obtida por meio de produtos modelados do *Copernicus Marine Environmental Monitoring Service*. A realização do PMPAS-BS é uma condicionante exigida pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) para licenciamento ambiental federal das atividades de produção e escoamento de óleo da Petrobras na Bacia de Santos. Foram observados gemidos de baleia em 58% das gravações realizadas. Durante a noite, há maior concentração de detecções de gemido de baleia, onde cerca de 65% das gravações acústicas apresentaram detecção de gemido. As detecções ocorreram em boa parte da área amostrada, sem preferência por uma região específica. Parece que há mais baleias em águas mais frias. É necessário que estudos futuros abranjam uma série temporal maior, a fim de fornecer detalhamento mais conclusivo acerca da ocorrência de baleias e a TSM.

Palavras-chave: baleias, detecção automática, temperatura da superfície do mar.

PACS: 43.80.Jz, 43.80.Ka, 43.30.Sf

Abstract

The use of automatic acoustic whale detection techniques has grown in recent years, mainly due to increase volume of data generated by more intensive passive acoustic monitoring. During winter and spring, there is a greater concentration of whales on the Brazilian coast due to migration. Some studies show that thermal fronts have the potential to attract whales, even though, in a tropical ambient, most of these organisms do not feed. On the Brazilian coast, these studies are uncommon, not being found a study that proposes an integrated analysis of the distribution of whales and the sea surface temperature (SST). The objective of this work is to evaluate the spatial and temporal variations of whale moans during winter and its relationship with the SST. To detect a whale, an automatic detector was applied to the acoustic recordings made by gliders between 07/23/18 to 08/28/18, within the scope of the Santos Basin Underwater Acoustic Soundscape Monitoring Project (PMPAS-BS, in the Portuguese acronym). Yet the SST was obtained through modeled product of Copernicus Marine Environmental Monitoring Service. The execution of the PMPAS-BS is a conditioning required by the Instituto



Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) under the federal environmental licensing of the oil and gas production activities of Petrobras at Santos Basin. Whale moans were observed in 58% of executed records. During the night, there is the biggest concentration of detection of whale moan, where close to 65% of the acoustic records presented moan detection. The detections occurred at almost all the sampled area, with no preference for a specific region. It seems to have more whales in colder waters. It is necessary that future studies cover a longer time series to provide more conclusive details about the occurrence of whales and the SST.

Keywords: whale, automatic detection, sea surface temperature.

1. INTRODUÇÃO

Os cetáceos (baleias e golfinhos) são encontrados em diferentes faixas de latitude e em corpos hídricos distintos, como: rios, mares e oceanos [1]. A maioria das baleias são migratórias, no entanto existem baleias mais residentes como a baleia de *Bryde*. No geral, as baleias migratórias se alimentam no verão em altas latitudes, e se reproduzem no inverno em baixas latitudes. Contudo, já foram observados juvenis de baleias jubarte se alimentando na Bacia de Santos [2] e a baleia azul e a baleia sei se alimentando no noroeste da África [3]. A costa leste e nordeste do Brasil é bem requisitada no período do inverno e primavera, inclusive no trabalho de Zerbini et al. [4] é possível observar este trânsito entre baixas e altas latitudes, no monitoramento de baleias jubartes, a partir de telemetria satelital (Figura 1).

