UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

RAFAEL PINHEIRO

INFLUÊNCIA DAS ONDAS NO PADRÃO DE OCUPAÇÃO E ABUNDÂNCIA DE GOLFINHOS-ROTADORES EM FERNANDO DE NORONHA/PE.

Recife
2024

RAFAEL PINHEIRO

INFLUÊNCIA DAS ONDAS NO PADRÃO DE OCUPAÇÃO E ABUNDÂNCIA DE GOLFINHOS-ROTADORES EM FERNANDO DE NORONHA/PE.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Oceanografia.

Área de concentração: Oceanografia Geológica

Orientadora: Mirella Borba Santos Ferreira Costa

Recife

2024

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Pinheiro, Rafael.
Influência das ondas no padrão de ocupação e abundância de golfinhos-rotadores em Fernando de Noronha/PE / Rafael Pinheiro. - Recife, 2024.
60 f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências; Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2024.
Orientação: Mirella Borba Santos Ferreira Costa.
Inclui referências.

1. Golfinho-rotador; 2. Ondas; 3. Mudanças climáticas. I. Costa, Mirella Borba Santos Ferreira. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

AGRADECIMENTOS

Gostaria de iniciar agradecendo ao meu Pai e a minha Mãe, por nunca deixarem faltar nada na minha vida e dos meus irmãos, principalmente atenção, muito amor, carinho e apoio.

Aos meus irmãos, Milena, Thales e Maria Rita por estarem sempre perto e cuidando de nossos pais. Por me darem apoio independente de onde estiver.

À minha orientadora, Mirella Costa, e minha amiga e Co-Orientadora Tatiane Michelete (TU Dresden, Alemanha; UBC/Pacific Forestry Center, Canada) pelas grandes contribuições, incentivo, ensinamentos, confiança, oportunidades e ótima convivência desde que nos conhecemos e durante todo esse período. Serei sempre grato, principalmente pela insistência e me fazer acreditar nisso tudo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de mestrado.

À Universidade Federal de Pernambuco em especial ao Departamento de Pós-Graduação em Oceanografia (PPGO), aos professores e funcionários que mantem e transformam os sonhos de muitos alunos, além da contribuição para a sociedade em geral.

Ao Projeto Golfinho Rotador, e toda equipe que tive e tenho a oportunidade de trabalhar e poder transformar a vida das pessoas através do desenvolvimento de pesquisa e ações em prol da conservação da biodiversidade marinha, dos golfinhos-rotadores e de Fernando de Noronha.

À Petrobras, através do programa Sociambiental, por acreditar nesse trabalho que transforma.

À minha "famILHA" golfinho, Ademir Ventura, Dinho, Priscila, Cynthia, que me proporcionam um ambiente acolhedor e de apoio em Noronha.

Ao José Martins da Silva Júnior, pela dedicação e atuação no mundo dos golfinhos, e todo ensinamento compartilhado.

Ao meu tio, Francisco Geraldo Pinheiro, por todo incentivo e apoio financeiro durante minha graduação, que tornou possível eu estar agora nesta etapa.

À minha companheira Melyna Lyra Pedroso, que tem sido fundamental em todo esse processo, nunca me deixando faltar força através de seu amor, carinho e atenção. E agora nosso amor vem ao mundo por meio de um novo ser de luz, já muito amado(a) e aguardado(a).

Aos golfinhos-rotadores de Noronha, pela inexplicável luz e propósito que trouxeram à minha vida.

E, em especial, à minha filha Sophie, por me dar o sorriso mais lindo do mundo, que me mantém determinado em proporcionar uma vida cheia de amor, conquistas e aventuras.

RESUMO

Uma questão central para o entendimento de qualquer ecologia é como os animais usam o habitat, e como o uso desses locais importantes é influenciado por mudanças temporárias nas características do ambiente. Alterações ambientais que embora sejam sazonais, exercem influência na distribuição e abundância de cetáceos, podendo afetar os animais diretamente em processos metabólicos ou indiretamente, através da distribuição de presas. O Arquipélago de Fernando de Noronha, localizado no Oceano Atlântico Sul Ocidental, distante a 550 Km da cidade de Recife, Pernambuco, possui características que fornecem áreas abrigadas bastante procuradas por golfinhos-rotadores para terem mais qualidade durante comportamentos íntimos, especialmente a face denomidada de Mar de Dentro, onde esta localizada a Baía dos Golfinhos. Esta enseada de águas calmas e transparentes tem sido estudada pelo Projeto Golfinho Rotador, que a mais de 33 anos monitora a presença regular de golfinhos-rotadores (*Stenella longirostris*). Este estudo é o primeiro a investigar a relação entre a distribuição e abundância dos golfinhos-rotadores diante das variações ambientais geradas pelo clima das ondas e eventos extremos em Fernando de Noronha. As ondas com origem nos Hemisférios Norte e Sul do Oceano Atlântico atingem Noronha, que apresenta um clima heterogênio de ondas. As ondas do Hemisfério Norte, atingem diretamente a Baía dos Golfinhos, condições em que menos golfinhos foram para a enseada e ficaram menos tempo, negativamente proporcional ao aumento da energia da onda. As ondas do Hemisfério Sul, não atingem diretamente a Baía que nessas condições se mantem calma e abrigada, assim mais golfinhos foram vistos e ficaram por mais tempo na enseada. De forma bastante clara, a direção e a energia da onda afetam na quantidade de golfinhos que buscam pela Baía, e aqueles eventos que promovem maior agitação e mudanças adversas nas características do habitat que favorecem, por exemplo, o descanso desses animais, se mostraram com maior influência. Assim evidencia que a qualidade do habitat dos golfinhos não é apenas uma questão de gestão local, mas também de compreensão e adaptação às mudanças globais, sendo importante incluir as mudanças climáticos no planejamento e gestão de áreas marinhas, assim como fazer cumprir a legislação de proteção desses animais dentro do vigor da lei, para os golfinhos-rotadores terem maior resiliência diante das mudanças e desafios oriundos das ondas.

Palavras-chave: Golfinho-rotador; Ondas; Comportamento; mudanças climáticas; Ilhas Oceânicas.

ABSTRACT

A central question in understanding any ecology is how animals utilize their habitat and how the use of these important locations is influenced by temporary changes in environmental characteristics. Although these seasonal alteration, influence the distribution and abundance of cetaceans, potentially affecting animals directly through metabolic processes or indirectly via prey distribution. The Fernando de Noronha Archipelago, located in the Southwestern Atlantic Ocean, approximately 550 km from Recife, Pernambuco, it has characteristics that provide sheltered areas that are highly sought after by spinner dolphins to have quality during intimate behaviors, especially the side called Mar de Dentro, where Baía dos Golfinhos is located. This cove of calm and transparent waters has been studied by the Projeto Golfinho Rotador for over 33 years, which monitors the regular presence of spinner dolphins (*Stenella longirostris*). This study is the first to investigate the relationship between the distribution and abundance of spinner dolphins in response to environmental variations caused by wave climate and extreme events in Fernando de Noronha. The Northern Hemisphere waves directly hit the Dolphin Bay, conditions under which fewer dolphins entered the cove and stayed for shorter periods, inversely related to the increase in wave power. Conversely, for Southern Hemisphere events, which produce swells with directions not directly affecting the Bay, these conditions kept the Bay calmer and more sheltered and more dolphins were observed and stayed longer in the study area. Clearly, wave direction and wave power, affect the number of dolphins seeking the Bay, with events causing greater agitation and adverse changes in habitat characteristics, which are crucial for the animals' rest, mating and take care of the calves, showing a higher influence. Thus, dolphin habitat quality is not only a matter of local management but also of understanding and adapting to global changes, and it is crucial to incorporate climate change considerations into marine area planning and management to maintain the quality of life for spinner dolphins and enhance their resilience to the changes and challenges posed by swells.

Keywords: Spinner dolphin; Swells; Waves; Environmental Variation; Oceanic Islands.

Sumário

RESUMO *4*

ABSTRACT *5*

1. *INTRODUÇÃO* *6*

2. *OBJETIVOS* *8*

Estruturação do Documento 10

3. *METODOLOGIA* *10*

3.1 Área de estudo 10

3.2 Materiais 12

3.2.1 Espécie 12

3.2.2 Extração 13

3.3 Métodos 15

3.3.1 Monitoramento da ocupação por golfinhos na área de estudo 115

3.3.2 Ondas 15

3.3.3 Teste de correlação 15

4. *RESULTADOS E DISCUSSÃO* *19*

4.1 Variação da Energia da Onda e temperatura ao longo do tempo 18

4.2 Correlação do Comportamento dos Golfinhos 24

4.3 A influência das ondas no Horário de Chegada dos Golfinhos 25

4.4 A influência das ondas na Direção de Chegada dos Golfinhos 28

4.5 A influência das ondas no Horário de Saída dos Golfinhos 29

4.6 A influência das ondas na Direção de Saída dos Golfinhos 32

4.7 A influência das ondas no Tempo de Permanencia dos Golfinhos 34

4.8 A influência das ondas na Quantidade de Golfinhos 36

5. *CONCLUSÃO* *41*

6. *REFERÊNCIAS* *42*

1. INTRODUÇÃO GERAL

O estudo do comportamento animal em ambiente natural repercute atualmente com importantes contribuições para a conservação de espécies, permitindo a adoção de medidas que assegurem o bem-estar dos animais em vida livre (GOODENOUGH *et al*., 1993). É evidente a dificuldade de separação do comportamento animal em categorias distintas devido à variação na expressão das atividades encontradas entre espécies, entre populações submetidas a condições ambientais diferentes e até mesmo entre indivíduos de uma mesma população (SILVA, 2001).

Grande parte dos organismos vivem em habitats que são submetidos a flutuações de fatores ambientais, como chuva, ventos, fotoperíodo, temperatura atmosférica, regime de ondas e de marés. Muitos desses fatores representam um grande desafio para indivíduos e exercem elevada pressão no desenvolvimento de estratégias e habilidades adaptativas para antecipar e enfrentar essas flutuações (GOODENOUGH *et al*., 1993; MARQUES, 1997). Diversas atividades biológicas são concentradas ou restritas a determinadas épocas do ano, processo pelo qual os organismos superam ou evitam as condições ambientais severas em uma determinada estação (GWINNER, 1984).

Mudanças oceanográficas, espacial e temporal, anomalias na temperatura da superfície do mar (SST), El Niño (ENSO) e "The Blod", onda de calor no nordeste do pacífico, influenciam na distribuição (BENSO *et al*., 2002; SPROGIS *et al*., 2018), abundância (SPROGIS *et al*., 2018), taxa reprodutiva (CARTIWRINGHT *et al*., 2019), migração (RAMP *et al*., 2015), estrutura populacional, tempo de reprodução e sobrevivência dos cetáceos (IWC, 1997; TYNAN e DEMASTER, 1997; HARWOOD, 2001; WÜRSIG *et al*., 2002), afetando direta e indiretamente aspectos ecológicos como processos metabólicos e distribuição de presas (BALLANCE *et al*., 2006; DURANT *et al*., 2007; SPROGIS *et al*., 2018). Com as mudanças climáticas tais anomalias são previstos serem mais frequentes e intensos nos próximos anos (IPCC 2019), com alterações nos padrões climáticos, na velocidade e condições das ondas (HANSEN *et al*., 2001; IPCC, 2001; SEAR *et al*., 2001; HULME *et al*., 2002; FRS, 2003; ICES, 2004).

Young e Ribal (2019) avaliaram as tendências globais do vento e das ondas através de três conjuntos de dados de satélites entre 1985 e 2018, e viram que a distribuição da velocidade do vento está aumentando, mas não é acompanhado pela distribuição na altura das ondas, assim, as mudanças no clima das ondas não são uma resposta direta dos ventos locais (STOPA e CHEUNG, 2014). Por outro lado, o aumento na energia da onda está intimamente ligado ao aumento da temperatura da superfície do mar, que quando mais altas contribuem para

tempestades mais fortes e mais frequentes, por sua vez gerando ondas maiores (REGUERO et al., 2019).

O clima de ondas pode ser definido como um conjunto de condições predominantes que atingem uma região particular no oceano sobre um determinando período de tempo (INMAN e MASTER, 1994). As ondas são resultado da transferência de energia da atmosfera para o oceano através dos ventos, e teleconexões atmosféricas (JI-HOON ON *et al*., 2024), assim sendo relacionado com as variações temporal e espacial (STEWART, 2005; RUTGERSSON, 2010). Depois de deixarem sua região de geração, essas ondas podem percorrer grandes distâncias e atravessar baías oceânicas com baixa atenuação de energia (ALVES, 2006; ARDHUIN et al., 2009). No Brasil o clima de se apresenta entre dois diferentes cenários, com larga contribuição com ondulações de Sudeste e Nordeste e ondas de ventos de Leste (COTRIM et al., 2022).

Estudos tem mostrado que as variações de ondas, juntamente com outros fatores como, variações nas fontes de alimento e predação, são apontadas como condições que influenciam o padrão de movimento (DEFRAN *et al*., 1999), reprodução (FLOWERDEW, 1987), taxa reprodutiva, mortalidade, fenologia de eventos da história de vida, crescimento e dieta, estrutura populacional e de comunidades dos vertebrados marinhos (HOEGH-GULDBERG e BRUNO, 2010; WASSMAN *et al*., 2011). Numa escala menor, alguns estudos com cetáceos associam atividades diárias com variações de marés (SHANE, 1980; DAWSON *et al*, 2013) fases da lua (BENOIT-BIRD *et al*., 2001; BEZERRA DA COSTA, 2011; ELWEN *et al*., 2004), efeito da temperatura da água no habitat dos golfinhos (TRATHAN *et al*., 2007; MACLEOD, 2009) e a temperatura do ar no ambiente (CHRISTENSEN *et al*., 2007; SUPPIAH *et al*., 2007). Surpreendentemente, pouco se investigou sobre os efeitos de exposição as ondas (RAYMENT *et al*., 2015; DITTMANN *et al*., 2016).

Grandes séries temporais contínuas de dados de ondas (CHINI *et al*., 2010), permitem uma descrição consistente de analises de clima de ondas e eventos extremos em localizações onde dados instrumentais não estão disponíveis (CAMUS *et al*., 2013). Portanto, modelos numéricos são mais usados e comumente aplicados para conduzir estudos de clima de ondas, onde eventos são simulados considerandos dados históricos para entender o clima de ondas atual (PECHER *et al*., 2017). Com as mudanças climáticas é esperado um aumento na frequência e intensidade de eventos extremos de ondas, e entender seus potenciais efeitos em mamíferos marinhos se tornará crucial (CAI *et al*., 2014).

Espécies selvagens tem três tipos de respostas básicas possíveis para as mudanças climáticas: mudam a distribuição geográfica rastreando as mudanças ambientais; permanecem no mesmo local, mas mudam correspondendo ao ambiente, por meio da fenologia (tempo de crescimento, reprodução, etc.), mudança genética (IPCC 2001; FARIA *et al*., 2020) ou extinção

(IPCC 2001). Prever os efeitos de mudanças no clima em espécies individuais é relativamente mais simples comparado com projeções de consequências em toda a estrutura de uma teia alimentar (PECL *et al*., 2017; CAVANAGH *et al*., 2017).

Os golfinhos-rotadores (*Stenella longirostris*), ordem Cetacea, subordem Odontocetti, família Delphinidae e gênero Stenella (GRAY, 1828), formam grupos de centenas a milhares de indivíduos e podem percorrer amplas distâncias geográficas (REILLY, 1990), sendo encontrado ao longo da faixa tropical e subtropical de todos os oceanos (NORRIS *et al*., 1994), nos hemisférios norte e sul, de aproximadamente 40°N até 40° S (BRAULIK e REEVES, 2018), preferencialmente em ilhas de origem vulcânica (GALVER, 2002), tais como Arquipélago do Havaí, onde procuram por enseadas de águas calmas e rasas principalmente para comportamentos de descanso (NORRIS e DOHL, 1980) e no Arquipélago de Fernando de Noronha (SILVA-JR *et al*., 1996).

A presença dos rotadores na Baía dos Golfinhos vem sendo monitorada diariamente a longo prazo pelo Projeto Golfinho Rotador, gerando conhecimento do hábito da espécie e sua relação com fatores ambientais. Pesquisas sobre os movimentos diários, sazonalidade reprodutiva e uso do habitat dos golfinhos-rotadores (PARSON *et al*., 2015) bem como parâmetros fisiológicos individuais (MERCERA *et al*., 2021) são necessários e pouco se sabe sobre a influência do clima de ondas sobre o comportamento desses animais, o efeito no tempo de permanência e tamanho dos grupos em águas rasas, como na Baía dos Golfinhos no Arquipélago de Fernando de Noronha.

Assim este trabalho se faz necessário para investigar se as ondas são fatores importantes na variabilidade diária da permanência, abundância e comportamento dos golfinhos-rotadores. O aprofundamento desse estudo fornecerá uma compreensão mais completa sobre o comportamento das ondas como impulsionadoras de mudanças comportamentais em golfinhos.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste estudo foi observar a relação entre a agitação do mar induzida por ondas e a dinâmica de ocupação dos golfinhos-rotadores (*Stenella longirostris*) na Baía dos Golfinhos. Para tanto, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

(i) Determinar o clima de ondas na Baía dos Golfinhos;

(ii) Relacionar agitação do mar e incidência de eventos extremos de ondas com a ocupação da Baía dos Golinhos, por golfinhos-rotadores;

(iii) Avaliar o comportamento dos golfinhos-rotadores durante diferentes condições de agitação do mar na Baía dos Golfinhos.

Estruturação do Documento

A presente dissertação está estruturada da seguinte forma: primeiramente foi realizada uma introdução geral sobre os aspectos abordados no trabalho e elencados o objetivo geral e os objetivos específicos.

A seguir dessa estruturação, decorremos a parte da Metodologia, com a apresentação da área de estudo, da espécie estudada e sobre os dados das ondas. São apresentados os métodos de monitoramento da ocupação dos golfinhos na área de estudo, assim como a classificação da intensidade e as características das ondas. Logo, são mostrados os resultados e a discussão para as diferentes interações e respostas entre os golfinhos e o ambiente.

Por fim, são apresentadas as conclusões finais do trabalho, integrando os principais resultados obtidos e sugestões de trabalhos futuros. Finalizando com as referências utilizadas para construção desse estudo.

3. METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

O Arquipélago de Fernando de Noronha (Lat. 3° 51'S e Long. 32° 25'O), é um conjunto de ilhas oceânicas vulcânicas, distante 345 km do Cabo de São Roque, no Estado Rio Grande do Norte e a 550 km da cidade de Recife, Estado de Pernambuco. Constitui duas Unidade de Conservação Federal: Parque Nacional Marinho (PARNAMAR-FN) criado em 1988 (FUNATURA/IBAMA, 1990); e a Área de Proteção Ambiental de Fernando de Noronha – Rocas – São Pedro e São Paulo (APA-FN) criada em 1986 (IBAMA, 2005).

O Arquipélago localiza-se na bifurcação da corrente Sul Equatorial, que ocorre no sentido Oeste com águas caracterizadas por baixas concentrações de sedimentos e de matéria orgânica, a temperatura média superficial da água do mar é de 24°C, com amplitude térmica superficial na ordem de 4°C (FUNATURA, 1990), com uma profundidade de aproximadamente 4.000 m e cercada por uma plataforma insular rasa e estreia. O clima na região é tropical com duas estações pluviométricas. A estação seca, ocorre entre os meses de agosto a fevereiro, com baixa média diária de pluviosidade (8 mm^3) e a estação chuvosa ocorre de março a julho, apresentando elevação dessa média (193,3 mm^3). A temperatura do ar varia entre 23,5°C e 31,5°C e amplitude térmica média é de 4,1°C. Nessa região predominam ventos alísios de sudeste e leste (FUNATURA, 1990). O clima de ondas é dominado por vargas formadas pelos ventos alísios de sudeste e por ondulações gerados por ciclones extratropicais em latitudes médias de ambos

os hemisférios (COSTA, 2016). As vagas de sudeste, controladas pela Zona de Convergência Intertropical, persistem ao longo do ano com alturas significativas entre 2,0 m e 2,5 m e períodos se pico entre 8 s e 10 s. Este campo de ondas sobrepõe-se a ondulações de norte e noroeste durante os meses outubro a abril e a ondulações de sul nos meses de maio a setembro, sendo esses dois campos caracterizados por ondas de períodos mais longos, predominantemente entre 12 s e 14 s, e com alturas de 2,0 m a 2,5 m. Esses três campos principais de ondas (vagas de sudeste, ondulações de norte e ondulações de sul) podem ocorrer simultaneamente ao longo do ano, especialmente nos meses de abril e outubro. De modo geral, a região oceânica em questão apresenta um clima ameno de ondas ao longo do ano, devido sua posição geográfica na borda oeste do Oceano Atlântico Sul, próxima a linha do Equador e fora da rota dos ciclones tropicais, e é submetida a um regime de mesomaré, com amplitudes médias de 2,6 m durante períodos de sizígias e de 1,1 m em condições de quadratura (BARCELLOS *et al*., 2016).