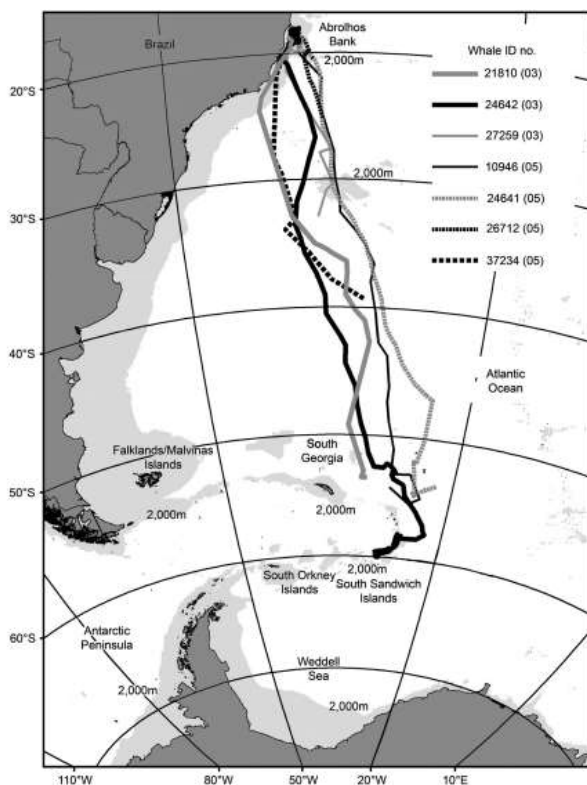


Figura 1 - Rotas de baleias jubarte no Atlântico Sul, a partir de telemetria satelital, onde a rota de cada indivíduo é representada por uma linha diferente. Fonte: Zerbini et al. [4].

Recentemente, o mapeamento acústico passivo (MAP) tem se mostrado uma técnica promissora nos estudos de distribuição de cetáceos, visto que técnicas convencionais de observação de cetáceos (avistagem embarcada e aérea) se restringem às horas claras e a condições de tempo favoráveis à navegação. Tem sido comum a automatização da detecção de mamíferos marinhos devido ao volume de dados acústicos gerados por um MAP.

Trabalhos pioneiros de detecção automática de cetáceos usando o PAMGUARD foram realizados no Pacífico Leste [5,6]. Recentemente, alguns trabalhos empregaram detecção automática de cetáceos na costa brasileira a partir do PAMGUARD [7] e outros programas de detecção automática [8,9].

Os movimentos migratórios de baleias são de difícil predição [10], devido à dificuldade de estimar a disponibilidade/densidade de sua presa. Muitos estudos têm procurado relacionar a distribuição de baleias com parâmetros ambientais (como a temperatura superficial do mar, clorofila, salinidade e corrente oceânica) e parâmetros fisiográficos (como a batimetria e distância para a costa) [11-13].

A temperatura da superfície do mar é um dos principais parâmetros para prever a distribuição de baleias. Existem trabalhos associando a maior densidade de baleias a temperaturas mais baixas e frentes térmicas [13-15], enquanto alguns trabalhos associam a maior densidade de baleias a temperaturas mais elevadas [12,16,17].

Devido à natureza secundária dos parâmetros ambientais em prever a distribuição de baleias, é necessário atentar para as peculiaridades de cada área. De maneira geral, nos sítios de alimentação, as baleias estão associadas a áreas de ressurgências, frentes térmicas e altas concentrações de clorofila, enquanto, nos sítios reprodutivos, as baleias estão associadas a uma região mais quente e a águas rasas [18].

Neste trabalho será investigada a relação entre a distribuição de baleias e a temperatura da superfície do mar, entre 23/07/18 e 28/08/18. O melhor entendimento desta relação pode colaborar para uma ponderação mais apropriada da variável temperatura em modelos de predição de baleias nesta área. O que, consequentemente, promoverá melhorias nas políticas de manejo destes organismos.

2. METODOLOGIA

A Bacia de Santos, situa-se na região sudeste da margem continental brasileira, entre os paralelos de 23°S e 28°S. Sua extensão abrange os estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina ocupando cerca de 350.000 km² e sua cota batimétrica atinge a marca de 3.000 metros de profundidade [19].

O mapeamento acústico da área foi realizado por um *glider* (do tipo *seaglider*), que possui sistema de monitoramento acústico passivo (PAM, do inglês *Passive Acoustic Monitoring*). Na Figura 2, é exibida a trajetória do *glider* na área de estudo, com a cruz em verde indicando a região onde houve gravação acústica.

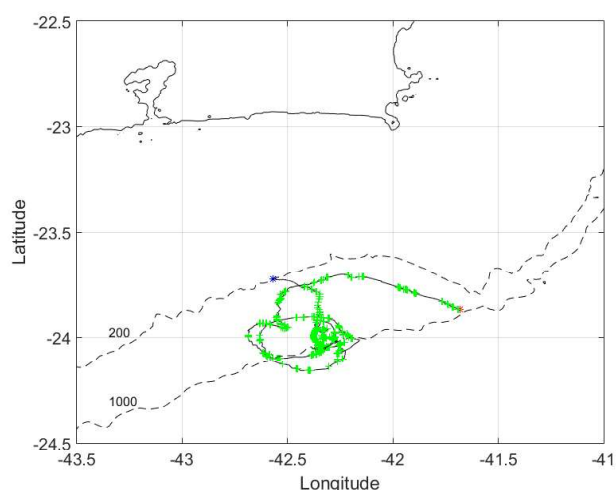


Figura 2 - Trajetória do glider em linha preta, com os pontos inicial e final da trajetória indicado por asterisco azul e vermelho, respectivamente. A cruz em verde indica a região onde houve gravação acústica. As linhas pontilhadas indicam as isobatimétricas de 200 e 1000 metros.

O *glider* foi programado para adquirir os dados acústicos recebidos por um hidrofone, durante movimentos de descida do *glider*, operando com frequência de amostragem de 125 kHz (Figura 3). Foram utilizadas as gravações acústicas de um *glider* do Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina na Bacia de Santos (PMPAS-BS), entre o período de 23/07/18 e 28/08/18. A realização do PMPAS-BS é uma condicionante exigida pelo licenciamento ambiental federal, conduzido pelo IBAMA, das atividades de produção e escoamento de óleo e gás da Petrobras na Bacia de Santos.

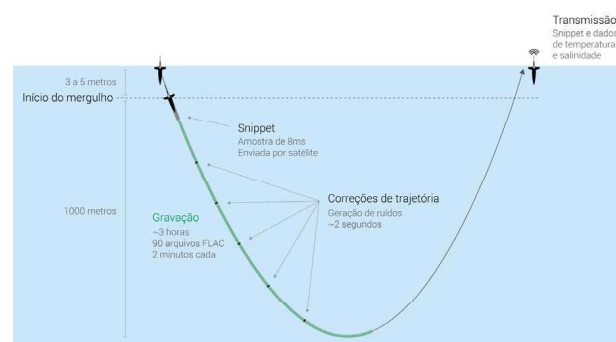


Figura 3 - Diagrama esquemático apresentando as etapas de um mergulho do glider. (Fonte: ProOceano).

Devido ao grande volume de dados acústicos gerados pelo MAP, foi utilizado o programa PAMGUARD para a detecção acústica automática [20]. Um detector de baixa frequência foi aplicado para encontrar sinais de baleias, entre as frequências de 50 e 3000 Hz e com uma relação sinal ruído de pelo menos 6 dB.

Após serem geradas as detecções automáticas, foi realizada uma etapa de pós-processamento para retirar detecções devidas ao ruído próprio do sistema de medição ou ao ruído de outras fontes abióticas. A partir do produto de detecção pós-processado, as detecções de gemidos foram marcadas manualmente, onde o tempo inicial e final foi sinalizado. Para



normalizar a análise, os recortes foram ponderados em função de sua duração. A partir deste momento as referências feitas aos recortes passam a ter a nomenclatura de detecções. Neste trabalho é assumido que a posição geográfica das gravações acústicas corresponde à posição da baleia eventualmente detectada.

Com a finalidade de avaliar os efeitos da temperatura superficial do mar na distribuição de gemidos de baleias, foi utilizado um produto modelado de temperatura, obtido através do *Copernicus Marine Environmental Monitoring Service* (CMEMS) [21]. Esta temperatura é oriunda de uma reanálise de resolução temporal diária e resolução espacial de $1/12^\circ$. Foram consideradas a temperatura da superfície do mar e o gradiente de temperatura da superfície do mar. Este gradiente foi definido como sendo a maior diferença de temperatura em um raio de 15 km.

Foram analisadas 78,4 horas de gravações acústicas efetuadas pelo *glider*. Estas gravações foram separadas em dois grupos: um grupo com detecções de gemidos de baleias e outro grupo sem detecção de gemidos de baleias. Estes dois grupos foram relacionados com a temperatura e o gradiente de temperatura da área, com o intuito de observar se existe alguma preferência por parte das baleias na escolha de *habitat* em função da temperatura da superfície do mar.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As 78,4 horas de gravações acústicas se dividiram em 45,2 horas de gravações com detecções e 33,2 horas de gravações sem detecções, mostrando que 57,6% das gravações registraram gemidos de baleia.

Recorrentemente, foi observado gemidos de baleia no período analisado. A partir de 13 de agosto os gemidos de baleia foram mais frequentes, com destaque para o período de 14 e 15 de agosto de 2018. Na Figura 4, no espectrograma, foi possível observar sinais tonais descendentes, referente a gemidos no dia 14/08/18, entre 200 e 400 Hz, cada pulso teve duração de 0,55-0,6 segundos.