O local é constituído por uma ilha principal e 17 ilhotas secundárias, totalizando uma área de 26 km². A ilha principal, que tem o mesmo nome do Arquipélago, Fernando de Noronha, possui 17 km² distribuído longitudinalmente na direção sudoeste-nordeste, formando duas faces com 11 km de extensão caracterizadas por formações rochosas e escarpadas. Na face sudeste, denominada de Mar de Fora, os ventos sopram com muita intensidade e o mar apresenta-se agitado o ano todo (LINSKER, 2003). Na face noroeste, denominado Mar de Dentro, é protegido das correntes e ventos oceânicos. É nessa face que se encontra a Baía dos Golfinhos (Figura 1).

A Baía dos Golfinhos (N 3.855, O 32.456, L 32.447, S 3.865) é uma enseada que possui entrada com cerca de 1300 m de largura e reentrância máxima de 500m, perfazendo uma área aproximadamente de 445.000 m². A profundidade máxima é de 25 m em pontos mais externos e no seu centro pode atingir 15 m, sendo assim a baía com as maiores profundidades do Arquipélago. As encostas da Baía dos Golfinhos são bem íngremes e as praias são formadas exclusivamente por seixos rolados ou as águas chegam direto no penhasco (ALMEIDA, 1958), é a enseada de águas mais calmas, transparentes e profundas da Ilha, as correntes internas são mínimas e correm no sentido sudoeste. De novembro a março, ondas de até 6 m atingem a face noroeste, e por maior que sejam essas ondas, elas nunca quebram na entrada ou no meio da enseada, somente há arrebentação no fundo em dias de grandes ondas (SILVA-JR, 1996).

Desde 1986 a Baía dos Golfinhos teve sua face externa demarcada por boias que sinalizam e restringem o acesso de barcos e banhistas. Devido às suas características e à presença dos golfinhos, foi considerada como área de proteção máxima na criação do Parque Nacional Marinho, mantendo-se intangível o acesso do público em suas águas.

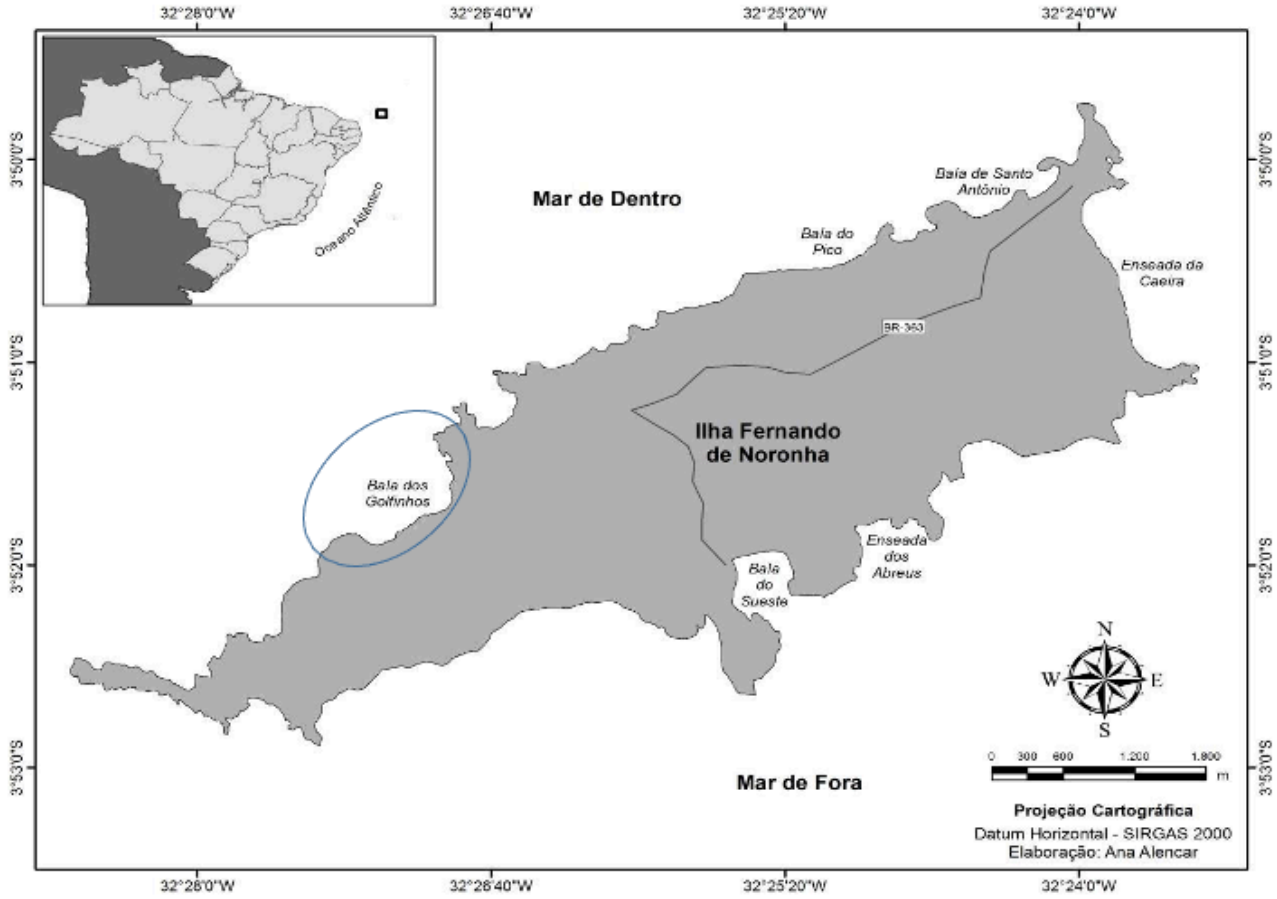

Figura 1. Arquipélago de Fernando de Noronha -PE, com destaque para a Baía dos Golfinho

3.2 Materiais

3.2.1 Espécie

O *Stenella longirostris*, conhecido popularmente como golfinho-rotador, recebeu essa denominação por exibir comportamento aéreo marcante, caracterizado por saltos que podem atingir 3 metros de altura e várias rotações em torno do próprio eixo corporal (FISH *et al*., 2006). Estudos realizados nesses dois arquipélagos oceânicos mostram que os golfinhos-rotadores são encontrados em grandes agrupamentos, normalmente compostos por mais de vinte indivíduos; tais agrupamentos são fluídos e caracterizados por uma estratégia social chamada de fisão-fusão (NORRIS e DOHL 1980; SILVA-JR *et al*., 1996; SILVA-JR, 1996).

Vários estudos tem demonstrado uma estrutura genética metapopulacional, especialmente em comunidade insulares de golfinhos (FARIA *et al*., 2020) que tem forte associação com áreas de descanso em ilhas, como o Arquipélago do Havaí (ANDREWS K.R. *et al*., 2010), no Pacífico Sul (OREMUS *et al*., 2007) e interações sociais como cópulas e cuidados com filhotes no Atlântico Sul (SILVA JR. *et al*., 1996). Essa espécie é categorizada com “DD” (Deficiente

de Dados) na Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção (CHIARELLO *et al*., 2008), na Red List da IUCN (BRAULIK e REEVES, 2018) e no Plano de Ação Nacional para a Conservação de Pequenos Cetáceos do ICMBio (SILVA-JR, 2011).

Em Fernando de Noronha é encontrada a subespécie *Stenella longirostris longirostris* (Figura 2), cetáceo de pequeno porte, cujo comprimento em adultos varia de 173 a 208 cm, de coloração tricolor. O tempo de vida médio são de 25 anos, a gestação é de 10, 5 meses e ocorre de três em três anos, onde um único recém-nascido é concebido e possui comprimento médio de 77 cm. A maturidade sexual é atingida entre 4 e 7 anos para as fêmeas com comprimento corporal de 165 – 175 cm e entre 7 e 10 anos para os machos com comprimento de 160 – 170 cm (PERRIN, 1998).

Figura 2 – Golfinho-rotador (*Stenella longirostris,* Gray, 1828).

3.2.2 – Extração dados de Ondas

O conjunto de dados de ondas usado nesse trabalho foi extraído da base de dados do *Copernicus,* um Programa de Observação da Terra oriundo da União Europeia que oferece serviços de informação baseados em dados de satélite e medições *in-situ*. O *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS) fornece informações globais de referência regulares e sistemáticas sobre o estado físico e biogeoquímico, a variabilidade e a dinâmica dos ecossistemas costeiros e marinhos, e possui resolução espacial de 0,083° × 0,083° e foram

obtidos em intervalos de hora em hora, através do modelo ERA5 (HERSBACH *et al*., 2020).

Os dados utilizados para a caracterização das ondas são referentes ao período de Jan/1990 até Dez/2023, todos os dias entre os horários das 05:00 até às 19:00. Estes incluem a temperatura a dois metros acima da superfície em unidades Kelvin (k), temperatura da superfície do mar, altura máxima da onda, media de direção da ondulação total, media de período de onda total, altura significativa da combinação de ondas de vento e ondas de tempestade e altura significativa da ondulação total da boia virtual com coordenadas da área de estudo (N 3.855, O 32.456, L 32.447, S 3.865) (Figura 3).

Mais detalhes referentes à base de dados e aos produtos específicos utilizados (GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_WAV_001_027–ondas) podem ser acessados em: https://resources.marine.copernicus.eu/products. Esses dados demostraram ser altamente confiáveis para ondas ao longo da costa brasileira (COTRIM *et al*., 2022) além de vários estudos mostrarem as vantagens associadas ao uso do ERA5 (BELMONTE RIVAS e STOFFELEN, 2019; HERSBACH *et al*. 2020).

Figura 3 –Baía Golfinhos em Fernando de Noronha – PE com ondas oriundas no hemisfério norte.

3.3 Métodos

3.3.1 Monitoramento da ocupação por golfinhos na área de estudo.

Como as preferências de habitats são estudadas por pesquisas visuais (BAILEY e THOMPSON, 2006; IZIDORO e LE PENDU, 2012), os dados foram obtidos a partir do Mirante da Baía dos Golfinhos, ponto fixo onde se tem a vista geral de toda a área de estudo (Figura 4), possibilitando observar a uma distância relativamente longa e quantificar o número de golfinhos de um grupo (RAYMENT *et al*., 2009a). Para este estudo, com auxílio de binóculo Nikon Action 10x50, contador mecânico para contagem dos golfinhos e os dados anotados em planilhas padronizadas.

O monitoramento tem início às 5h30min se estendendo até no mínimo às 16h ou 1 hora depois do último golfinho abandonar a enseada, no caso de os golfinhos-rotadores saírem da baía após as 15h, que resulta, no mínimo, em 10h e 30min assistindo a área de estudo. São obtidas informações como a direção e horário de chegada e saída dos golfinhos, o número de golfinhos e o tempo de permanência deles na baía.

Para este estudo a direção de chegada ou saída dos golfinhos ficaram definidas com 286° O (Ponta da Sapata), 320° NO (Corveta) e 21°. N (Zé Ramos) (Figura 4). Para a contagem dos golfinhos-rotadores na área de estudo foi utilizado o método de amostragem de grupo focal com registro contínuo, sugerido por Altmann, 1974. Durante a entrada dos golfinhos, eles nadam sincronizadamente em direção e velocidade constante. O binóculo fica mirado um pouco a frente do primeiro golfinho do grupo, registrando com um contador mecânico cada individuo que passa no campo circular determinado pelos binóculos, com diâmetro de aproximadamente 20 metros, que abrange toda a largura da fila de golfinhos se deslocando (SILVA-JR., 1996). Nessa distância os golfinhos respiram de uma a três vezes, por permanecerem mais na superfície durante deslocamento do que enquanto descansam dentro das baías (NORRIS e DOHL, 1980). Essas informações são obtidas desde 1990 e fazem parte da base de dados do Projeto Golfinho Rotador.

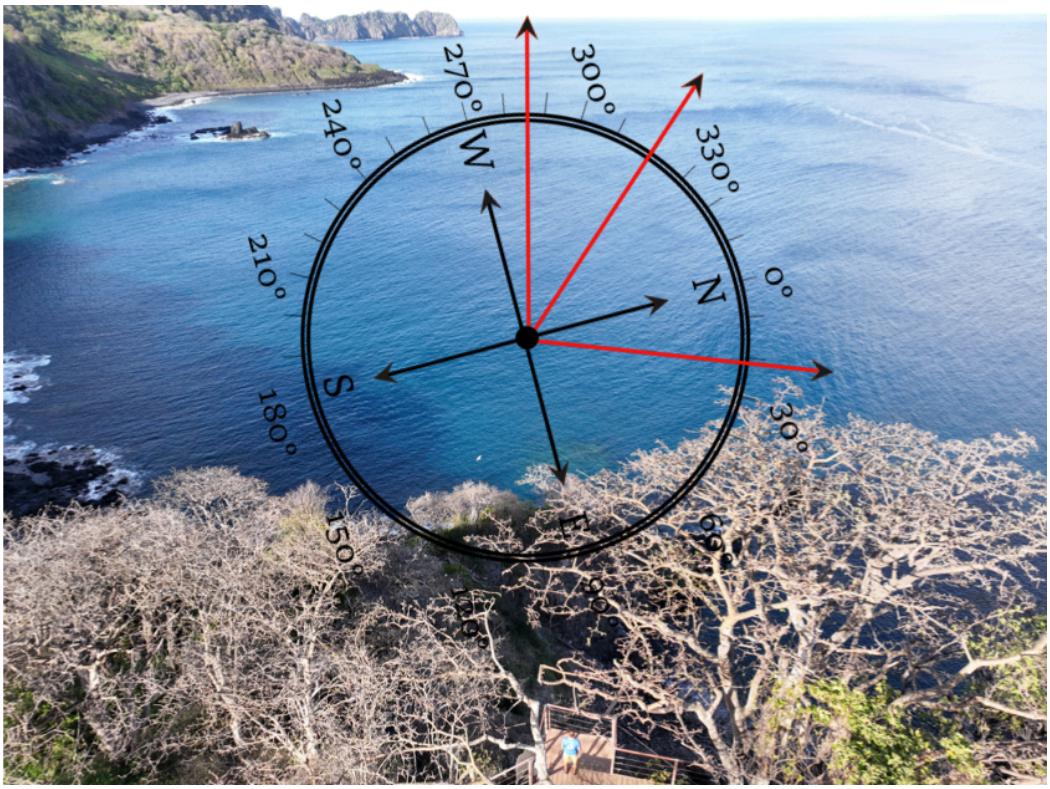

Figura 4 – Baía dos Golfinhos e posição do local de observação do pesquisador

3.3.2 Ondas

Para este estudo foi considerado a Energia da Onda para caracterizar a intensidade das ondas e eventos extremos. A Energia da Onda é o transporte de energia transmitida da atmosfera para o oceano através do movimento das ondas (DONELAN *et al*. 1997), portanto são afetadas pelas mudanças climáticas (FAN *et al*.,2013; YOUNG *et al*., 2011), potencialmente podendo caracterizar melhor o comportamento das condições globais das ondas a longo prazo, mais do que a altura das ondas (REGUERO *et al*. 2019), representando assim variações no clima das ondas não capturado por outros parâmetros. A Energia da Onda (kW/m – Quilowatt por metro) correlaciona com período (Tp) e altura (Hs), de primeira e segunda ordem, respectivamente (SEMEDO *et al*., 2011) por meio do produto entre a velocidade dos grupos (Cg) e a energia da onda (E), resulta em:

$$\text{Energia da Onda} = \frac{p * g^2 * T * H^2}{64 * \pi * 1000}$$

Onde:

H= altura das ondas.

T= período das ondas, em segundos.

g = aceleração da gravidade, m/s² ou 9.81.

p = densidade da massa da água do mar, kg/m³ ou 1027

π = 3,14159

Essa equação é usada para definir a classe de intensidade da ondulação (COSTA e SIEGLE, 2022) que atinge Fernando de Noronha, como mostra os intervalos listados na Tabela 1:

INTENSIDADE	Energia da Onda (kW/m)
Extremo	Energia da Onda > = 50
Severo	50 > Energia da Onda > = 40
Forte	40 > Energia da Onda > = 30
Moderado	30 > Energia da Onda > = 20
Fraco	20 > Energia da Onda > = 10
Calmo	Energia da Onda < 10

Tabela 1: Classificação da intensidade das ondas com base na Energia da Onda.

Os dados foram extraídos através da base de dados do *Copernicus*, com registro e confirmação de login em https://cds.climate.copernicus.eu/, seguindo do download das informações em Climate Data Store API pelo código 'url', como arquivo de extenção e foram processados no *software Rstudio*, que é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) de código aberto, flexível e funcional, para trabalhar com *R* da versão 3.0.1 ou superior. *Rstudio* também é adaptado a outras linguagens de programação, como *Python*, que foi utilizado para leitura dos dados disponíveis em códigos no *Copernicus.* Em seguida, ainda utilizando *Rstudio,* foi usado *Generalized Linear Models* (glm), que com valores dos dados conhecidos e relacionados podemos projetar o valor de dados desconhecidos. Assim sendo possivel indentificar os efeitos das ondas sobre a direção e horários de chegada e saída dos golfinhos, no tempo de permanência e na quantidade, utilizando a serie de dados de monitoramento do Projeto Golfinho Rotador com a serie histórica do *Copernicus.*

3.3.3 – Teste de correlação para identificar efeito da variável e sua escolha.

Primeiro foi verificado se alguma das covariáveis estão correlacionadas (Tabela 2), pois não podemos usar ambas para explicar o comportamento dos golfinhos e assim penalizar o modelo, então escolhemos apenas uma. Logo a altura significativa combinando ondas locais e ondulações de tempestade, é bem correlacionado com altura máxima da onda, pois um faz parte do outro, um é usado para calcular o outro, assim, positivamente relacionados, não tendo sentido usar os dois. Ou ainda, mesmo quando há correlação forte, porém de forma negativa, como temperatura da superfície

do mar com altura máxima da onda, pois quanto maior o valor da temperatura da superfície do mar, menor o valor da altura máxima da onda. Ou altura da ondulação total com altura máximo de onda, e nem altura significativa combinando ondas locais e ondulações de tempestade, ou média de período de ondulação total. Diante disso, a melhor opção foi usar a fluxo de energia da onda, definido aqui como Energia da Onda, por ser a variável que correlaciona com tudo as demais. Também não usamos temperatura da superfície do mar com temperatura a dois metros. Segundo Reguero *et al*. (2019) que analisou a associação direta entre as mudanças históricas da temperatura da superfície do mar e a energia da onda, mostrando que energia da onda é crescente e estatisticamente apresente forte correlação dependente da temperatura da superfície do mar, globalmente e em bacias oceânicas, explicados pelas fortes correlações inter-regionais com base em teleconexões atmosféricas em ventos e ondas. Os autores identificaram a energia da onda como um indicador de mudanças climáticas potencialmente valioso, podendo fornecer novos pensamentos sobre as mudanças climáticas do presente e futuro. Portanto, para explicar o comportamento dos golfinhos foi escolhido utilizar os valores de Energia da Onda, temperatura a dois metros (unidade Kelvin) e média da direção da ondulação total.

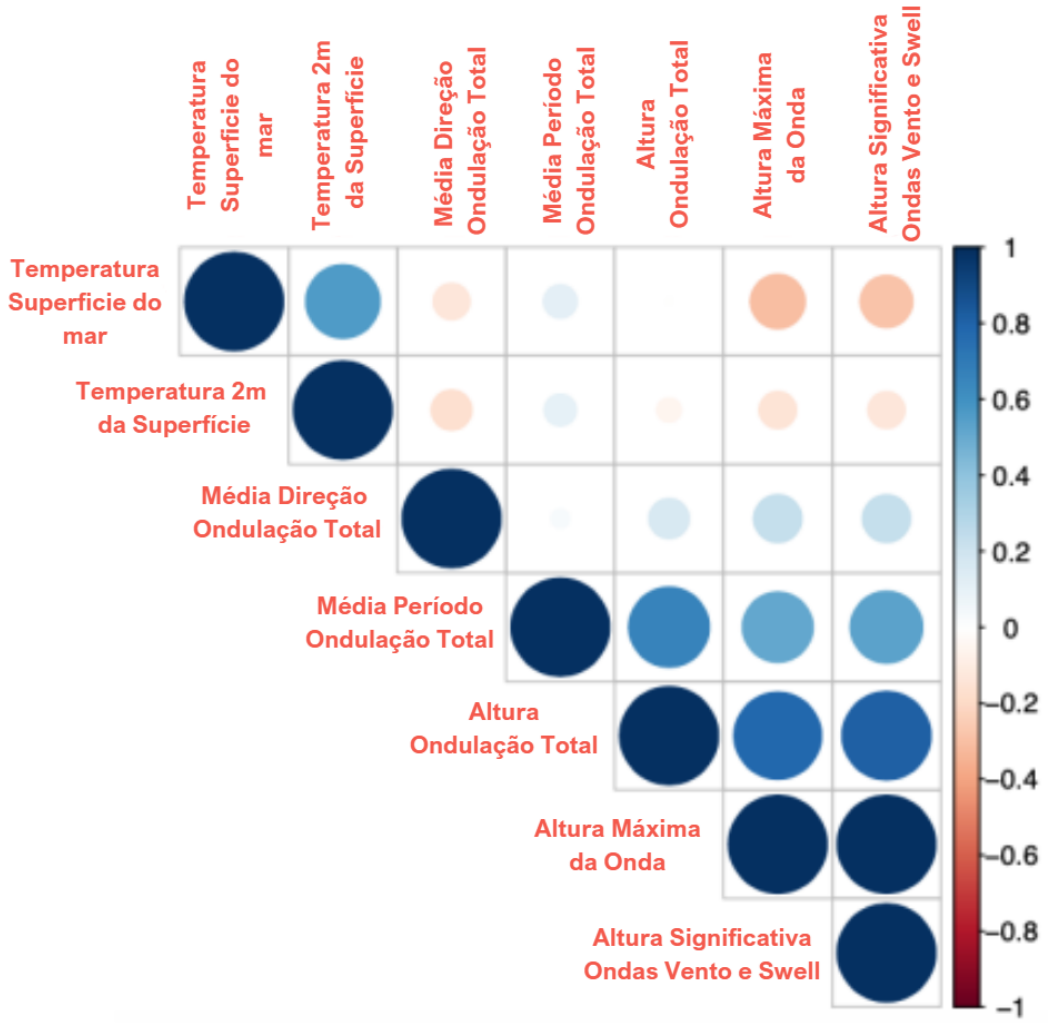

Tabela 2. Análise de grau de correlação das variáveis das ondas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Variação da Energia da Onda e Temperatura ao longo do tempo.