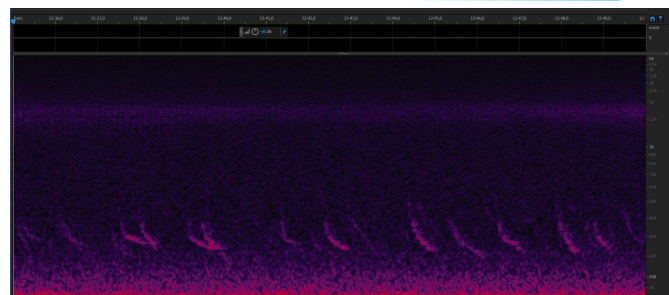


Figura 4 - Espectrograma de gemidos de baleias, janela de 15 segundos, entre 0 e 5kHz.

Os eventos de gravação sem detecção se concentraram nas horas claras do dia. No entanto, as detecções normalizadas indicaram que os sinais de gemidos ocorreram preferencialmente à noite, similar ao reportado por Bittencourt et al.[9]. Há uma leve concentração de detecções depois do anoitecer. Durante a noite cerca de 65% das gravações acústicas apresentaram sinal de gemido, enquanto durante o dia, aproximadamente metade das gravações acústicas apresentaram sinal de gemido.

Na Figura 5, são exibidas as detecções organizadas em “caixas” com resolução de $1/24^\circ$. Foi observada detecção em boa parte da trajetória do *glider*. Houve destaque para região a leste de $42,5^\circ\text{O}$, na latitude de 24°S , com 300 minutos detectados, em profundidade local próxima de 1000 metros. As gravações sem detecção também foram maiores nesta área. Não há preferência de detecção por área. Porém há uma clara preferência da não detecção, uma vez que ao oeste de $42,2^\circ\text{O}$ e ao sul de 24°S foram encontrados alguns valores nulos na razão entre o tempo das detecções e o tempo total das gravações (Figura 6).

Em boa parte da área amostrada, a razão próxima ou igual a 1 indica grande recorrência de baleias (Figura 6), pois foi notado sua ocorrência em boa parte das gravações.

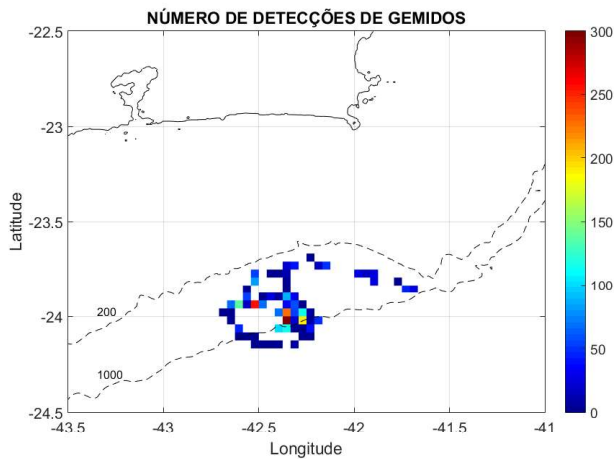


Figura 5 – Detecções de baleias em “caixas” com resolução de $1/24^\circ$. As linhas pontilhadas indicam as isobatismétricas de 200 e 1000 metros.

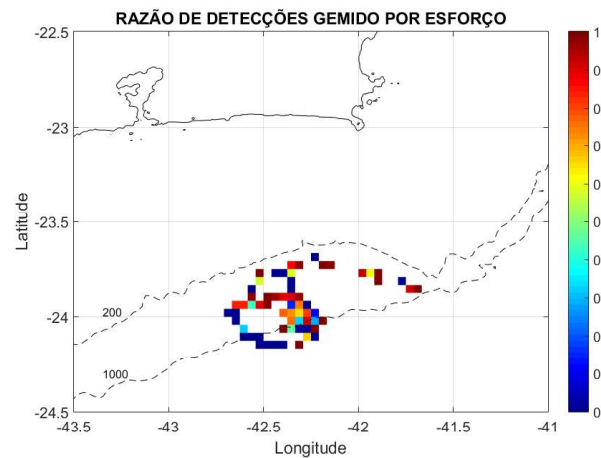


Figura 6 - Razão entre as detecções de baleias e total das gravações em “caixas” com resolução de $1/24^\circ$. As linhas pontilhadas indicam as isobatismétricas de 200 e 1000 metros.