Devido a posição da boia de dados, e também por conta das massas de terras continentais a oeste do Oceano Atlântico, os valores para média direção total das ondas obtidos para este estudo foram entre 340° e 177°, agrupados separadamente em Hemisfério Norte (HN) (340° até 90°) e Hemisfério Sul (HS) (90° até 180°). As ondas são resultado da agitação do mar gerada pelos ventos de superfície que acompanham os ciclones extratropicais, muito intensos durante o inverno no hemisfério norte (INNOCENTINI *et al*., 2005) e, em latitudes maiores de 40° S com muita intensidade durante o inverno no hemisfério sul, com habilidade de propagação pelo Oceano Atlântico.

Neste trabalho as ondas oriundas do HN apresentaram aumento nos valores para energia da onda de 0.00831 kW/m por ano ($p = 0.595$) sem alteração significativa, embora tenha uma tendência positiva. Enquanto que para a temperatura teve aumento significativo de 0.011 por ano ($p = 1.75e-09$) (Figura 5). Recentes estudos sobre o Oceano Atlântico Norte tropical destacam aumentos significativos para a energia da onda e a temperatura da superfície do mar, com implicações para os padrões climáticos e ecossistemas marinhos.

As mudanças climáticas afetam o clima em geral, no HN a velocidade média de vento tem se tornaram 2 nós mais rápido desde 1960, como resultado do aumento do vento, as ondas aumentaram de tamanho, em cerca de 20 cm a cada dez anos (FRS, 2003). No litoral do Reino Unido, houve um aumento aparente na altura média das ondas em cerca de 10-15% entre os anos 1980 e 1990, e para o clima de ondas fortes dos últimos 40 anos que provavelmente é resultado de uma mudança na força das Oscilações do Atlântico Norte (HULME *et al*., 2002). É bem conhecido que as Oscilação do Atlântico Norte (NAO) impacta a circulação atmosférica geral desse oceano (HURREL *et al*., 2003; PINTO e RAIBLE, 2012; VISBECK *et al*., 2001) e durante as fases positivas apresentam anomalias nas características da temperatura da superfície do mar (PINTO e RAIBLE, 2012) que tem grande contribuição para variações no Oceano Atlântico Norte Tropical (CZAJA *et al*., 2002; HUANG e SHUKLA, 2005; LEE *et al*., 2008).

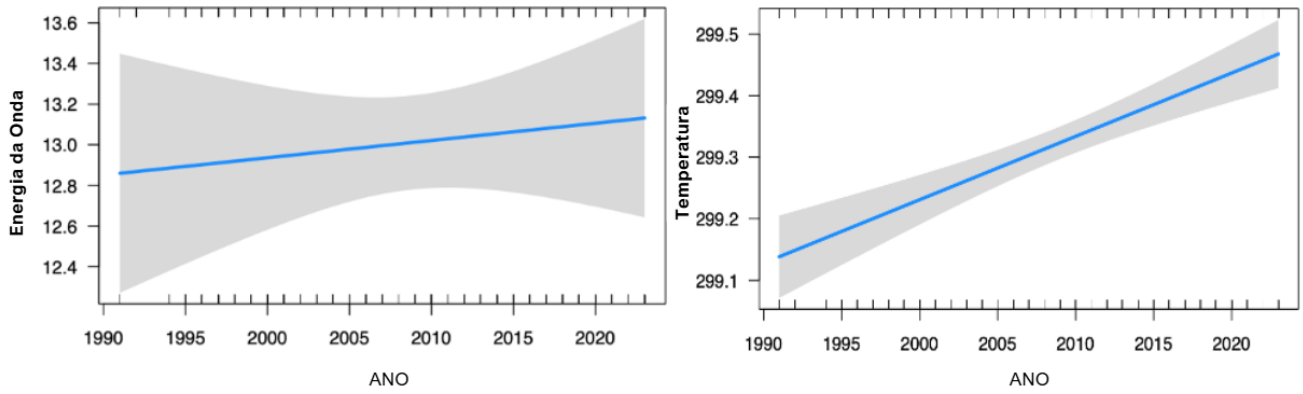

Figura 5. Energia da Onda (kW/m) e Temperatura (unidade Kelvin) de origem no HN.

Para as ondas vindas do HS, tanto a Energia da Onda quanto a Temperatura aumentaram significativamente ao longo do tempo, sendo 0.035 kW/m por ano ($p = 0.00027$) e 0.012 por ano ($p < 2e\text{-}16$), respectivamente (Figura 6). Recentemente o Oceano Atlântico Sul tem enfrentado eventos extremos severos relacionados as mudanças nos padrões climáticos (MARCELLO *et al*. 2018; RODRIGUES *et al*. 2019; DALAGNOL *et al*. 2022). Alguns relatos anteriores mostram um aumento na Energia da Onda no Atlântico Sul nas condições climáticas atuais (REGUERO *et al*., 2019; ODÉRIZ *et al*., 2021). Essas alterações incluem mudanças na média de direção geral das ondas (HEMER *et al*., 2010) e um aumento no período de pico (LOBETO *et al*., 2021).

Usando espectros direcionais das ondas, produzidos para modelar condições para o presente e futuro, Lobeto *et al*. (2021) descobriram que o período de pico (Tp) das ondas de Leste apresentam tendência para diminuir enquanto que para as ondas de Sul e Sudeste a tendência é para aumentar, assim como encontrado no presente estudo. Outros descobertas de mudanças gerais nos eventos extremos de ondas em termos de vida útil, intensidade, direção, período de pico e energia das ondas, com mudanças significativas observadas na região norte e sudoeste, e ainda com mudanças generalizadas no fluxo de energia da onda de sudoeste para sudeste, e aumento de eventos com grandes valores (entre 40 e 60 kW/m) para ondulações de Sul (GRAMCIANINOV *et al*., 2023). Reboita *et al*. (2021) encontraram um aumento de 13% na ocorrência de ciclones-bomba no Oceano Atlântico Sul, com projeção de piora de cenário, apresentando sistemas mais profundos, mais rápidos e mais curtos. Uma significativa tendência positiva de ciclones-bomba no Hemisfério Sul (SH) também foi relatada por Lim e Simmonds (2002). Além disso, as massas de água do Atlântico tropical, são de origem do Atlântico Sul, o que é uma consequência do fluxo de retorno de água quente sobrepondo a Circulação Meridional do Atlântico (AMOC) (TUCHEN *et al*., 2022b).

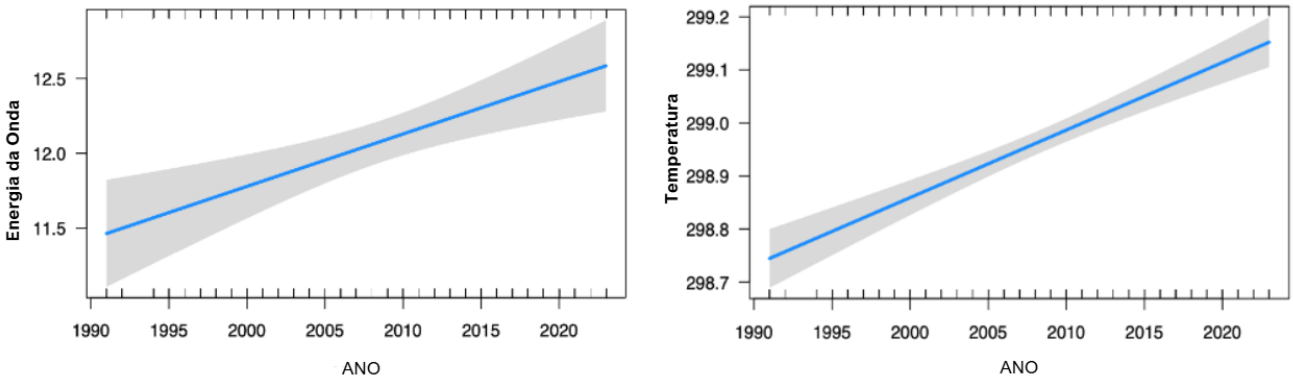

Figura 6. Energia da Onda (kW/m) e Temperatura (unidade Kelvin) de origem no HS.

Assim, analisado o conjunto de dados total, temos ascensão dos valores para energia da onda de 0.026 kw/m por ano ($p = 0.0014$) e da temperatura 0.012 ($p < 2e\text{-}16$), mostrando notável mudança ao longo dos últimos 33 anos (Figura 7). Na prática, a ocorrência de eventos fortes compromete o abastecimento de Fernando de Noronha quando realizado por embarcações, sendo indispenável considerar as urgências climáticas na gestão local, pois a única comunidade insular depende de instalações a beira mar, que podem sofrer avarias em cenários de ondas com maior energia.

Tanto a altura e o período das ondas têm aumentado (STERL e CAIRES, 2005), como também as direções das ondas mudaram no hemisfério sul (HEMER *et al*., 2010) e Atlântico Norte (DODET *et al*., 2010). A energia da onda aumentou globalmente numa taxa de 0.041% por ano, um forte aumento de 0.58% por ano no hemisfério sul (REGUERO *et al*., 2019). Os menores valores para altura de onda são encontrados em regiões tropicais e subtropicais (CHEN *et al*., 2002), é também na região equatorial que se apresentam os menores valores para energia da onda (COTRIM *et al*., 2022). Entre as latitudes 30° N e 30° S, a altura média das ondas é de dois metros, sendo possível observar ondas no Oceano Atlântico Sul Tropical que podem ultrapassar os dois metros (COTRIM *et al*., 2022). As alturas das ondas têm aumento associado a tendências ascendentes na média global na temperatura da superfície do mar de 1988 a 2011 (YOUNG *et al*., 2011; ZHENG *et al*., 2016; YOUNG *et al*., 2012).

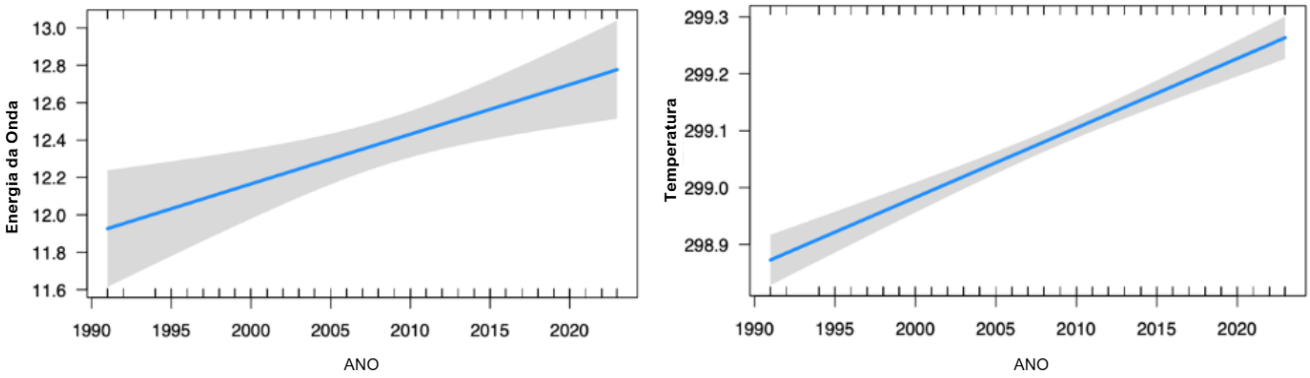

Figura 7. Energia da Onda (kW/m) e Temperatura (unidade Kelvin) total.

As análises de frequência de classes da energia das ondas mostram que os eventos extremos que atingem a área de estudo são do hemisfério Sul e Norte, pois mesmo localizada em baixas latitudes, Fernando de Noronha esta exposta a um regime de ondas da superfície do mar geradas por ventos distantes em ambos hemisférios (Figura 8).

Para eventos de classes Calmo e Fraco (Energia da Onda<= 0-20 kW/m) Noronha tem frequência predominante de quadrante Sudeste, seguido de Leste e Nordeste, respectivamente. Os ventos locais que agem na região sul equatorial, onde esta localizado Fernando de Noronha, são ventos de sudeste, responsáveis pela formação de ondas de período (Tp) curto, ou ondas de ventos, geradas por ventos sobrepostos (INNOCENTINI *et al*. 2005; CHEN *et al*. 2002), resultando em ondas menores e menos energéticas.

Enquanto que para a classe de eventos extremos (Energia da Onda >=50) há predominância dos quadrantes de Norte, Sul e Sudeste, em ordem de intensidade e frequência. Assim os resultados não apresentaram uma direção predominante para eventos extremos, ou seja, as ondas geradas em ambos os hemisférios, contribuem igualmente para ocorrência de potenciais eventos extremos em Fernando de Noronha, similar ao encontrado por Costa e Siegle (2022) para o Atol das Rocas.

As ondulações do HS apresentaram energia de onda de classe Moderado a Extremo (Energia da Onda>=30 kW/m) e os eventos com origem no HN apresentaram maior frequência para classes Moderado e Severo (Energia da Onda>= 30 - 50 kW/m), com eventos de categorias de Severo a Extremos (Energia da Onda >40 kW/m). Costa e Siegle (2022) mostraram que eventos com Energia da Onda > 90 kW/m são predominantes de Norte.

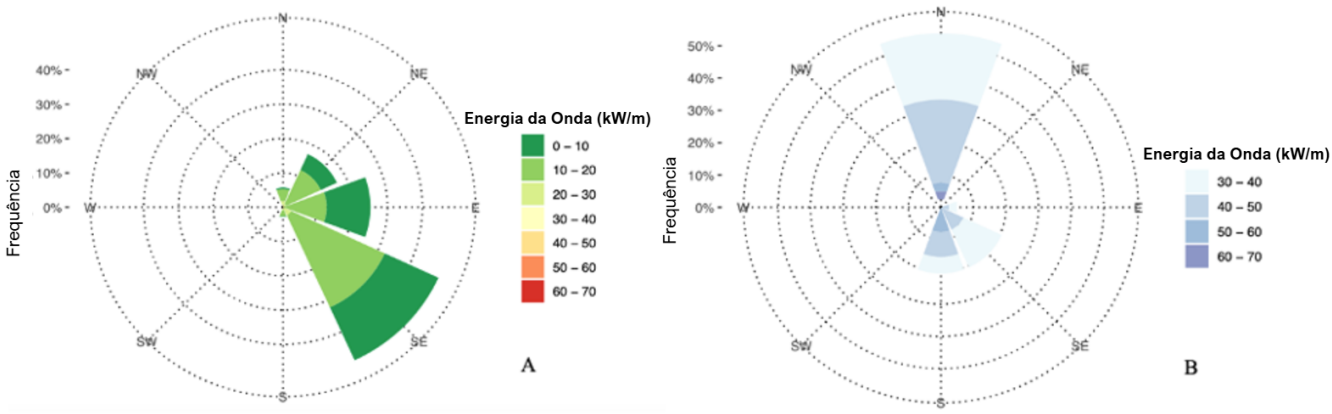

Figura 8. Histograma frequência de classes da Energia da Onda. A) eventos fracos e B) eventos extremos.

Assim, a direção da incidência das ondas em Fernando de Noronha é sujeita a sazonalidade anual, afetada pelos regimes de vento em escala sinótica, e podem ser categorizadas e três grupos principais de acordo com suas características.

Grupo 1: Presente em Noronha o ano todo, as ondas de SE, mais intensas de julho a outubro, são ondas locais formadas por ventos constantes de sudeste, com energia menor do que ondas de sudeste e provavelmente associados a mudança da Zone de Convergência Intertropical para sul e a diminuição do vento local (COSTA e SIEGLE, 2022). Esses ventos acompanham semipermanente anticiclones do Atlântico Norte e Sul, e apresentam mudanças de sul de acordo com o ciclo solar anual, intensificados durante Julho a Outubro (INNOCENTINI *et al*. 2005). Essas condições não promovem muita agitação na Baía dos Golfinhos, mantendo o local ainda com águas claras e calmas (SILVA-JR., 1996), apenas poucas espumas já nas encostas de pedras (Figura 9A).

Grupo 2: As ondas do HN, geradas em campos de ventos da região e intensificadas durante o inverno daquele hemisfério, ocorrem de outubro a abril com bastante efeito em fevereiro (COSTA e SIEGLE, 2022), percorrer grandes distâncias e podendo atravessar baías oceânicas com baixa atenuação de energia (ALVES, 2006; ARDHUIN *et al*., 2009). Essas condições são reflexo da agitação do mar gerados por ventos de superfície que acompanham ciclones extratropicais, intensos no inverno no nordeste do Atlântico Norte (INNOCENTINI *et al*. 2005). O tamanho grande, a intensidade e a estrutura estável desses ciclones resultam em ondas maiores (GRAMCIANINOV *et al*. 2022) altamente influenciada por ciclones extratropicais (STOPA e CHEUNG, 2014). Nesses períodos, as agitações no interior da enseada estudada costumam ser bastante pronunciadas (Figura 9B), evidenciando a sua exposição para *swell* de quadrante noroeste, norte e nordeste. Segundo Silva-Jr. (1996) de novembro a março ondas de até cinco metros atingem a face noroeste de Baía dos Golfinhos.

Grupo 3: As ondas do HS, com bastante intensidade também nos meses de inverno, são geradas principalmente em latitudes maiores que 40 S° (YOUNG 1999). A região oeste do Atlântico Sul apresenta relevantes mudanças com aumento nas ocorrências de ondas extremas e tempestades (SOUZA *et al*., 2019; GRAMCIANINOV *et al*., 2023). Esse grupo de ondas predominam entre os meses de maio e setembro (COSTA e SIEGLE, 2022), não causam tanta agitação no interior da Baía, por ser abrigada por grandes penhascos (ALMEIDA, 1958). Porém em eventos de ondas mais fortes, as ondas quebram em um dos lados da enseada, aumentando a turbidez e alterando as condições (Figura 9C).

Figura 9. Condições da Baía dos Golfinhos em relação as ondas: A) Grupo 1, B) Grupo 2, C) Grupo 3 e D) Sem onda.

Takbash e Young (2020) encontraram tendência positiva nos extremos de altura de onda, apresentando aumento na altura significativa das ondas, em geral a maioria dos estudos mostraram um aumento nos extremos de altura das ondas no HS nos últimos 41 anos e prevê que isso continue no futuro (DOBRYNIN *et al*. 2012; LEMOS *et al*. 2019). Ondulações geradas tanto no hemisfério Norte quanto no hemisfério Sul mostram contribuição igual para potenciais eventos extremos no Atol das Rocas (COSTA e SIEGLE, 2022), que esta a 145 km a Oeste de Fernando de Noronha e compõe a mesma unidade de conservação, Área de Proteção Ambiental de Fernando de Noronha – Atol das Rocas e São Pedro e São Paulo (ICMBio, 2017).

4.2 – Correlação dos dados de comportamento dos golfinhos

O número de golfinhos apresenta correlação positiva com a direção de chegada e saída dos golfinhos por 21° N (Zé Ramos) (Tabela 3). Parecido, mas um pouco mais fraca é a correlação das chegadas dos golfinhos por 286° O (Ponta da Sapata) e saindo da enseada por 21° N (Zé Ramos). Similar ao mostrado por Silva Jr. (1996), que em 72,48% dos dias que se observou a chegada dos golfinhos na Baía, a direção predominante de entrada dos animais foi de 21° N (Zé Ramos), seguido

por 16,11% chegaram por 286° O (Ponta da Sapata) e em 11,41% por 320° NO (Corveta).

A direção de chegada dos golfinhos na enseada por 286° O (Ponta da Sapata) tem correlação positiva com a quantidade de golfinhos, direção da qual foram contabilizadas as chegadas dos maiores grupos, assim como pela direção 21° N (Zé Ramos). Já a direção de 320° NO (Corveta) é por onde chegam menos golfinhos.

A preferência na direção de saída da Baía pelos golfinhos aparece com forte correlação positiva com a direção de 21° N (Zé Ramos), como Silva Jr. (1996), que observou os rotadores saindo da Baía dos Golfinhos por 21° N (Zé Ramos) em 93,55% dos dias de monitoramento, sem apresentar diferença entre as estações seca e chuvosa.

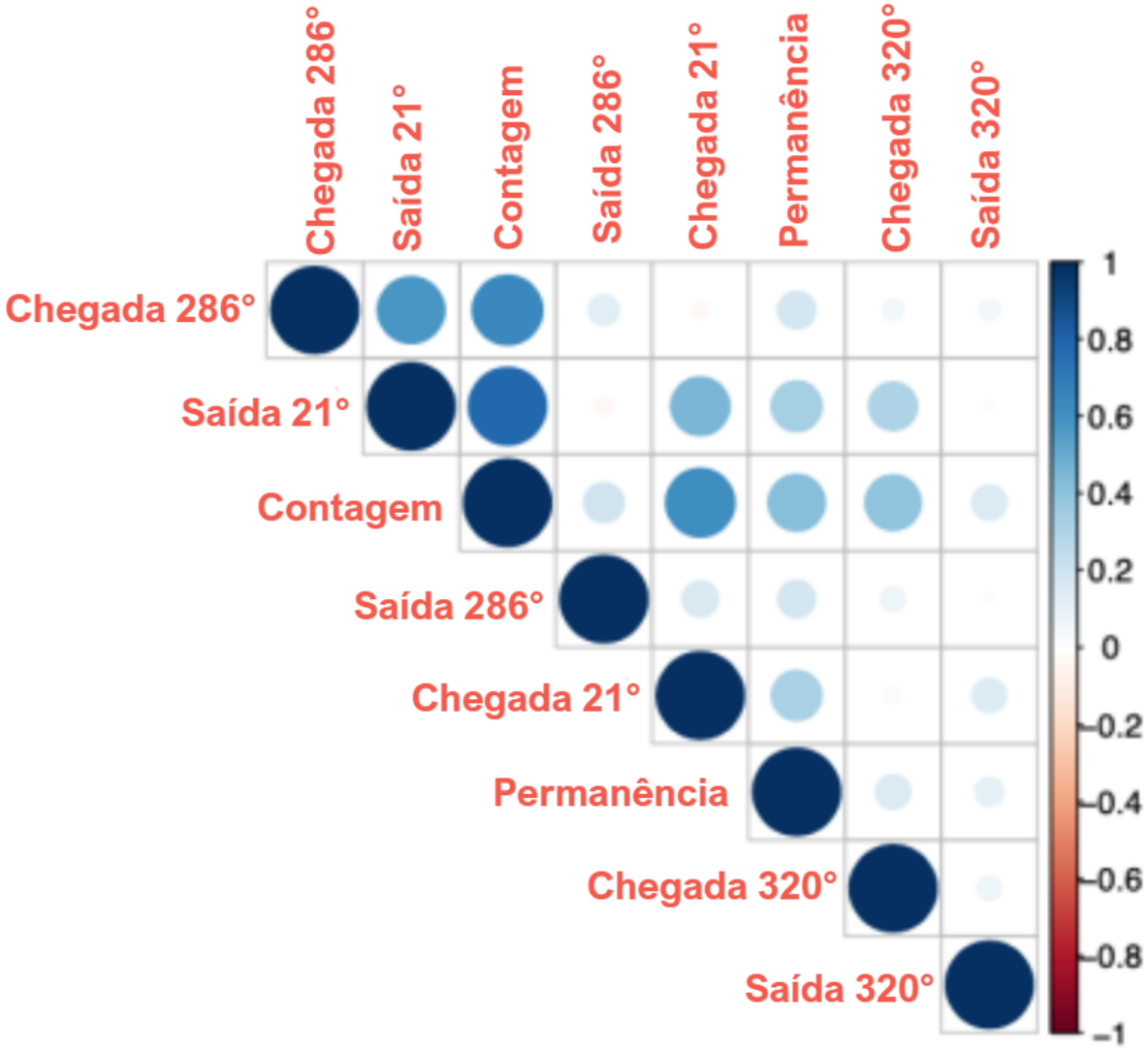

Tabela 3. Analise de grau de correlação do comportamento dos golfinhos.

4.3 – A influência das ondas no horário de chegada dos golfinhos-rotadores na Baía dos Golfinhos.

Para as analises referentes as ondas do HN (340° N - 90° L) das três variáveis utilizadas duas apresentam influencia significativa no horário em que os golfinhos-rotadores chegam na área de estudo (Figura 10).

Conforme os valores da Energia da Onda são maiores, mais cedo os golfinhos chegaram e tendem chegar na Baía dos Golfinhos. Por outro lado, a temperatura mostrou relação oposta, conforme menor for a temperatura, mais cedo os golfinhos chegam na Baía, com intervalo de incerteza baixo apresentado pelo modelo (mancha cinza claro no gráfico). Quanto a direção, ainda que não apresentou diferença significativa, a tendência é de quando a ondulação vem de quadrante N os golfinhos chegam mais tarde do que quando a ondulação vem de Leste (Figura 10).

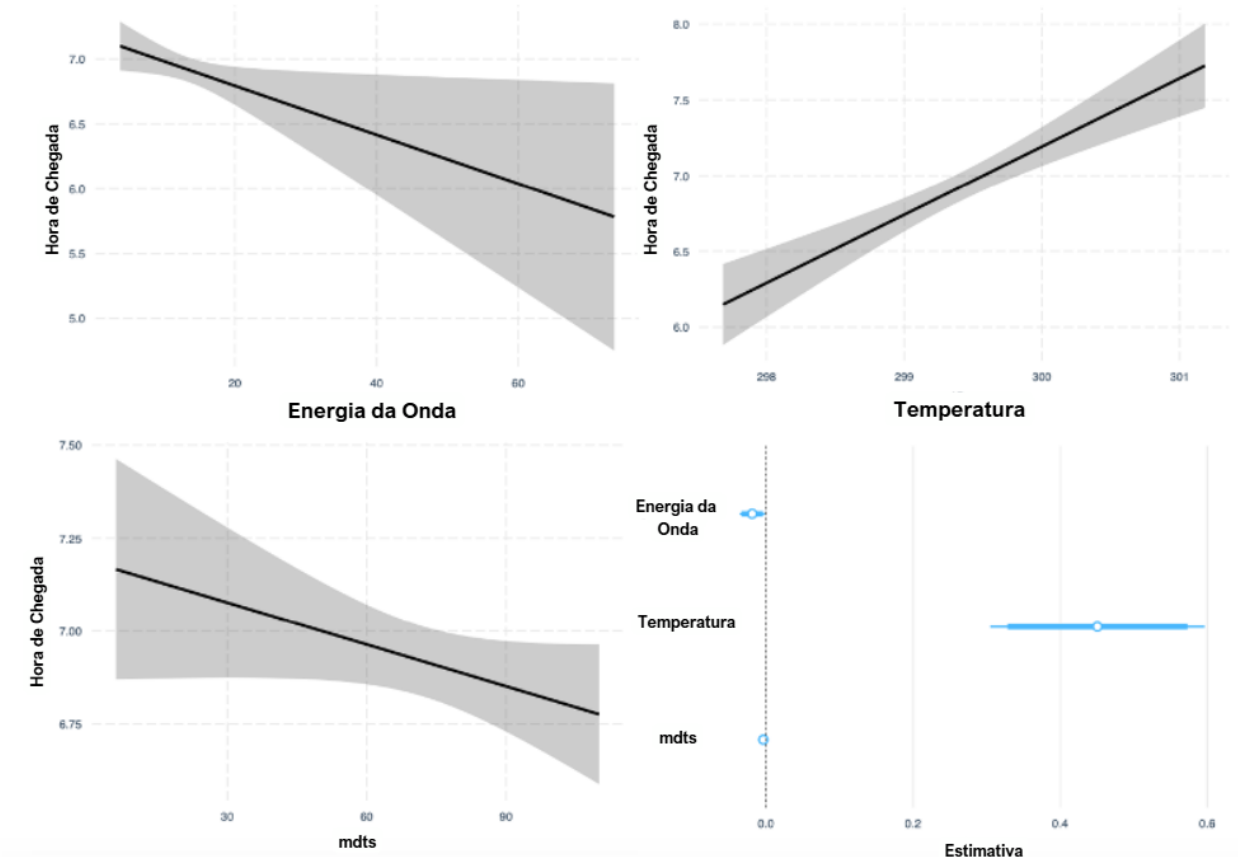

Figura 10. Horário de chegada dos golfinhos relacionados a variáveis do HN: Energia da Onda (kW/m); Temperatura (unidade Kelvin); Média Direção Total das Ondas; Estimativa (média, desvio padrão e intervalo de insegurança).

Para as analises referentes as ondas do HS (90° L – 177° S) tivemos influência significativa também para temperatura, e para direção da ondulação, especificamente de Sul. Diferente das ondas do HN, aqui a Energia da Onda não apresenta diferença significativa, mas mantem a tendência de os golfinhos chegarem mais cedo na enseada em dias de valores maiores para Energia da Onda (Figura 11). Assim, em temperaturas mais altas os golfinhos-rotadores chegam mais tarde na Baía, enquanto que a Energia da Onda do HN tem influência significativa e do HS não, uma vez que a enseada é abrigada de ondulações desse hemisfério, porém apresenta a mesma tendência, fazendo com que os animais procurem o abrigo da enseada mais cedo conforme as ondas apresentam mais energia.

Silva-Jr. (1996) observou a chegada dos golfinhos mais cedo na estação seca, quando os

ventos são mais intensos e a face noroeste recebe ondas de até 5 metros entre os meses de novembro a março, mesmo período em que predominam ondulações do HN, do que na estação chuvosa, quando os ventos se apresentam mais fracos. Já a direção da ondulação, para ambos os hemisférios, quanto mais de quadrante Leste mais cedo os rotadores entram na Baía dos Golfinhos.

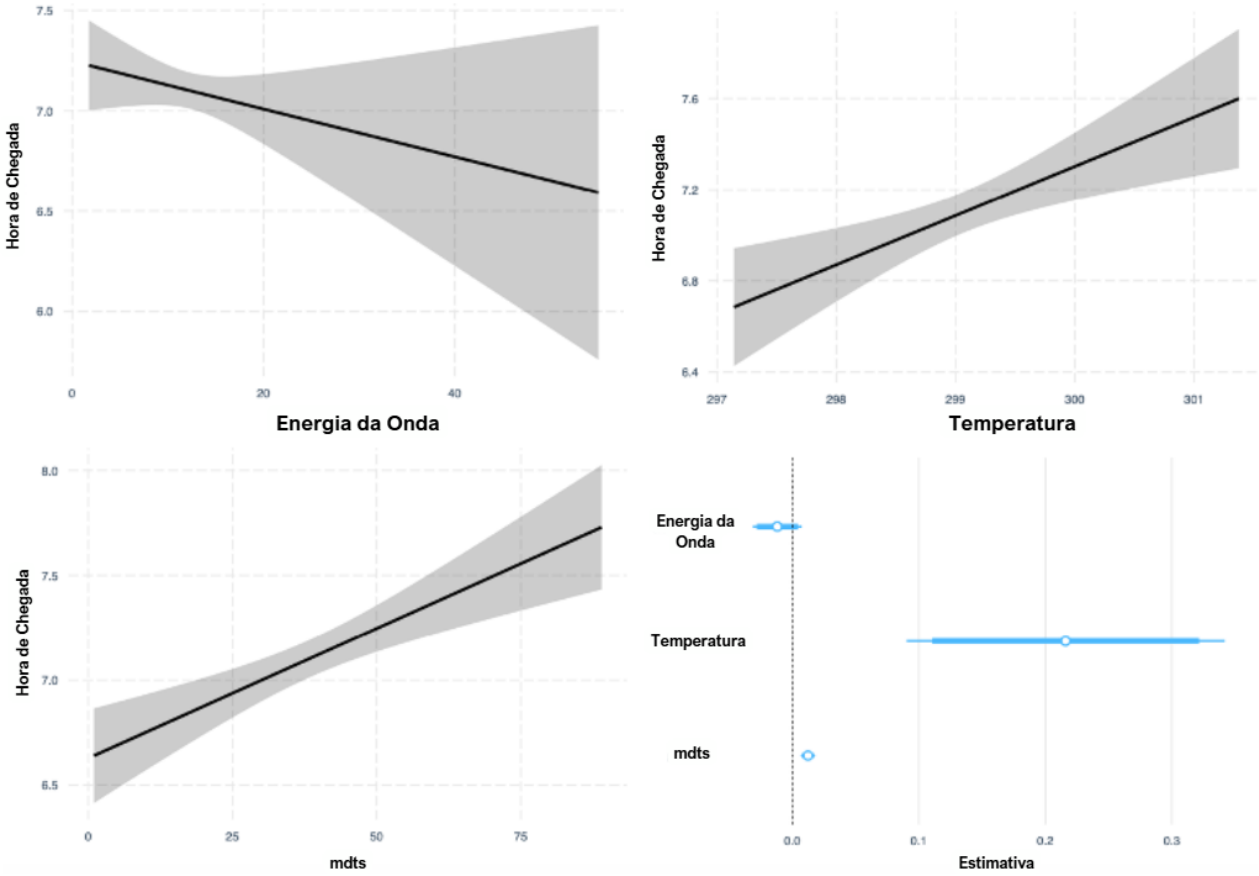

Figura 11. Horário de chegada dos golfinhos relacionados a variáveis do HS: Energia da Onda (kW/m); Temperatura (unidade Kelvin); Média Direção Total das Ondas; Estimativa (média, desvio padrão e intervalo de insegurança).

O horário de entrada dos golfinhos-rotadores na Baía dos Golfinhos apresentou diferença significativa entre categorias de ventos analisados e conforme os ventos vão ficando mais fortes os golfinhos chegaram mais cedo na Baía (BEZERRA DA COSTA, 2011). A agitação do mar provocado por ventos com alta velocidade nas áreas de alimentação deve ser a razão pela qual os rotadores tenham adiantado sua chegada à Baía (SILVA-JR., 2010), pois se cansariam mais naquela condição de mar. O aumento na energia da onda é impulsionado principalmente pelo aumento da energia dos ventos na superfície (WANG *et al*., 2014), que apresenta tendência positiva quanto ao aumento em velocidades extremas nas bacias oceânicas (YOUNG *et al*., 2011; ZHENG *et al*., 2016; YOUNG *et al*., 2012).

Preferências por áreas tem sido associada a características oceanográficas favoráveis, como por exemplo, termoclina aguda e rasa, temperaturas de superfície acima de 25 C e salinidade de 34 (AU e PERRYMAN, 1985; BALLANCE *et al*., 2006). Ou mesmo pela variabilidade sazonal da temperatura da superfície do mar (AMBRIZ-ARREOLA *et al*., 2018) o que provavelmente contribuiu para o aumento na presença de golfinhos-pintados (*Stenella attenuata*) na área costeira do Pacifico Central Mexicano (DIAZ-TORRES *et al*., 2022).

4.4 – A influência das ondas na direção de chegada dos golfinhos-rotadores na Baía dos Golfinhos.

As ondas do HN não apresentaram influência significativa para a direção de chegada dos golfinhos (Figura 12).

As ondas do HS mostraram que a Energia da Onda influência significativa na direção de chegada dos rotadores na área de estudo. Os golfinhos chegam mais por Norte (sentido-horário, N-NE) com o aumento da Energia da Onda. A Temperatura e a Direção, assim como no HN, no HS também não apresentaram influência significativa na direção de chegada dos golfinhos (Figura 13).

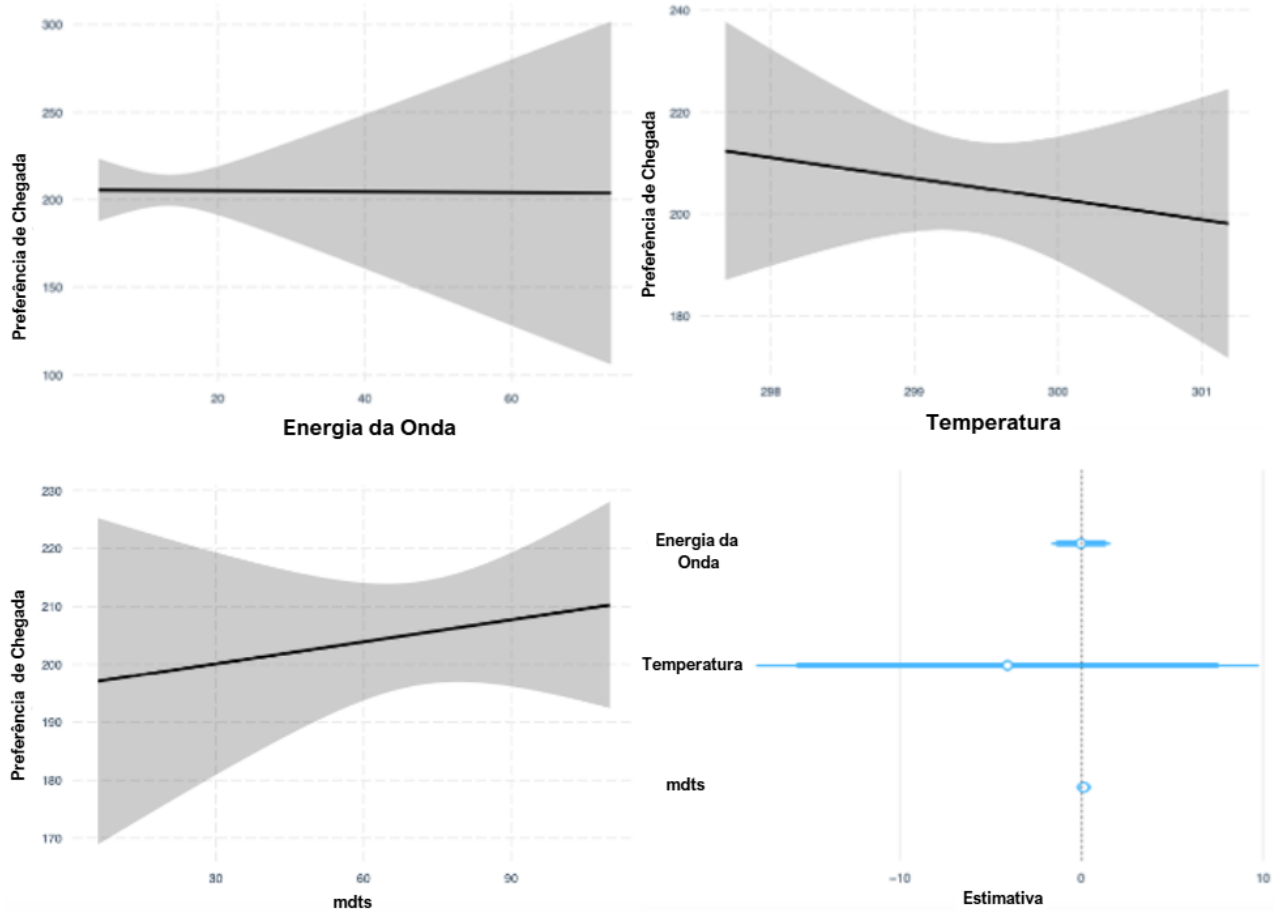

Figura 12. Direção de chegada dos golfinhos relacionados a variáveis do HN: Energia da Onda (kW/m); Temperatura (unidade Kelvin); Média Direção Total das Ondas; Estimativa (média, desvio padrão e intervalo de insegurança).

A rotina diária dos rotadores, tanto para outras regiões (NORRIS *et al*., 1994) como para Fernando de Noronha (SILVA-JR., 1996; SAZIMA *et al*., 2003; SILVA-JR. *et al*., 2005) envolve alimentação noturna e reprodução e descanso diurnos. Podendo os golfinhos se movimentarem em resposta ao movimento das presas (DAURA-JORGE *et al*. 2005). Segundo Silva Jr. (1996), em 83,89% dos dias em que se observou a chegada dos golfinhos na Baía, a direção predominante de entrada dos animais foi de Norte, sendo 73,48% por 21° N (Zé Ramos) e 11,41% por 320° NO (Corveta). Esses resultados corroboram com os encontrados nesse estudo, que ainda mostram que os golfinhos evitam se deslocarem em direção oposta as ondas com valores maiores da energia da onda, enquanto se direcionam para áreas de descanso após uma noite exaustiva caçando e se alimentando, assim aproveitando o fluxo de energia da onda para ajudar em seu deslocamento de cruzeiro.