As Figuras 7 e 8, respectivamente indicam a média da temperatura superficial do mar para as “caixas” com resolução de $1/24^\circ$, em um cenário de detecção e sem detecção. Os dois campos de temperatura apresentam grande similaridade. Os campos de temperatura superficial apresentam a temperatura variando de $22,5$ a $24,5^\circ\text{C}$. As menores temperaturas foram encontradas próximo a isobatismétrica de 200 metros, enquanto os valores mais altos de temperatura estavam próximos da isobatismétrica de 1000 metros.

Parece que há uma leve preferência das baleias por águas mais frias, uma vez que as temperaturas mais elevadas encontradas na Figura 8, em $42,5^\circ\text{O}$, não estão associadas a detecções.

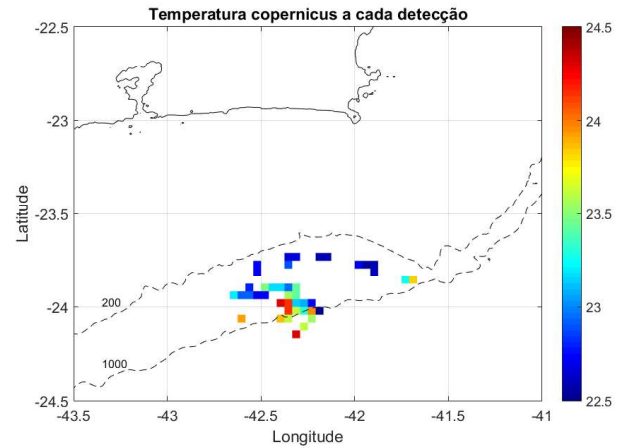


Figura 7 – Média da Temperatura da superfície do mar no ponto de detecção em “caixas” com resolução de $1/24^\circ$. As linhas pontilhadas indicam as isobatismétricas de 200 e 1000 metros.

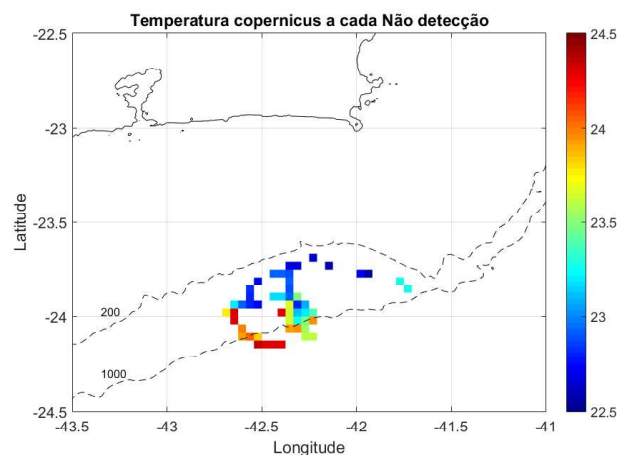


Figura 8 – Média da Temperatura da superfície do mar no ponto sem detecção em “caixas” com resolução de $1/24^\circ$. As linhas pontilhadas indicam as isobatismétricas de 200 e 1000 metros.

Na Figura 9, o número de registros da temperatura da superfície do mar do período detectado, organizados em classes de $0,25^\circ\text{C}$, foi normalizado pelo número de registros da temperatura de toda gravação, organizado em classes de $0,25^\circ\text{C}$. Excetuando o ponto de maior temperatura, é possível observar que há tendência do sucesso da detecção aumentar, à medida que a temperatura diminui, sendo observado que na faixa de temperatura de $22,5^\circ\text{C}$, 93% das gravações registraram detecção de gemidos de baleia.

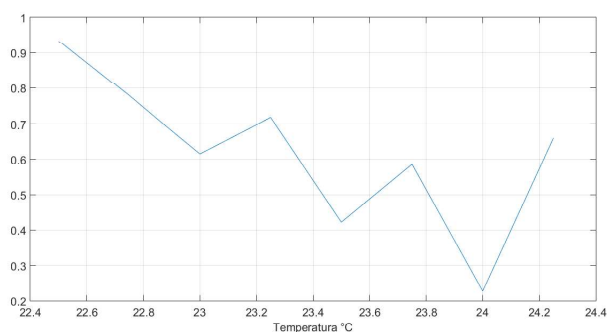


Figura 9 – Taxa de ocorrência de faixas da temperatura da superfície do mar – detecção/total das gravações.