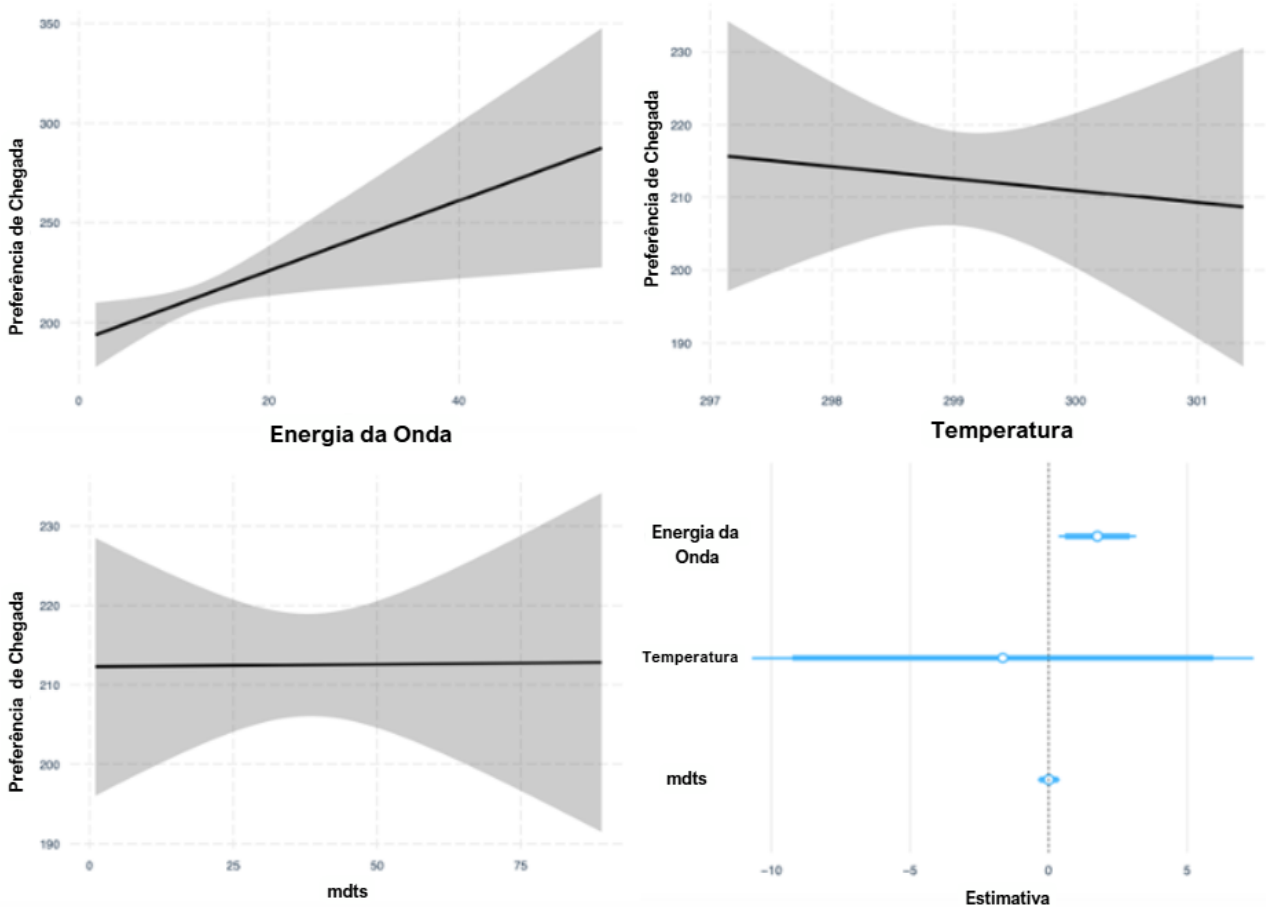

Figura 13. Direção de chegada dos golfinhos relacionados a variáveis do HS: Energia da Onda (kW/m); Temperatura (unidade Kelvin); Média Direção Total das Ondas; Estimativa (média, desvio padrão e intervalo de insegurança).

4.5 - A influência das ondas no horário de saída dos golfinhos.

Para as ondas do HN, o modelo mostrou uma relação negativa, apresentando influência significativa para Energia da Onda e a Temperatura, que conforme aumentam fazem com que os golfinhos deixem a Baía mais cedo (Figura 14). Com isso, o entorno de Noronha pode apresentar temperaturas agradáveis aos animais, no entanto, a energia de onda maior contribui para maior agitação da baía (Figura 9). Embora não seja significativa, quanto mais para norte a Direção da ondulação, mais cedo os golfinhos saem, pois o interior da Baía fica mais exposto e consequentemente com suas águas menos calma.

A Baía dos Golfinhos possui entrada voltada para Norte, com cerca de 1300 m de largura e reentrância máxima de 500m, fazendo com que ondas de quadrante Norte mudem drasticamente suas características, enquanto que é em condições de águas calmas e claras que favorecem os comportamentos desenvolvidos pelos rotadores durante a ocupação da enseada (Silva e Silva Jr., 2009). As baleias-jubarte no oeste do Oceano Indico (WHITEHEAD e MOORE, 1982) e as baleias-franca do sul da Austrália (PIRZL, 2008) também mostraram preferência por águas mais calmas para reproduzirem.

A ação severa das ondas de tempestades deslocou a ocupação de golfinhos-nariz-de-garrafa para outra área (MULLIN, *et al*., 2015; ROSEL *et al*., 2008; SCHUMANN *et al*., 2013) e fez com que os níveis de som ambiente natural atingissem o pico durantes eventos fortes (NATIONAL ACADEMIES PRESS, 2017), aumentasse a turbidez e mudassem os gradientes de salinidade e temperatura (GONG *et al*., 2010; GLENN *et al*., 2016). Esses efeitos dramáticos são cada vez mais prováveis, pois os golfinhos são forçados a lidar com o estresse cumulativo de alteração na distribuição de pressas, distúrbios físicos e acústicos e mudanças nas condições ambientais (NATIONAL ACADEMIES PRESS, 2017).

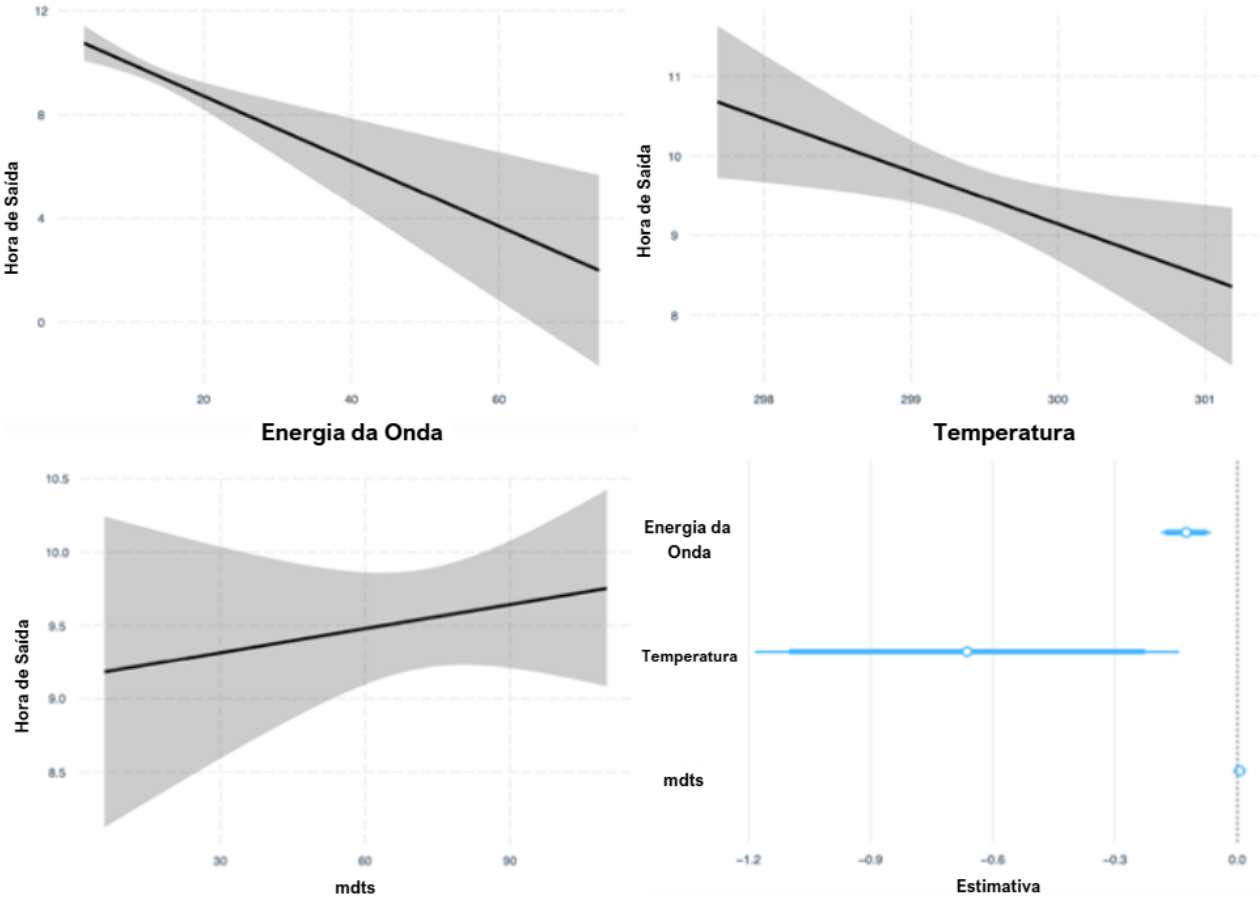

Figura 14. Horário de saída dos golfinhos relacionados a variáveis do HN: Energia da Onda (kW/m); Temperatura (unidade Kelvin); Média Direção Total das Ondas; Estimativa (média, desvio padrão e intervalo de insegurança).

Para HS apenas o aumento da Temperatura mostrou influência significativa, de forma que os golfinhos fiquem mais tempo na enseada com temperaturas maiores (Figura 15), o oposto para ondas do HN. Essa região é influenciada pelo ramo central da Corrente Sul Equatorial (CSEc), com direção predominante no sentido SE-NO, que se intensifica no Atlântico Tropical no período de março a julho e enfraquece de agosto a fevereiro (MOLINARI, 1981). Ondas de quadrante sul podem ter um gradiente de temperatura mais frio, ficando a enseada mais quente e os golfinhos frequentam. Já a Energia da Onda e a Direção não apresentam influência no horário de saída dos rotadores. Como discutido acima, enquanto a abertura da Baía dos Golfinhos é exposta para Norte, ela se mantem abrigada das ondas com origem no Hemisfério Sul, sem efeito para eventos regulares no que se remeta a Energia da Onda e a Direção.

Assim, não promove agitação na local e mantem as condições favoráveis para ocupação e realização de comportamentos íntimos pelos golfinhos. Bezerra da Costa (2011) além de perceber que os golfinhos chegam mais cedo na Baía em condições de ventos mais fortes, constatou-se também que ventos intensos podem mante-los por mais tempo no local. Tanto quanto as ondas, os ventos mantem os entornos da Baía mais agitados, o que faria com que os golfinhos buscassem mais

as águas refugiadas da enseada.

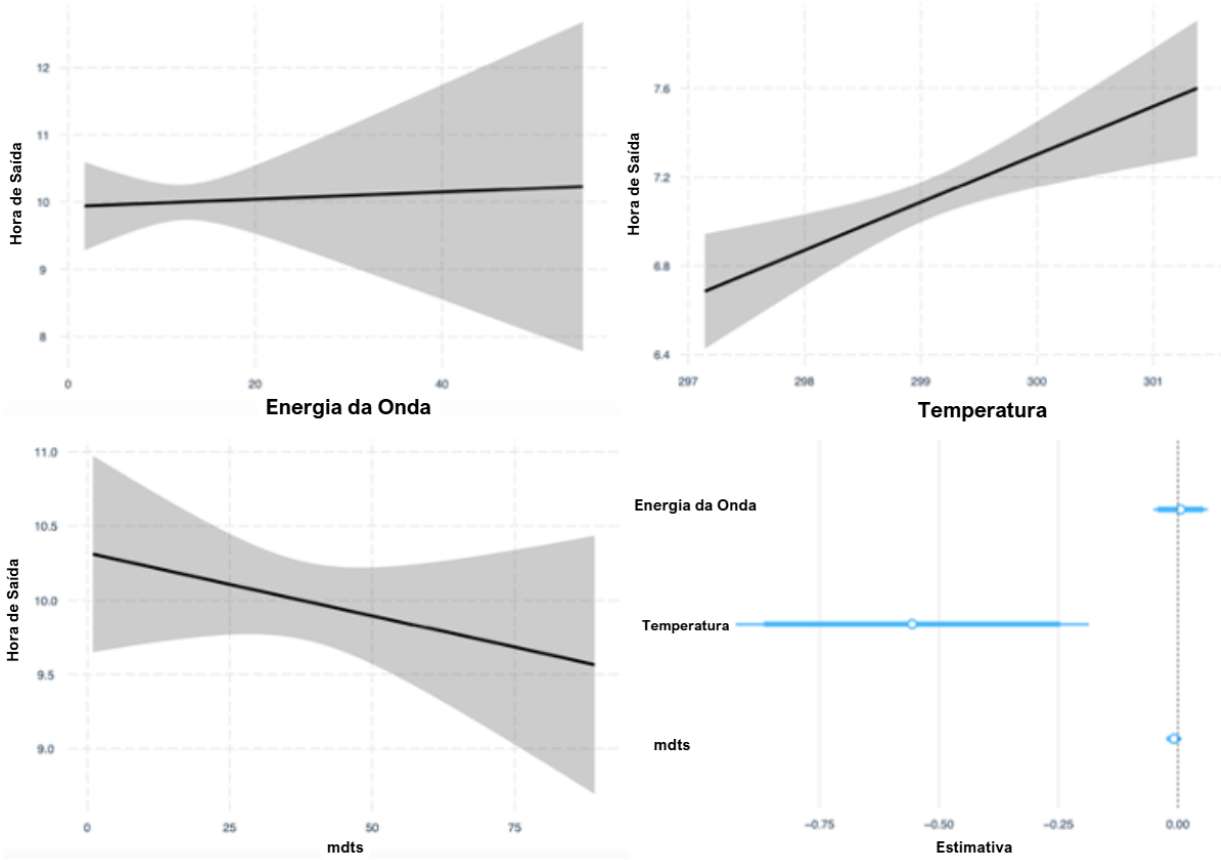

Figura 15. Horário de saída dos golfinhos relacionados a variáveis do HS: Energia da Onda (kW/m); Temperatura (unidade Kelvin); Média Direção Total das Ondas; Estimativa (média, desvio padrão e intervalo de insegurança).

4.6 – A influência das ondas na direção de saída dos golfinhos.

O modelo mostra resultados semelhantes para os subconjuntos de dados. A Energia da Onda, a Temperatura e a Direção da ondulação tanto do HN (Figura 16) quanto do HS (Figura 17) são significativas quando a decisão dos golfinhos para a direção de saída da enseada, sempre com tendência de deslocamento em direção a ondulação.

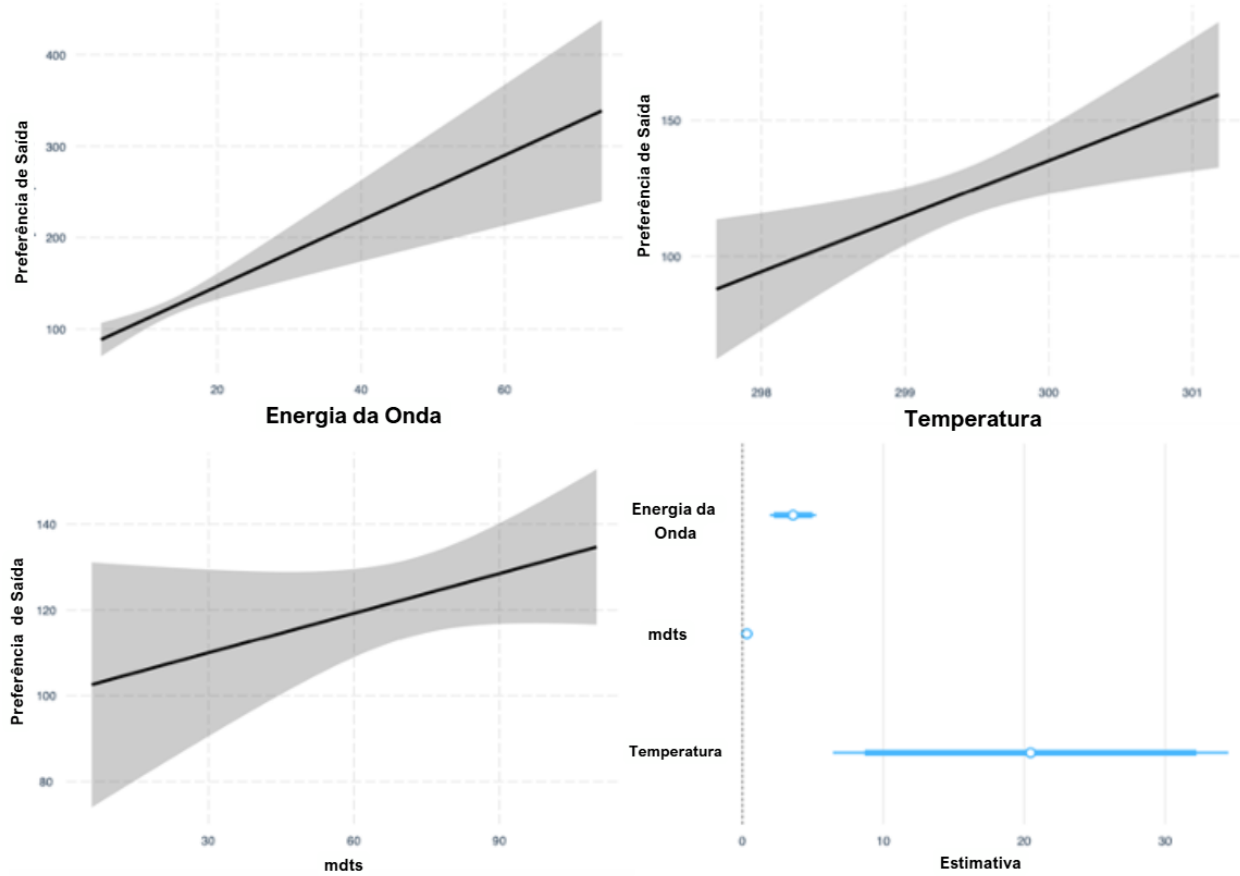

Figura 16. Direção de saída dos golfinhos relacionados a variáveis do HN: Energia da Onda (kW/m); Temperatura (unidade Kelvin); Média Direção Total das Ondas; Estimativa (média, desvio padrão e intervalo de insegurança).

Em 95,5 % dos dias que Silva-Jr. (1996) observou a saída dos rotadores da Baía dos Golfinhos, a direção predominante foi de N, sendo 93,55% por 21° N (Zé Ramos) e 1,95% por 320° NO (Corveta), sem apresentar diferenças significativas entre as estações chuvosa e seca (p=0,996). Uma vez que, depois de copular, cuidar de seus filhotes e repousar na Baía (SILVA-Jr. *et al*., 2005), os golfinhos deixam o local em direção a mar aberto para se alimentarem (SILVA-Jr. *et al*., 1996), com uma rotina noturna que consiste em forrageamento por peixes mesopelágicos e lulas meso e epipelágicas que migram verticalmente em águas mais profundas (KLINOWSKA, 1991; NORRIS *et al*., 1994; BENOIT-BIRD *et al*., 2001; BENOIT-BIRD e AU, 2003; SILVA-JR. *et al.,* 2007).

Quando se deslocam em direção as ondas do HN, contra o fluxo de energia da onda, embora parece ser desvantagem no custo energético, e em outros momentos não, os golfinhos podem, porém, estarem indo de encontro com suas presas, através do enfeito de Deriva de Stokes, que é importante para a transferência de massa de vários tipos de matéria e organismos através de fluxos oscilatórios (STOKES, 1847). A influência das ondas de superfície que não quebram no oceano podem atingir dezenas de metros, afetando muito a camada de mistura vertical superior do oceano (QIAO *et al*., 2004; DAI *et al*., 2010).

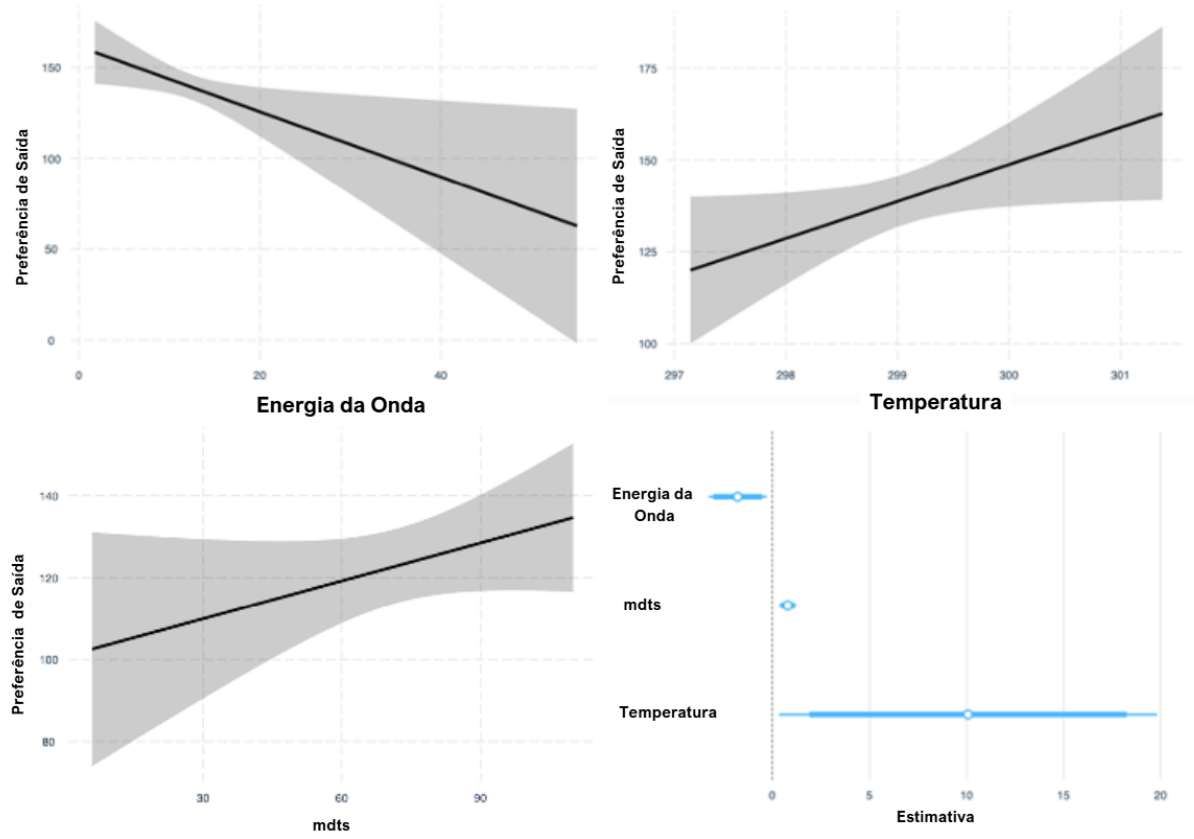

Figura 17. Direção de saída dos golfinhos relacionados a variáveis do HS: Energia da Onda (kW/m); Temperatura (unidade Kelvin); Média Direção Total das Ondas; Estimativa (média, desvio padrão e intervalo de insegurança).

Já em resposta as ondas do HS, os golfinhos saem da enseada em busca de alimento em alto mar de forma mais abrigada e em seguida, podendo ter a vantagem de o deslocamento seguir na mesma direção das ondas, uma vez que ela tem origem de quadrante sul e sudeste, marchando em direção das pressas e podendo estar respondendo ao movimento dalas (DAURA-JORGE *et al*. 2005).

4.7 – A influência das ondas na permanência dos golfinhos-rotadores na Baía dos Golfinhos.

As ondas do HN apresentam influência significativa na permanência dos golfinhos, fazendo com eles deixem a Baía mais cedo conforme a Energia da Onda é maior, para a Temperatura é o oposto, ou seja, quanto mais quente, mais tempo eles permanecem na Baía. Já a Direção não apresenta tendência significativa (Figura 18), ainda que os golfinhos ficaram menos na enseada com a variação das ondas de norte para leste.

Um possível efeito da direção das ondas em golfinhos de Hector (*Cephalorhynchus hectori*) na Nova Zelândia, pode ser devido ao formato da Península de Banks, local onde Dittamann *et al*. (2016) viu que o lado sul da península é mais protegido das ondas de norte, assim qualquer efeito,

como aumento de turbidez, será mais pronunciado com ondas de sul. Em Fernando de Noronha, os efeitos dentro da enseada estudada são mais pronunciados para eventos de quadrante norte, justamente por ter sua abertura exposta para essa direção.

Sekiguchi e Kohshima (2003) encontraram uma flexibilidade no comportamento de descanso para golfinhos-nariz-de-garrafa (*Tursiops truncatus*) em cativeiro, de acordo com a situação a que os mesmos estariam submetidos, sugerindo que os golfinhos, mesmo em ambiente selvagem, mudariam o tipo e quantidade do descanso sob situações de estresse, quando não encontram situações de mar calmo.

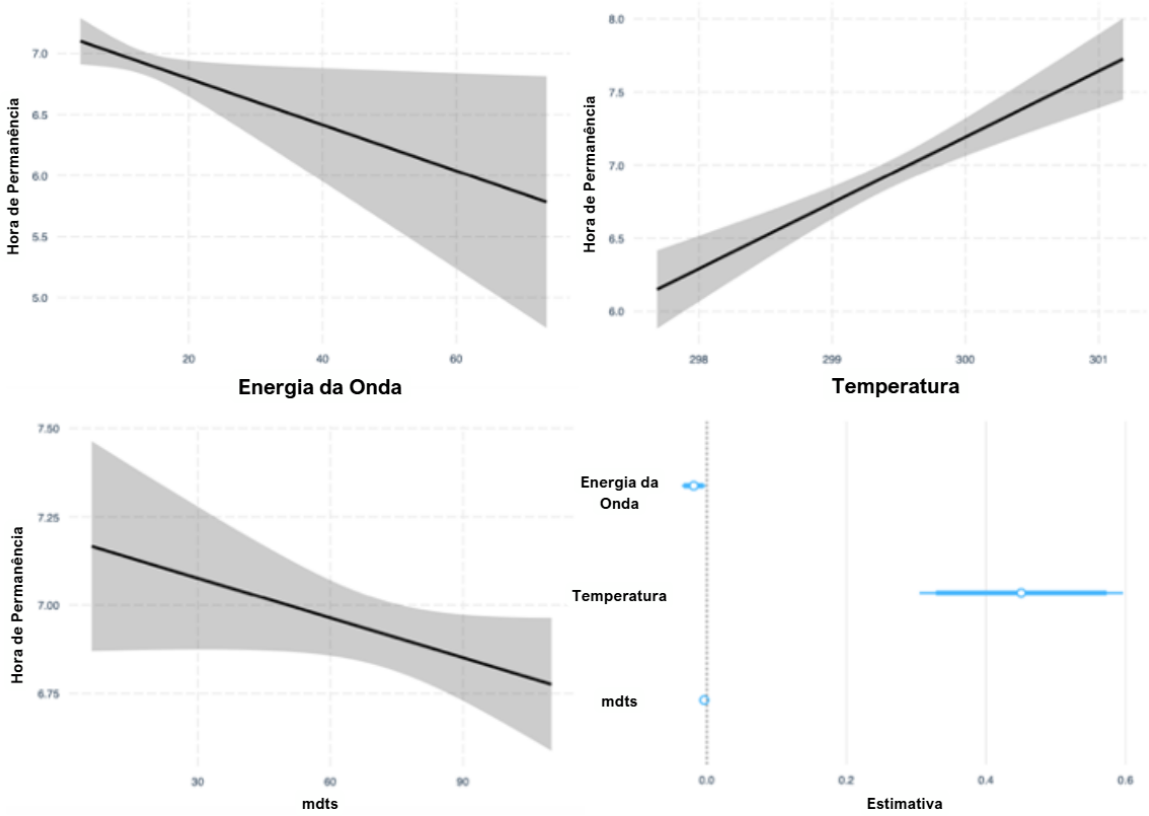

Figura 18. Permanência dos golfinhos relacionados a variáveis do HN: Energia da Onda (kW/m); Temperatura (unidade Kelvin); Média Direção Total das Ondas; Estimativa (média, desvio padrão e intervalo de insegurança)

Para as ondas do HS, a Energia da Onda não apresenta influência, mas mantem tendência de quanto mais forte as ondas, menos os golfinhos permanecem na Baía (Figura 19).

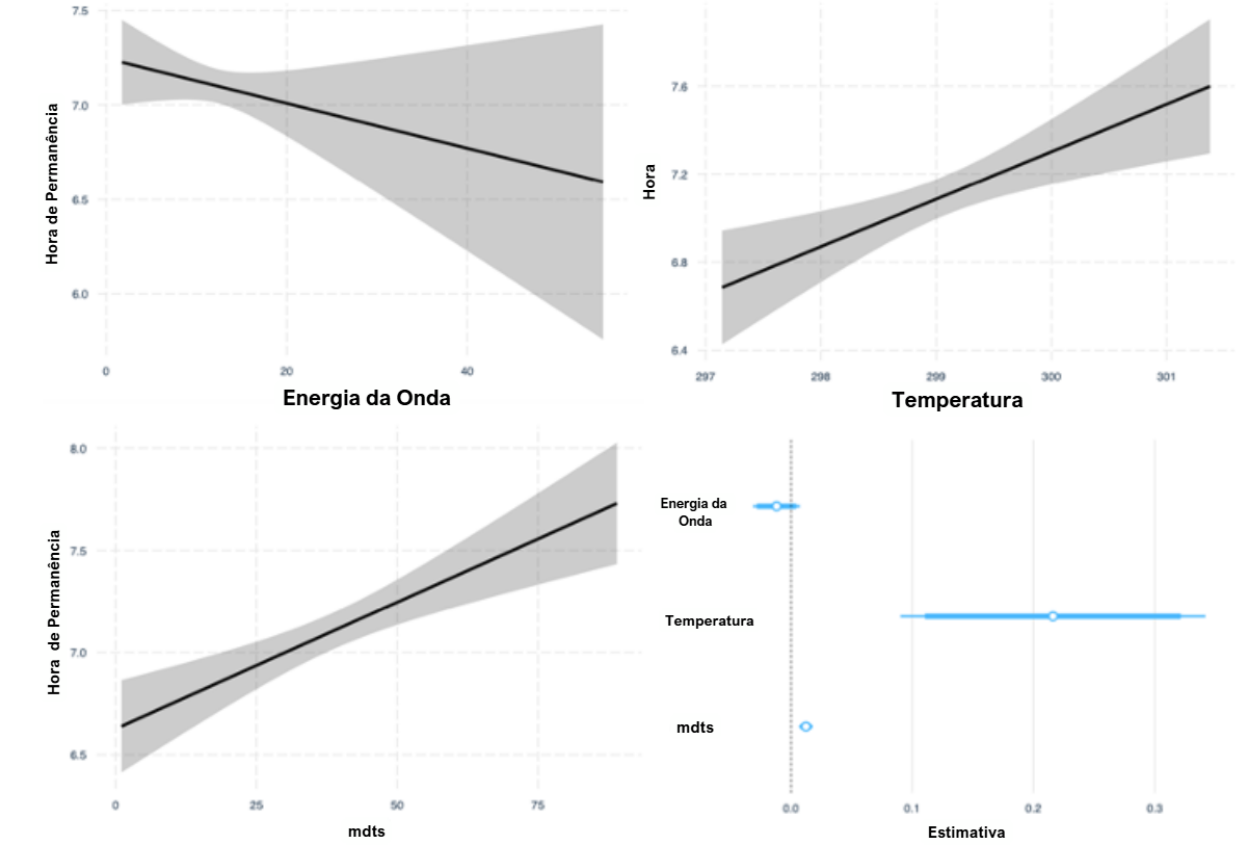

Figura 19. Permanência dos golfinhos relacionados a variáveis do HS: Energia da Onda (kW/m); Temperatura (unidade Kelvin); Média Direção Total das Ondas; Estimativa (média, desvio padrão e intervalo de insegurança).

Ondas do HS mais intensas, promovem muito agitação também na face Noroeste da Ilha, ainda que não atinge muito o interior da Baía dos Golfinhos, mas atinge uma de suas laterais (Figura 9C) diferente das ondas do HN (Figura 9B), que altera toda condição de calmaria e águas cristalinas. Aqui o efeito de abrigo que a baía oferece para determinadas direções de ventos (BEZERRA DA COSTA, 2011) fica claro para o efeito das ondas também, que além dos efeitos da Energia da Onda, a Direção da ondulação mais de Leste menos tempo os golfinhos ficam do que quando a ondulação vem de Sul (Figura 19).

As encostas da Baía dos Golfinhos são bem íngremes e as praias são formadas exclusivamente por seixos rolados ou as águas chegam direto no penhasco (ALMEIDA, 1958), que deixam a baía abrigada de ondas de quadrante Sul.

Para esse subconjunto de dados o modelo apresentou que a Temperatura é positivamente relacionada com a permanência dos golfinhos. Enquanto que a Direção e a Energia da Onda tem efeitos diferentes dependendo do seu hemisfério de origem, muito devido a exposição da Baía.

4.8 – A influência das ondas na quantidade de golfinhos-rotadores na Baía dos Golfinhos.

Quando analisamos o conjunto de dados de ondas do HN, o número de golfinhos que buscam a Baía tem forte relação com o comportamento das ondas. A influência da Energia da Onda, a Temperatura e a Direção é bastante clara (p< 2e-16). O aumento na energia da onda e na temperatura influenciam negativamente na quantidade de golfinhos. Assim também é quando as ondas chegam de norte, o número de golfinhos é significativamente menor do que quando as ondas chegam de leste (Figura 18).

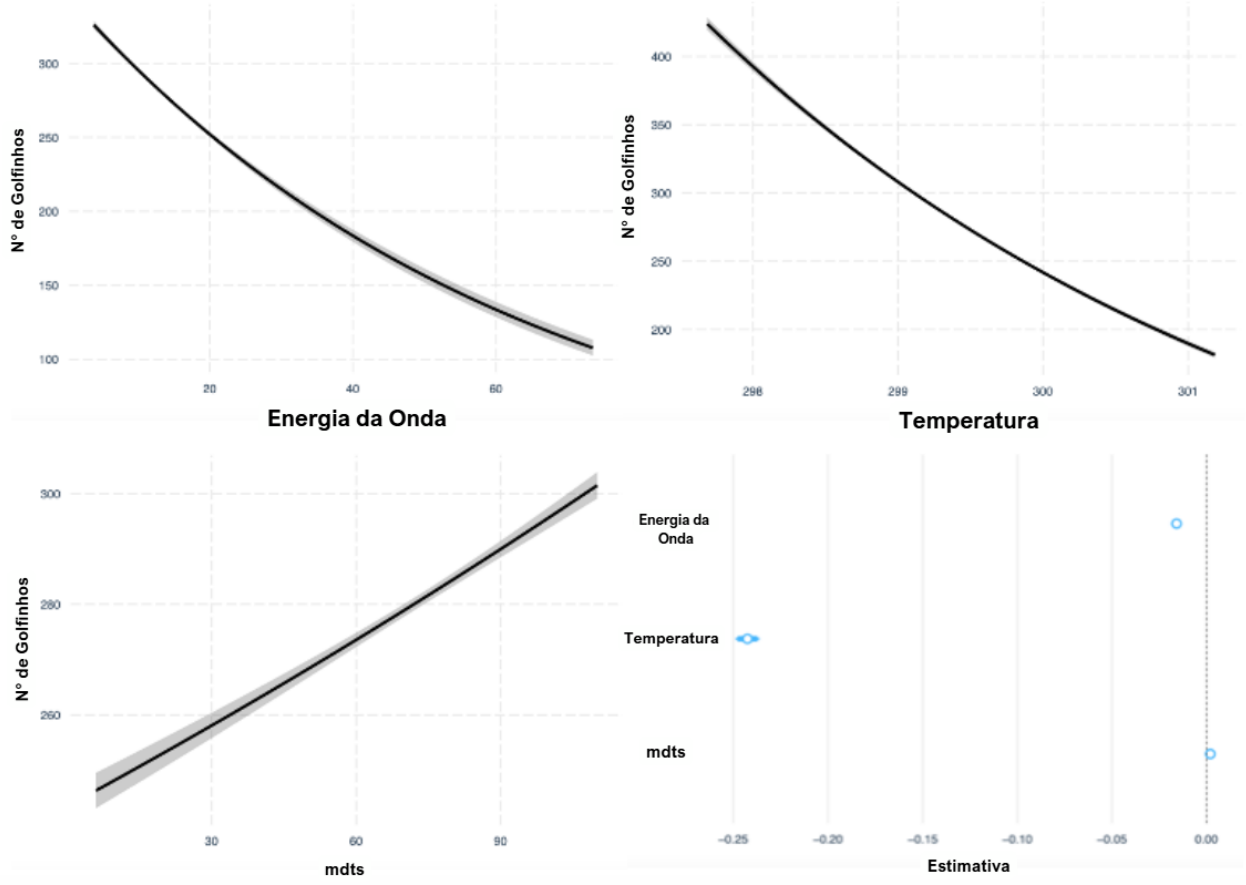

Figura 18. Quantidade dos golfinhos relacionados a variáveis do HS: Energia da Onda (kW/m); Temperatura (unidade Kelvin); Média Direção Total das Ondas; Estimativa (média, desvio padrão e intervalo de insegurança).

Para o conjunto de dados das ondas do HS a influencia da Energia da Onda, Temperatura e Direção também são bastante evidentes (p < 2-e16), porém com uma diferença interessante em relação ao número de golfinhos e o comportamento das ondas. Assim como para as ondas do HN, no HS o aumento da temperatura implica negativamente na contagem de golfinhos, fazendo com que menos golfinhos ocupem a enseada conforme a temperatura aumenta (figura 18).

Os resultados mostram que as ondas de quadrante leste agem positivamente para mais golfinhos ocuparem a Baía. Considerando que em Fernando de Noronha e Atol das Rocas, há um

predomínio de ondas de sudeste ao longo do ano (COSTA e SIEGLE, 2022), o padrão de ondas do grupo 1 (ver item 3.2), que apresentam características de menor intensidade (Figura 8A), o que mantem o ambiente mais favorável para os animais ocuparem a Baía, uma vez que os golfinhos-rotadores ocorrem principalmente em áreas de alta transparência da água (PERRIN, 2002).

Diferente dos eventos de sul, de padrão de ondas do grupo 3, que promove condições mais desafiadoras para os golfinhos ao redor da ilha. Assim a relação com a Energia da Onda do HS, apresenta influência positiva na quantidade de golfinhos na enseada, ou seja, conforme as ondas se apresentam mais energéticas, maior o número de golfinhos na enseada. Segundo Silva Jr. (2010) o censo em dias que predominam vento sul foi significativamente maior do que os dias que predominam vento sudeste e quanto mais de sul sobrou o vento, maior foi sua velocidade. Esse resultado se justifica, pois nessas condições a Baía dos Golfinhos se torna o local mais abrigado para a população de rotadores nessa região do Atlântico.

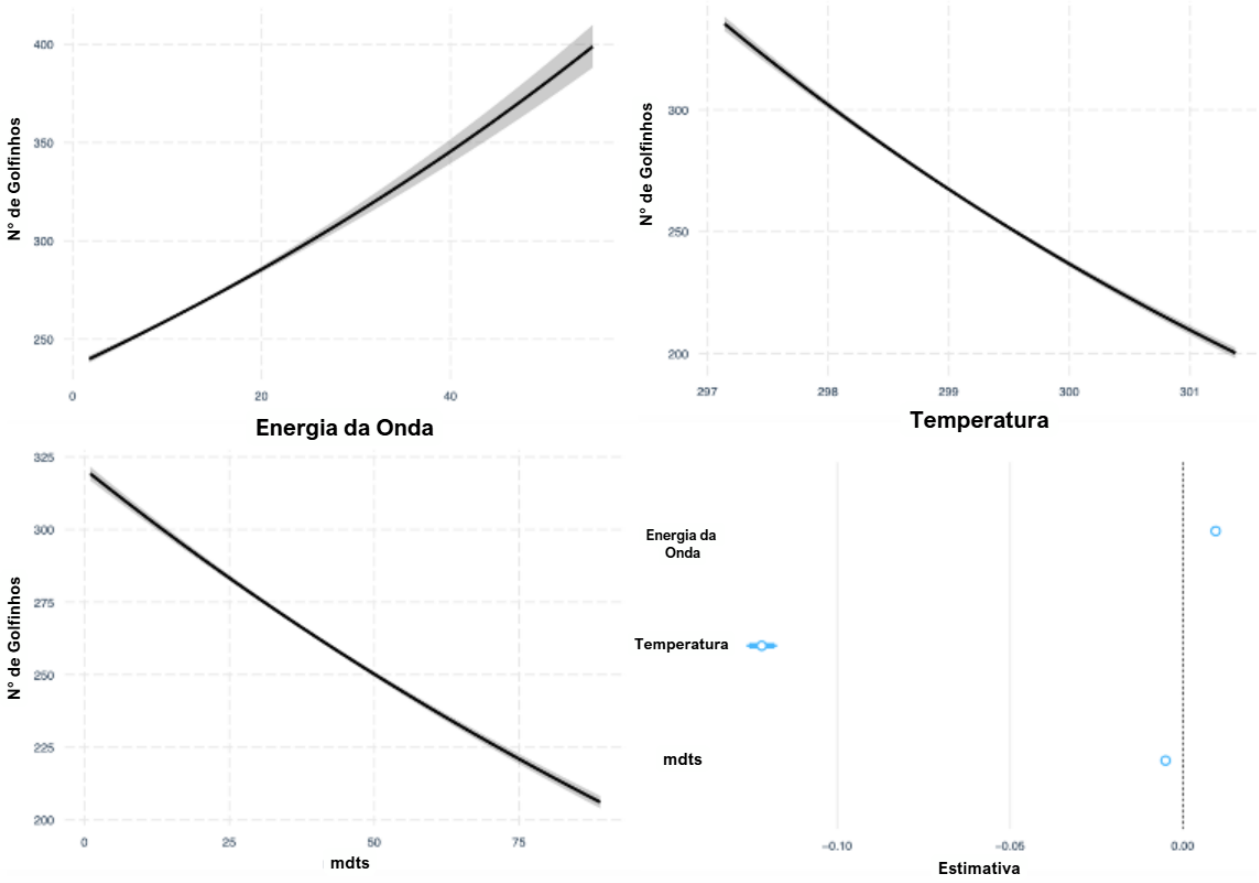

Figura 19. Quantidade de golfinhos relacionados a variáveis do HS: Energia da Onda (kW/m); Temperatura (unidade Kelvin); Média Direção Total das Ondas; Estimativa (média, desvio padrão e intervalo de insegurança).