As Figura 10 e 11, respectivamente indicam a média do gradiente de temperatura superficial do mar para as “caixas”, em um cenário de detecção e sem detecção. Como os campos de temperatura, os dois campos de gradiente de temperatura apresentam grande similaridade. O gradiente variou de 0 a 1,6°C/15km. Os maiores gradientes de temperatura foram encontrados próximo a isobatimétrica de 1000 metros, enquanto os menores gradientes foram encontrados em águas mais rasas.

Houve um padrão confuso entre os gradientes de temperatura e as detecções de baleia, sendo difícil fazer alguma relação entre os gradientes e as detecções de baleia.

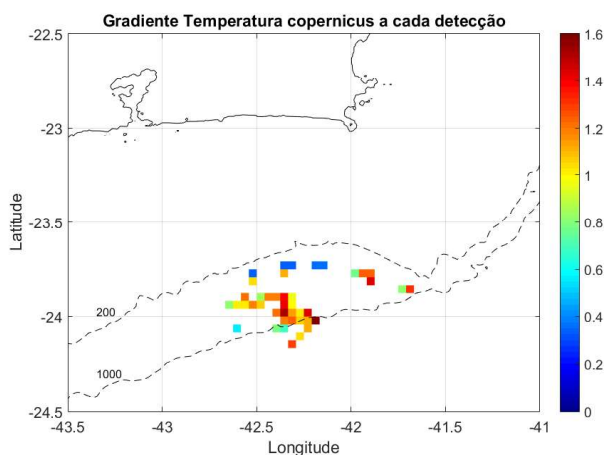


Figura 10- Média do Gradiente de temperatura da superfície do mar no ponto de detecção em “caixas” com resolução de 1/24°. As linhas pontilhadas indicam as isobatimétricas de 200 e 1000 metros.

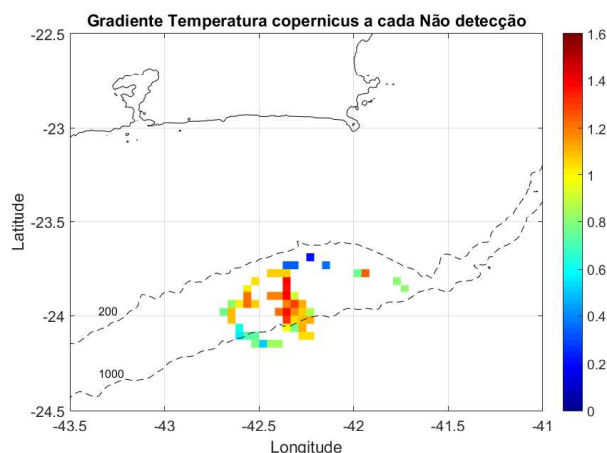


Figura 11 – Média do Gradiente de temperatura da superfície do mar no ponto sem detecção em “caixas” com resolução de 1/24°. As linhas pontilhadas indicam as isobatimétricas de 200 e 1000 metros.

4. CONCLUSÃO

A taxa de sucesso próxima de 60% ao longo do período analisado corrobora os relatos da literatura sobre a abundância de baleias em ambientes tropicais durante o período do inverno e primavera. Os maiores registros de vocalizações à noite podem indicar que estes animais têm hábito noturno.

Apesar da relação não ser muito clara, de maneira aproximada, as detecções de baleia foram inversamente proporcionais à temperatura da superfície do mar. Houve mais detecções na faixa de temperatura de 22,5°C. Esta preferência por águas mais frias pode ser um indicativo que estes animais também usam esta área para alimentação.

Estudos com abrangência temporal maior são necessários para elucidar de maneira mais clara o papel da temperatura e do gradiente de temperatura, principalmente. Também é necessário associar a temperatura com outras variáveis, como a clorofila, a fim de entender melhor como a Bacia de Santos contribui para a dinâmica das baleias.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Petróleo Brasileiro S.A. – PETROBRAS e ao Instituto de Pesquisas da Marinha – IPqM, que são partícipes do Termo de Cooperação para

execução do monitoramento fixo costeiro e processamento e análise de dados no âmbito do Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina na Bacia de Santos (PMPAS-BS). Este projeto é condição para licenciamento ambiental operacional exigido pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA.