Para golfinhos-pintados (*Stenella ssp*) a preferência de ocupação em determinadas áreas tem sido associada a características oceanográficas, como termoclina rasa e aguda, temperaturas de superfície acima de 25°C e salinidade abaixo de 34 (AU e PERRYMAN, 1985; BALLANCE *et al*.

2006). No Oceano Pacífico Central Mexicano variações ao longo do ano, como a sazonalidade da temperatura da superfície do mar e áreas de ressurgência (AMBRIZ-ARREOLA *et al*., 2012, 2018) provavelmente contribuem para o aumenta na presença de golfinhos-pintados (*Stenella attenuata*) (DIAZ-TORRES *et al*., 2022). O padrão de distribuição e abundância de golfinhos-nariz-de-garrafa (*Tursiops truncatus*) e golfinhos-pintados se assemelham, mostrando aumento na abundância dos animais em temperaturas maiores (FLORES-RAMIREZ *et al*., 1996; SALVADEO *et al*., 2009).

Após dois furacões, as populações de golfinhos das Bahamas sofreram uma perda populacional em 30%, não se sabe se foi devido a mortalidade ou emigração (ELLISER e HERZING, 2016). Furacões na área do Mississipi tiveram efeitos diversos de curto e longo prazo nas atividades de forrageio de golfinhos (SMITH *et al*., 2013). Embora ainda não seja claro como níveis sonoros elevados de fontes naturais, como os causados por ventos fortes e ação de ondas, afetam o comportamento dos golfinhos, no futuro, os ecossistemas marinhos podem estar cada vez mais expostos a perturbações oriundas de tempestades, que devem ocorrer com maior frequência e intensidade com as mudanças do clima (IPCC, 2007).

De fato, águas mais agitadas podem ser perigosas para os filhotes ou força-los a gastar mais energia (WHITEHEAD e MOORE, 2982), no Japão encalhes em massa de uma série de espécies de cetáceos, incluindo golfinhos, foram atribuídos a dispneia devido às condições de ondas altas (HONMA *et al*., 1993) e da mesma forma, acredita-se que o mar agitado no Nordeste do Atlântico contribuiu para encalhes em massa de baleias-piloto-de-nadadeira-curta (*Globicephala macrorhyncus*) (GONZÁLEZ *et al*., 2000).

Mudanças no comportamento e distribuição de várias espécies marinhas foram atribuídas a tempestade (AMBER *et al*., 2020), além de alterar a composição, estrutura populacional, abundância, taxa reprodutiva e de mortalidade, fenologia de eventos do histórico de vida, crescimento e dieta (HOEGH-GULDBERG e BRUNO, 2010; WASSMANN *et al*., 2011), podem também facilitar a introdução de novos vírus e patógenos (SIMMOND e ELOIT, 2009). Impactos mais extremos como mortalidade ou diminuição da abundância como resultado da ação das ondas (LASSIG *et al*., 1983; WALKER *et al*., 2008) tem sido bastante reportado, podendo representar implicações importantes para a sobrevivência dos mamíferos marinhos.

Impactos das mudanças climáticas conhecidos e previstos em larga escala no ambiente marinho incluem aumento da temperatura, elevação do nível do mar, mudanças na circulação oceânica, salinidade, concentração CO2, frequência das tempestades, padrões climáticos, velocidade e condições das ondas (HANSEN *et al*., 2001; IPCC, 2001; SEAR *et al*., 2001; HULME *et al*., 2002; FRS, 2003; ICES, 2004). Embora os impactos dessas mudanças sejam difíceis de prever, dada a falta de dados sobre as preferências de habitat dos mamíferos marinhos (NICOL *et al*., 2008), é possível que tais mudanças alterem regimes de comportamento (TRATHAN *et al*., 2007).

O aumento nas temperaturas do ar ambiente (CHRISTENSEN *et al*., 2007; SUPPIAH *et al*,

2007) provavelmente terá um efeito significativo sobre os mamíferos marinhos (NICOL *et al*., 2008) e aumentos previstos na temperatura do ar podem afetar a taxa reprodutiva (TRATHAN *et al*., 2007), e ainda, as distribuições de mamíferos marinhos provavelmente serão profundamente influenciadas pelo aumente da temperatura da água (TRATHAN *et al*., 2007; MACLEOD, 2009).

Espécies cosmopolitas que têm dietas diversas e exploram múltiplos habitats, como algumas espécies de golfinhos, provavelmente exibirão maior resiliência a mudanças induzidas pelo clima do que espécies que exibem alta fidelidade ao local e de distribuição fragmentada (LAWLER *et al*., 2007). No entanto, estressores não climáticos agem em sinergia com efeitos climáticos, aumentando ainda mais a vulnerabilidade de mamíferos marinhos às mudanças e variabilidades ambientais. Essas atividades antrópicas vão desde o emarenhamento em redes ou a captura acidental em operações de pesca (Heinson *et al*., 1976; Marsh *et al*., 1996; Page *et al*., 2004; Kemper *et al*., 2005; Hamer e Goldsworthy, 2006; Goldsworthy *et al*., 2007; Hamer *et al*, 2013), captura humana de golfinhos (TRATHAN *et al*., 2007) transito de navios (LAWLER *et al*., 2007; LEAPER e MILLER, 2011) perturbação por atividades regulares de embarcações local (MÖLLER *et al*., 2002; BEJDER *et al*., 2006; LEMON *et al*., 2006; HODGSON e MARSH, 2007; BACK, 2010; STECKENREUTER *et al*., 2011, 2012; TISCHER *et al*., 2013; LUIS-Jr, 2009), a poluição sonora (BANNISTER *et al*., 1996; LEAPER e MILLER, 2011), o desenvolvimento costeiro e o influxo de contaminantes humanos (Combi *et al*., 2021; LEAPER e MILLER, 2011). Embora exista uma compreensão das escalas de acúmulos de múltiplas ameaças, importantes habitats definidos aqui como aqueles usados para eventos do clico de vida, como dar à luz, amamentar os filhotes, repousar e reproduzir, são localidades que precisam de cuidados redobrados.

Estudos anteriores mostraram que a rotina diária dos golfinhos-rotadores, tanto em outras regiões (NORRIS *et al*., 1994) quanto em Fernando de Noronha (SILVA-JR., 1996; SAZIMA *et al*., 2003; SILVA-JR. *et al*., 2004, 2005), envolve alimentação noturna e reprodução e descanso diurnos. No arquipélago brasileiro em estudo, esses animais apresentam comportamentos que são biologicamente significativos na manutenção da estabilidade populacional, incluindo repouso, reprodução e cuidado parental (SILVA-JR., 2010), além dos golfinhos-rotadores de Noronha fornecem comida adicional para uma população considerável de cangulos-pretos (*Melichthys niger*) e uma gama de onze outras espécies, principalmente peixes de recifais que comem plâncton (SAZIMA *et al*., 2013).

A importância desses animais para o arquipélago vai além de suas contribuições com serviços ecossistêmicos, os golfinhos têm muita representatividade na história, na cultura e na economia local, como demonstra o fato de terem sua imagem na bandeira da Ilha e estamparem diversas logomarcas locais, mas principalmente pelo turismo de observação. A observação de golfinhos é lucrativa e uma das atividades mais atraentes para quem visita o arquipélago. Em 2009, cerca de 70.000 visitantes gastaram aproximadamente US$ 2.650.000,00 na ilha exclusivamente

devido à observação de golfinhos (SILVA-JR., 2010). Em 2022 a ilha recebeu um total de 149.839 mil visitantes, segundo dados do Controle Migratório da Autarquia Distrito Estadual de Fernando de Noronha. A pressão das atividades antrópicas coloca os rotadores que visitam regularmente o arquipélago sob uma séria ameaça, pois quanto mais tempo e energia os golfinhos gastam interagindo com barcos, menos eles descansam e se reproduzem (SILVA-JR, 1996). Por isso Fernando de Noronha precisa de uma gestão estratégica e cuidadosamente executada para conservação dessas populações, considerando as ameaças não climáticas e climáticas para aumentar a resiliência dos golfinhos às mudanças. Por fim, integrar o conhecimento relacionado ao clima no Planejamento Espacial Marinho, identificando os impactos climáticos esperados, risco e oportunidades (ambientais, sociais, econômicas), são caminhos para garantir um planejamento inteligente em relação ao clima (SANTOS *et al*., 2024).

5. CONCLUSÃO

A observação visual da área e a fácil detecção da presença ou ausência dos golfinhos oferecidos pela qualidade do ponto de monitoramento e o uso do modelo ERA5 para leitura dos fatores ambientais aqui em discussão, produziram resultados comparáveis reforçando as conclusões deste estudo, fornecendo confiança para uma imagem imparcial do uso do habitat pelos golfinhos-rotadores de Noronha.

O clima de ondas que atingem o Arquipélago estudado se mostrou bastante dinâmico, sendo o local exposto a ondas com origem em ambos os hemisférios e devido a isso, sujeito a sazonalidade anual, com variação na direção das ondas.

Eventos do hemisfério norte são mais fortes, e já oferecem eventos com intensidades de classes severas e extremas, que atingem de forma mais violenta o mar de dentro, face da Ilha onde estão instaladas algumas das principais estruturas de manutenção a condição da ocupação humana e também a Baía dos Golfinhos.

Eventos com origem no hemisfério sul há um cenário de alteração significativa na energia da onda, condição que faz a Baía dos Golfinhos ser a enseada mais abrigada em Fernando de Noronha nessas condições, tornando a face do mar de fora bastante vulnerável a processos erosivos.

Com a projeção positiva mostrada pelo modelo e o aumento significativo da temperatura, a frequencia na ocorrência de eventos mais intensos e com maior energia nas ondas são esperados.

O comportamento das ondas e seus efeitos no entorno do Arquipélago de Fernando de Noronha tem relações significativas na ocupação e comportamento dos golfinhos-rotadores, afetando diretamente a qualidade do habitat desses animais.

Nossas análises mostraram que a direção e a energia das ondas e a temperatura influenciam sobre o horário e direção de chegada e saída dos golfinhos, assim como no tempo de permanência e

principalmente no número de golfinhos.

A Baía dos Golfinhos fica mais exposta para as ondas com origem no Hemisfério Norte resultando em mudanças mais expressivas nas suas características ambientais, desfavorecendo sua ocupação pelos golfinhos.

Para as ondas do Hemisfério Sul, a Baía dos Golfinhos se mostra como uma das principais áreas abrigadas e por isso mais golfinhos buscam pela enseada conforme as ondas são mais forte.

Os resultados dessa dissertação levantam a questão do por que o movimento dos golfinhos responde ao comportamento das ondas, e embora mais pesquisas sejam necessárias para compreender essa conexão ecológica entre as ondas e os golfinhos, estudos semelhantes podem beneficiar tanto a conservação, como a pesquisa e o manejo da espécie.

Por fim, este estudo destaca a necessidade urgente de integrar a gestão ambiental e a conservação da vida selvagem com as estratégias de adaptação às mudanças climáticas. Somente através de uma abordagem integrada e adaptativa poderemos garantir um futuro sustentável para os golfinhos-rotadores em Fernando de Noronha e outros habitats e animais marinhos ameaçados.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. (1958). *Geologia e petrologia do arquipélago de Fernando de Noronha*. Rio de Janeiro: IBGE, p. 181.

ALVES, J. H. G. (2006). *Numerical modeling of ocean swell contributions to the global wind-wave climate*. Ocean Modelling, v.11, n.1–2, p.98–122. DOI:10.1016/j.ocemod.2004.11.007.

ALTMANN, J. (1974). *Observational study of behavior: sampling methods*. Behaviour, v.49, p. 277-267.

AMBER, D. F. *et al*. (2020). *Effects of intense storm events on dolphin occurrence and foraging behavior*. Springer Nature Journal. DOI: 10.1038/s41598-0200-76077-3.

AMBRIZ-ARREOLA, I. *et al*. (2012). *Influence of coastal upwelling−downwelling variability on tropical euphausiid abundance and community structure in the inshore Mexican central Pacific.* Marine Ecology Progress Series, v. 451, p.119–136. DOI:10.3354/meps09607.

AMBRIZ-ARREOLA, I. *et al*. (2018). *Seasonal succession of tropical community structure,*

abundance, and biomass of five zooplankton taxa in the central Mexican Pacific. Continental Shelf Research, v. 168, p. 54–67. DOI: 10.1016/j.csr. 2018.08.007.

ANDREWS, K. R. *et al*. (2010). *Rolling stones and stable homes: social structure, habitat diversity and population genetics of the Hawaiian spinner dolphin*. Molecular Ecology, v. 19, p. 732-748.

ARDHUIN, F.; CHAPRON, B.; COLLARD, F. (2009). *Observation of swell dissipation across oceans*. Geophysical Research Letters, v.36, n.6, p.1–5. DOI:10.1029/2008GL037030.

AU, D. W.; PERRYMAN, W. L. (1985). *Dolphin habitats in the eastern tropical Pacific*. Fishery Bulletin - *NOAA,* v. 83, n. 4, p. 623–644.

BARCELLOS, R. L. *et al*. (2016). *Sistema sedimentar do Sueste: caracterização morfossedimentar e geoquímica sazonal. Mar de Fora, Fernando de Noronha (PE)*. In: ENCONTRO DE PESQUISA DE FERNANDO DE NORONHA, SÃO PEDRO E SÃO PAULO E ATOL DAS ROCAS, 1. Fernando de Noronha: ICMBio. p. 233.

BACK, J. (2010). *Behavioural responses of Australian fur seals to boat-based ecotourism*. M.Sc. Thesis, Deakin University, Melbourne.

BAILEY, H., THOMPSON, P. (2006). *Quantitative analysis of bottlenose dolphin movement patterns and their relationship with foraging*. J Anim. Ecol. 75:456-465.

BALLANCE, L. T.; PITMAN, R. L.; FIEDLER, P. C. (2006). *Oceanographic influences on seabirds and cetaceans of the eastern tropical Pacific: a review*. Progress in Oceanography, v. 69, n. 2–4, p. 360–390. DOI: 10.1016/j.pocean.2006.03.013.

BANNISTER, J. L.; KEMPER, C. M.; WARNEKE, R. M. (1996). *The Action Plan for Australian Cetaceans*. Canberra: Australian Nature Conservation Agency.

BELMONTE RIVAS, M.; STOFFELEN, A. (2019). *Characterizing ERA-interim and ERA 5 surface wind biases using ASCAT*. Ocean Science, v. 15, n. 3, p. 831–852. DOI:10.5194/os15831-2019.

BEJDER, L. *et al*. (2006). *Decline in relative abundance of bottlenose dolphins exposed to*

long-term disturbance. Conservation Biology, v.20, p.1791–1798. DOI:10.1111/j.15231739.2006.00540.x.

BENOIT-BIRD, K. J.; AU, W. W. L. (2003). *Prey dynamics affect foraging by a pelagic predator* (*Stenella longirostris*) *over a range of spatial and temporal scales.* Behavioral Ecology and Sociobiology, v. 53, p. 364–373. DOI: 10.1007/s00265-003-0585-4.

BENOIT-BIRD, K. J. *et al*. (2001). *Diel horizontal migration of the Hawaiian mesopelagic boundary community observed acoustically*. Marine Ecology Progress Series, v.217, p.1–14. DOI:10.3354/meps217001

BENSON, S.R. *et al.* (2002). *Change in the cetaceans assemblage of a coastal upwelling ecosystem during El Niño 1997-98 and La Niña 1999*. Prog. Ocenogr.54(1-4):279-291. DOI:10.1016/S0079-6611(02)00054-X

BEZERRA DA COSTA, T.E. (2011). *Variações horárias de entrada e saída dos golfinhos-rotadores e sua relação com fatores ambientais, na Baía dos Golfinhos em Fernando de Noronha – PE*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

BRAULIK, G.; REEVES, R. (2018). *Stenella longirostris*. The IUCN Red List of Threatened Species. DOI: http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018

CAI, W. *et al.* (2014). *Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming*. Nat. Clim. Change 4, 111-116. DOI:10.1038/nclimate2100

CAMUS, P. *et al.* (2013). High-resolution downscaled ocean waves (DOW) reanalysis in coastal areas. *Coastal Engineering*, 72:56-68. DOI:10.1016/j.coastaleng.2012.09.002

CARTWRIGHT, R. *et al.* (2019). *Fluctuating reproductive rates in Hawaii's humpback whales, Megaptera novaeangliae*, *reflect recent climate anomalies in the North Pacific*. *R Soc.Open Sci.* 6. DOI:10.1098/rsos.181463

CAVANAGH, R. D. *et al*. (2017). *A synergistic approach for evaluating climate model output for ecological applications*. Frontiers in Marine Science, v.4, p.308. DOI:10.3389/fmars.2017.00308

CHEN, G. *et al*. (2002). A global view of swell and wind sea climate in the ocean by satellite altimeter and scatterometer. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 19, p. 1849–1859.

CHIARELLO, A. G. *et al*. (2008). *Mamíferos*. In: MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M.; PAGLIA, A. P. Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. Brasília*:* Ministério do Meio Ambiente, v. 2, p. 681-882.

CHINI, N. *et al.* (2010). *The impact of sea level rise and climate change on inshore wave climate: A case study for East Anglia (UK)*. Coastal Engineering*,* 57(11-12), 973-984. DOI:10.1016/j.coastaleng.2010.05.009

CHRISTENSEN, J. H. *et al*. (2007). *Regional climate projections*. In: CLIMATE CHANGE 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, e New York, NY, USA.

COMBI, T. *et al*. (2022). *Persistent organic pollutants and contaminants of emerging concern in spinner dolphins* (*Stenella longirostris*) *from the Western Atlantic Ocean*. Marine Pollution Bulletin, v.0025-326X, Elsevier. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.113263

COSTA, M. B. (2016). *Clima de ondas e extremos em Fernando de Noronha e Atol das Rocas.* In: ENCONTRO DE PESQUISA DE FERNANDO DE NORONHA, SÃO PEDRO E SÃO PAULO E ATOL DAS ROCAS, 1., 2015. Fernando de Noronha: ICMBio. p. 233.

COSTA, M. B.; SIEGLE, E. (2022). *Wave climate and extremes on a mesotidal atoll lagoon*. Ocean and Coastal Research. DOI: 10.1590/2675-2824070.22033mbc

COTRIM, C. S.; SEMEDO, A.; LEMOS, G. (2022). *Brazil wave climate from a high-resolution wave hindcast*. Climate, v.10, p. 53. DOI: 10.3390/cli10040053

CZAJA, A.; VANDER VAART, P.; MARSHALL, J. *A diagnostic study of the role of remote forcing in tropical Atlantic variability*. Journal of Climate, v. 15, n. 22, p. 3280–3290, 2002. DOI: 10.1175/1520-0442(2002)015<3280>2.0.CO;2

DAI, D. *et al*. (2010). *An experiment on the nonbreaking surface-wave-induced vertical mixing*. Journal of Physical Oceanography, v. 40, p. 2180–2188.

DALAGNOL, R. *et al*. (2022). *Extreme rainfall and its impacts in the Brazilian Minas Gerais state in January 2020: can we blame climate change?* Climate Resilience and Sustainability, v.1, n.1, p.1–15. DOI: 10.1002/cli2.15

DAURA-JORGE, F. G. *et al*. (2005). *Seasonal and daily patterns of group size, cohesion and activity of the estuarine dolphin*, *Sotalia guianensis* (P. J. van Bénéden) (Cetacea, Delphinidae), *in southern Brazil*. Revista Brasileira de Zoologia, v. 22, n. 4, p. 1014–1021.

DAWSON, S. *et al.* (2013). *Habitat use and conservation of an endangered dolphin*. End. Spe Res. 21:45-54.

DEFRAN, R. H. *et al*. (1999). *Range characteristics of Pacific coast bottlenose dolphins Tursiops truncatus in the Southern California Bight*. Marine Mammal Science, v.15, n.2, p. 381-393.