REFERÊNCIAS

- [1] JEFFERSON, Thomas A.; LEATHERWOOD, Stephen; WEBBER, Marc A. **Marine mammals of the world**. Food & Agriculture Org., 1993.
- [2] ANDRIOLO, Artur et al. Humpback whales within the Brazilian breeding ground: distribution and population size estimate. **Endangered Species Research**, v. 11, n. 3, p. 233-243, 2010. doi: <https://doi.org/10.3354/esr00282>.
- [3] SILVA, Mônica A. et al. Stable isotopes reveal winter feeding in different habitats in blue, fin and sei whales migrating through the Azores. **Royal Society open science**, v. 6, n. 8, p. 181800, 2019.
- [4] ZERBINI, Alexandre et al. Migration and Summer destinations of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the western South Atlantic Ocean. **Journal of Cetacean Research and Management**, Special Issue 3: 113-118. 2011.
- [5] OSWALD, Julie N. et al. A tool for real-time acoustic species identification of delphinid whistles. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 122, n. 1, p. 587-595, 2007. doi: <https://doi.org/10.1121/1.2743157>.
- [6] YACK et al., 2009. NOAA-TM-NMFS-SWFSC-443. NOAA Technical Memorandum NMFS.
- [7] DALPAZ, Larissa. **Entre saltos, cliques e borrifos: comparação dos métodos acústico e visual em um levantamento embarcado de cetáceos**. 2017. Monografia.
- [8] BITTENCOURT, Lis et al. Acoustic habitat of an oceanic archipelago in the Southwestern Atlantic. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 115, p. 103-111, 2016.
- [9] BITTENCOURT, Lis et al. Mapping cetacean sounds using a passive acoustic monitoring system towed by an autonomous Wave Glider in the Southwestern Atlantic Ocean. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 142, p. 58-68, 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2018.10.006>
- [10] REDFERN, J. V. et al. Techniques for cetacean-habitat modeling. **Marine Ecology Progress Series**, v. 310, p. 271-295, 2006.
- [11] PANIGADA, Simone et al. Modelling habitat preferences for fin whales and striped dolphins in the Pelagos Sanctuary (Western Mediterranean Sea) with physiographic and remote sensing variables. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 8, p. 3400-3412, 2008.
- [12] GILL, Peter C. et al. Blue whale habitat selection and within-season distribution in a regional upwelling system off southern Australia. **Marine ecology progress series**, v. 421, p. 243-263, 2011. doi: <https://doi.org/10.3354/meps08914>.
- [13] OLIVEIRA, Rodrigo Hipolito Tardin et al. **Modelagem do uso de hábitat de cetáceos na região de Cabo Frio, estado do Rio de Janeiro, Brasil**. 2015. Tese de Doutorado.
- [14] DONIOL-VALCROZE, Thomas et al. Influence of thermal fronts on habitat selection by four rorqual whale species in the Gulf of St. Lawrence. **Marine Ecology Progress Series**, v. 335, p. 207-216, 2007. doi: <https://doi.org/10.3354/meps335207>.
- [15] SILVA, Mariana Ávila de Borba et al. **Análise da correlação espacial da presença de Mysticetos com frentes oceânicas**. 2013. Tese de Doutorado.
- [16] JOHNSTON, D. W. et al. Identification of humpback whale *Megaptera novaeangliae* wintering habitat in the Northwestern Hawaiian Islands using spatial habitat modeling. **Endangered Species Research**, v. 3, n. 3, p. 249-257, 2007. doi: <https://doi.org/10.3354/esr00049>.
- [17] BARLOW, Dawn R. et al. Temporal and spatial lags between wind, coastal upwelling, and blue whale occurrence. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 1-10, 2021.
- [18] MEYNECKE, Jan-Olaf et al. The role of environmental drivers in humpback whale distribution, movement and behavior: A review. **Front Mar Sci**, 2021. doi: <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.720774>.
- [19] CHANG, Hung Kiang et al. Sistemas petrolíferos e modelos de acumulação de hidrocarbonetos na Bacia de Santos. **Brazilian Journal of Geology**, v. 38, n. 2, p. 29-46, 2008.
- [20] GILLESPIE, Douglas et al. PAMGUARD: Semiautomated, open source software for real-time acoustic detection and localisation of cetaceans. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 30, n. 5, p. 54-62, 2008.
- [21] COPERNICUS, disponível em: <<http://marine.copernicus.eu/about-us/about-eu-copernicus/>>. Acessado 04 outubro de 2021.