DIAZ-TORRES, E. R. *et al*. (2022). *Influence of environmental variability on the distribution and abundance of the pantropical spotted dolphin* (*Stenella attenuata*) *in the Mexican Central Pacific*. Ciencias Marinas. DOI: 10.7773/cm.y2022.3215

DITTMANN, S. *et al*. (2016). *Hector's dolphin movement patterns in response to height and direction of ocean swell.* New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, v.50, n.2, p. 228-239. DOI: 10.1080/00288330.2015.1119165

DOBRYNIN, M.; MURAWSKY, J.; YANG, S. (2012). *Evolution of the global wind wave climate in CMIP5 experiments.* Geophysical Research Letters, v.39, n.17, p.2–7. DOI:10.1029/2012GL052843

DODET, G.; BERTIN, X; TABORDA, R. (2010). *Wave climate variability in the North-East Atlantic Ocean over the last six decades*. Ocean Model. 31,120-131.

DONELAN, M. A.; DRENNAN, W. M.; KATSAROS, K. B. (1997). *The air–sea momentum flux in conditions of wind sea and swell*. Journal of Physical Oceanography, v. 27, p. 2087–2099.

DURANT, J.M.; HJERMANN, D.; OTTERSEN, G.; STENSETH, N.C. (2007). *Climate and the match or mismatch between predator requirements and resource availability*. Clim. Res.33(3):271-283. DOI:10.3354/cr033271

ELLISER, C. R.; HERZING, D. L. (2016). *Charges in interspecies association patterns of Atlantic bottlenose dolphins*, *Tursiops truncatus*, *and Atlantic spotted dolphins*, *Stenella frontalis*, *after demographic changes related to environmental disturbance*. Marine Mammal Science, v. 32, p.602-618.

ELWEN, S.H. *et al.* (2004). *Environmental factors influencing the distribution of southern whales* (Eubalaena australis) *on the south coast of South Africa II: within bay distribution*. Mar. Mammal Sci. 20:583-601.

FAN, Y.; HELD, I. M.; LIN, S.-J.; WANG, X. L. (2013). *Ocean warming effect on surface gravity wave climate change for the end of the twenty-first century*. Journal of Climate, v. 26, p. 6046–6066.

FARIA, D. M. *et al*. (2020). *Low mtDNA diversity in a highly differentiated population of spinner dolphins* (*Stenella longirostris*) *from the Fernando de Noronha Archipelago, Brazil*. PLoS ONE, v.15, n.4, e0230660. Disponível em: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230660

FIELD, A. (2009). *Descobrindo a estatística usando o SPSS*. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, p. 688.

FISH, F. E.; NICASTRO, A. J.; WEIHS, D. (2006). *Dynamics of the aerial maneuvers of spinner dolphins*. The Journal of Experimental Biology, v. 209, p. 590-598.

FLORES-RAMÍREZ, S.; URBÁN, R. J.; VILLARREAL-CHÁVEZ, G.; VALLES-JIMÉNEZ, R. (1996). *Cambios espaciales y temporales de la estructura comunitaria de los cetáceos en bahía de La Paz, BCS, México (1988-1991) Spatial and temporal changes in the cetacean Community structure at bahía de La Paz, BCS, Mexico (1988-1991)*. Ciencias Marinas, v. 22, n. 2, p. 151–173. Disponível em: https://doi.org/10.7773/cm.v22i2.856

FLOWERDEW, J. R. (1987). *Mammals: Their Reproductive Biology and Population Ecology*. London: Edward Arnold (Publishers) *Ltd*.

FRS. (2003). *Scottish Ocean Climate Status Report 2000–2001*. *Report No. 05/03*. Aberdeen, U.K.: Fisheries Research Services, p. 20.

FUMAGALLI, M. *et al*. (2018). *Behavioral Responses of Spinner Dolphins to Human Interactions.* Royal Society Open Science, v.5.

FUNATURA (Fundação Pró-Natureza) IBAMA (1990). Plano de Manejo do Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha. Brasília: Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA.

GALVER, L. M. (2002). *The molecular ecology of spinner dolphins*, *Stenella longirostris*: *genetic diversity and population structure*. Tese (Doutorado em Biologia Marinha) – University of California, San Diego. p.211.

GLENN, S.M. *et al.* (2016). *Stratified coastal interactions with tropical cyclones*. Nat.Commun.7, 10887.

GOLDSWORTHY, S. D.; PAGE, B.; LANCASTER, M. L. (2007). *The fur seal research program at Macquarie Island. Report to the Macquarie Island Research Advisory Group (MIRAG).* South Australian Research and Development Institute.

GONG, D.; KOHUT, J.T; GLENN, S.M. (2010). *Seasonal climatology of wind-driven circulation on the New Jersey Shelf*. J.Geophys. Res. Oceans 115(C4).

GONZÁLEZ, A. F.; LÓPEZ, A.; VALEIRAS, X. (2000). *First recorded mass strandings of short-finned pilot whales (Globicephala macrorhynchus Gray, 1846) in the northeastern Atlantic*. Marine Mammal Science, v.16, p.640–646. doi:10.1111/j.1748-7692.2000.tb00958.x

GOODENOUGH, J.; MCGUIRE, B.; WALLACE, R. (1993). *Perspectives on Animal Behavior*. New York: John Wiley and Sons, Inc.

GRAMCIANINOV, C. B. *et al*. (2023). *Impact of extratropical cyclone intensity and speed on the extreme wave trends in the Atlantic Ocean*. Climate Dynamics, v. 60, p. 1447–1466. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s00382-022-06390-2

GUINNER, E. (1984). *Annual rhythms: perspective*. In: ASCHOFF, J. (Ed.). *Handbook of Behavior Neurobiology* – Biological Rhythms, vol. 4. 2. ed. New York: Plenum Press, p. 381-389.

HARWOOD, J. (2001). M*arine mammals and their environment in the twenty-first century*. Jornal of Mammology. 82, 630-640.

HAMER, D. J.; GOLDSWORTHY, S. D. (2006). *Seal-fishery operational interactions: identifying the environmental and operational aspects of a trawl fishery that contribute to by-catch and mortality of Australian fur seals* (*Arctocephalus pusillus doriferus*). Biological Conservation, v. 130, p. 517–529. doi:10.1016/j.biocon.2006.01.014

HAMER, D. J. *et al*. (2013). *The endangered Australian sea lion extensively overlaps with and regularly becomes by-catch in demersal shark gill-nets in South Australian shelf waters.* Biological Conservation, v. 157, p. 386–400. doi:10.1016/j.biocon.2012.07.010

HASTEI, G. D. *et al*. (2004). *Functional mechanisms underlying cetacean distribution patterns: hotspots for bottlenose dolphin are linked to foraging*. Marine Biology, v. 144, p. 397-403.

HEINSOHN, G. E.; MARSH, H.; SPAIN, A. V. (1976). *Extreme risk of mortality to dugongs (Mammalia: Sirenia) from netting operations*. Australian Wildlife Research, v. 3, p. 117–121. doi:10.1071/WR9760117

HEMER, M.A.; CHURCH, J.A.; HUNTER, J.R. (2010). *Variability and trends in the directional wave climate of the South Hemisphere*. Int.J.Clim. 30,475-491.

HERSBACH, H. *et al*. (2020). *The ERA5 global reanalysis*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 146, n. 730, p. 1999–2049. doi:10.1002/qj.3803

HODGSON, A. J.; MARSH, H. (2007). *Response of dugongs to boat traffic: the risk of disturbance and displacement*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, v. 340, p. 50–61. doi:10.1016/j.jembe.2006.08.006

HOEGH-GULDBERG, O.; BRUNO, J. F. (2010). *The impact of climate change on the world's marine ecosystems*. Science, v. 328, p.1523–1528. doi:10.1126/science.1189930

HONMA, Y. *et al*. (1993). *Remarkable strandings of Pacific white sided dolphins, Lagenorhynchus obliquidens Gill, 1865, and other cetaceans on the coast of the Niigata District, Sea of Japan, during severe winter conditions, 1992–1993*. Bulletin of the Biogeographical Society of Japan, v. 48, p. 81–86.

HUANG, B.; SHUKLA, J. (2005). *Ocean-atmosphere interactions in the tropical and subtropical Atlantic Ocean*. Journal of Climate, v.18, n.11, p.1652–1672. doi:10.1175/JCLI3368.1.

HULME, M. *et al*. (2002). *Climate change scenarios for the United Kingdom: the UKCIP02 scientific report*. Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research, p. 120.

HANSEN, B.; TURRELL, W. R.; ØSTERHUS, S. (2001). *Decreasing overflow from the Nordic seas into the Atlantic Ocean through the Faroe Bank channel since 1950*. Nature, v.411, p. 927–930.

HURRELL, J. W. *et al*. (2003). *An overview of the North Atlantic Oscillation*. Geophysical Monograph Series, v. 134, p. 1–35. doi:10.1029/134GM01.

IBAMA (2005). *Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental de Fernando de Noronha, Reserva Biológica Marinha do Atol das Rocas e Arquipélago de São Pedro e São Paulo*. Brasília: IBAMA.

ICES (2004). *The Annual ICES Ocean Climate Status Summary 2003/2004*. Report No. 269. Copenhagen: International Council for the Exploration of the Sea, p.32.

ICMBio (2017). *Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental de Fernando de Noronha – Rocas – São Pedro São Paulo*. Brasília: IBAMA.

INMAN, D.L; MASTER, P.M. (1994). *Status of research on the nearshore*. Shore & beach. v. 62, n.3, p.11-20.

INNOCENTINI, V. *et al.* (2005). *A agitação marítima no litoral do Nordeste do Brasil associada aos distúrbios africanos de leste*. Revista Brasileira de Metereologia.20(3), 367-374.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 1032.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Contribution of Working Group II to*

the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, p.1022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (2019). *Special report on the Ocean and Cryosphere in a changing climate. Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press*,* Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. P 755.

IZIDORO, F.B., LE PENDU, Y. (2012). *Estuarine dolphin* (*Sotalia guianenses*) *in Porto de Ilheus, Brazil: group characterization and response to ship*. *North-West J. Zool*. 8:232-240.

IWC. (1997) *Report of the IWC workshop on climate change and cetaceans*. Report of the International Whaling Commission 47, 293-313.

KEMPER, C. M. *et al*. (2005). *Cetacean captures, strandings and mortalities in South Australia 1881–2000, with special reference to human interactions*. Australian Mammalogy, v. 27, p. 37–47.

KLINOWSKA, M. (1991). *Dolphins, porpoises and whales of the world: the IUCN red data book.* Gland*: IUCN*.

LASSIG, B. R. (1983). *The effects of a cyclonic storm on coral reef fish assemblages*. Environmental Biology of Fishes*,* v. 9, p. 55–63.

LAWLER, I. R.; PARRA, G.; NOAD, M. (2007). *Vulnerability of marine mammals in the Great Barrier Reef to climate change*. In: JOHNSON, J. E.; MARSHALL, P. A. (Eds.). Climate Change and the Great Barrier Reef: a Vulnerability Assessment. Townsville: Great Barrier Reef Marine Park Authority, p. 497-513.

LEAPER, R.; MILLER, C. (2011). *Management of Antarctic baleen whales amid past exploitation, current threats and complex marine ecosystems*. Antarctic Science, v.23, p.503–529. doi:10.1017/S0954102011000708.

LEE, S. K.; ENFIELD, D. B.; WANG, C. (2008). *Why do some El Niños have no impact on tropical North Atlantic SST?* Geophysical Research Letters, v.35, n.16, p.1968–1969. doi:10.1029/2008GL034734.

LEMON, M. *et al*. (2006). *Response of travelling bottlenose dolphins* (*Tursiops aduncus*) *to experimental approaches by a powerboat in Jervis Bay, New South Wales, Australia*. Biological Conservation, v.127, p. 363–372. doi:10.1016/j.biocon.2005.08.016.

LEMOS, G. *et al*. (2019). *Mid-twenty-first century global wave climate projections: results from a dynamic CMIP5 based ensemble*. Global and Planetary Change, v.172, p.69–87. doi:10.1016/j.gloplacha.2018.09.011.

LINSKER, R. (2003). *Arquipélago de Fernando de Noronha: O Paraíso do Vulcão*. *Terra Virgem.* São Paulo.168 pp.

LIM, E. P.; SIMMONDS, I. (2002). *Explosive cyclone development in the southern hemisphere and a comparison with northern hemisphere events*. Monthly Weather Review, v. 130, n. 9, p. 2188–2209. doi:10.1175/1520-0493(2002)130<2188>2.0.co;2.

LOBETO, M.; LOSADA. (2021). *Projections of directional spectra help to unravel the future behavior of wind waves*. Frontiers in Marine Science.8.

LUIS-JR., O. J. (2009). *Estudo de capacidade de carga e operacionalização das atividades de turismo náutico no Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha*. Brasília: ICMBio/MMA, p.87.

MACLEOD, C. D. (2009). *Global climate change, range changes and potential implications for the conservation of marine cetaceans: a review and synthesis*. Endangered Species Research, v.7, p. 125–136. doi:10.3354/esr00197

MARCELLO, F.; WAINER, I.; RODRIGUES, R. R. (2018). *South Atlantic subtropical gyre late twentieth century changes*. Journal of Geophysical Research: Oceans, v.123, n.8, p. 5194–5209. doi:10.1029/2018JC013815

MARQUES, M. D. (1997). *Mecanismos de temporização em unicelulares, plantas e invertebrados*. In: MARQUES, N.; MENNA-BARRETO, L. (Orgs.). Cronobiologia: Princípios e Aplicações. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, p. 111-135.

MARSH, H. *et al*. (1996). *The status of the dugong in the southern Great Barrier Reef Marine Park.* GBRMPA Research Publication No. 41.

McELLIGOTT, M.M.e LAMMERS, M.O. (2021). *Investigating spinner dolphin* (*Stenella longirostris*) *occurrence and acoustic activity in the Maui Nui region.* Front.Mar.Sci. v.8. doi:10.3389/fmars.2021.703818

MERCERA, K. *et al*. (2021). *Exploration of fecal glucocorticoid metabolites in the bottlenose dolphin* (T*ursiops truncatus*) *under care by enzyme immunoassay*. Aquatic Mammals, v. 47, p. 227–238.

MOLINARI, R.L.; VOITURIEZ, B.; DUNCAN, P. (1981). *Observations in the subthermocline undercurrent of the equatorial South AtlanticTech.Memo.ERL AOML-39* Nat. Oceanic and Atmos. Admin. Miami, Florida.

MÖLLER, L. M.; ALLEN, S. J.; HARCOURT, R. G. (2002). G*roup characteristics, site fidelity and seasonal abundance of bottlenose dolphins* (*Tursiops aduncus*) *in Jervis Bay and Port Stephens, south-eastern Australia*. Australian Mammalogy, v.24, p.11–21. doi:10.1071/AM02011.

MULLIN, K. D. *et al*. (2015). *Common bottlenose dolphins* (*Tursiops truncatus*) *in Lake Pontchartrain, Louisiana*. NOAA Technical Memorandum *NMFS-SEFSC-673*, p. 43.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. (2017). *Approaches to Understanding the Cumulative Effects of Stressors on Marine Mammals*. Washington: The National Academies Press. doi:10.17226/23479.

NICOL, S.; WORBY, A.; LEAPER, R. (2008). *Changes in the Antarctic Sea ice ecosystem: potential effects on krill and baleen whales.* Marine and Freshwater Research, v. 59, p. 361–382. doi:10.1071/MF07161.

NORRIS, K. S.; DOHL, T. P. (1980). *Behaviour of the Hawaiian spinner dolphin*, *Stenella longirostris*. Fishery Bulletin, v. 77, p. 821–849.

NORRIS, K. S. *et al*. (1994). *The Hawaiian Spinner Dolphin*. University of California Press, Berkeley, 408pp.

ODÉRIZ, I. *et al*. (2021). *Natural variability and warming signals in global ocean wave climates.* Geophysical Research Letters, v. 48, n. 11, p. 1–12. doi:10.1029/2021GL093622.

OREMUS, M. *et al*. (2007). *Isolation and interchange among insular spinner dolphin communities in the South Pacific revealed by individual identification and genetic diversity*. Marine Ecology Progress Series, v. 336, p. 275–289.

ON, J. H. *et al*. (2024). *Emergent climate change patterns originating from deep ocean warming in climate mitigation scenarios*. Nature Climate Change, v.14, p. 260-266. doi:10.1038/s41558-024-01928-0.

PARSON, E. C. M. *et al*. (2015). *Key research questions of global importance for cetacean conservation*. Endangered Species Research, v. 27, p. 113-118.

PECL, G. T. *et al*. (2017). *Biodiversity redistribution under climate change: impacts on ecosystems and human well-being.* Science, v. 355, p. 1–8. doi:10.1126/science.aai9214.

PAGE, B. *et al*. (2004). *Entanglement of Australian sea lions and New Zealand fur seals in lost fishing gear and other marine debris before and after government and industry attempts to reduce the problem*. Marine Pollution Bulletin, v.49, p.33–42. doi:10.1016/j.marpolbul.2004.01.006.

PECHER, A.; KOFOED, J.P. (2017). *Handbook of Ocean Wave Energy*. Springee Open:Aalbrg, Denmark, p.305.

PERRIN, W. F. (1998). *Stenella longirostris*. Mammalian Species, n. 599, p.1–7.

PERRIN, W. F.; GILPATRICK-JR., J. W. (1994). *Spinner dolphin* Stenella longirostris *(Gray, 1828)*. In: RIDGWAY, S. H.; HARRISON, S. (Orgs.). Handbook of Marine Mammals: The First Book of Dolphins. London: Academic Press*, p. 99-128*.

PINTO, J. G.; RAIBLE, C. C. (2012). *Past and recent changes in the North Atlantic oscillation*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, v.3, n.1, p.79–90. doi:10.1002/wcc.150.

PIRZL, R. (2008). *Spatial ecology of* E. australis*: habitat selection at multiple scales.* Ph.D. Thesis, Deakin University, Victoria.

PRYOR, K.; NORRIS, K. S. (Eds.) (1991). *Dolphin Societies: Discoveries and Puzzles*. University of California Press, Berkeley, 397 pp.

QIAO, F. *et al*. (2004). *Wave-induced mixing in the upper ocean: distribution and application to a global ocean circulation model*. Geophysical Research Letters, v. 31, L11303.

RAMP, C. *et al.* (2015). *Adapting to a warmer ocean – Seasonal shift of baleen whale movements over three decades*. PLoS One, 10(3), e0121374. DOI: 10 .1371/jornal.pone.0121374

RAYMENT, W. *et al.* (2009). *Kernel density estimate of alongshore home range of Hector's dolphins at Banks Peninsula, New Zeland*. Mar Mammal Sc. 25:537-556.

RAYMENT, W; DAWSON, S.; WEBSTER, T. (2015). *Breeding status affects fine-scale habitat selection of southern right whales on their wintering grounds*. J. Biogeogr.42:463-474.

REBOITA, M. S. *et al*. (2021). *Future changes in winter explosive cyclones over the Southern Hemisphere domains from the CORDEX-CORE ensemble*. Climate Dynamics. doi:10.1007/s00382-021-05867-w.

REGUERO, B. G.; LOSADA, I. J.; MÉNDEZ, F. J. (2019). *A recent increase in global wave power as a consequence of oceanic warming.* Nature Communications, v. 10, n. 205, p. 1–14. doi:10.1038/s41467-018-08066-0.

REILLY, S. B. (1990). *Seasonal changes in distribution and habitat differences among dolphins in the Eastern Tropical Pacific*. Marine Ecology Progress Series, v. 66, p. 1–11.

RODRIGUES, R. R. *et al*. (2019). *Common cause for severe droughts in South America and marine heatwaves in the South Atlantic*. Nature Geoscience, v. 12, n. 8, p. 620–626. doi:10.1038/s41561-019-0393-8.

ROSEL, P. E.; WATTS, H. (2008). *Hurricane impacts on bottlenose dolphins in the northern Gulf of Mexico*. Gulf of Mexico Science, v. 25, p. 7.

RUTGERSSON, A. *et al.* (2010). *Impact of surface waves in a Regional Climate Model*. Meteorol. *Z.*19,245-257.

SALVADEO, C. J. *et al*. (2009). *The odontocete community and its environment in the southwestern Gulf of California*. Latin American Journal of Aquatic Mammals, v. 7, n. 1-2, p. 23–32. doi:10.5597/lajam00130.

SANTOS, C. F. *et al*. (2024). Key components of sustainable climate-smart ocean planning. *Ocean Sustainability*, v. 3, p. 10. doi:10.1038/s44183-024-00045-x.

SAZIMA, I.; SAZIMA, C.; SILVA JR., J. M. (2003). *The cetacean offal connection: feces and vomits of spinner dolphins as a food source for reef fishes*. Bulletin of Marine Science, v. 72, p. 151–160,

SCHUMANN, N. *et al*. (2013). *Impacts of climate change on Australian marine mammals.* Australian Journal of Zoology, v. 61, p. 146–159.

SEKIGUCHI, Y.; KOHSHIMA, S. (2003). *Resting behaviors of captive bottlenose dolphins* (*Tursiops truncatus*). Physiology e Behavior, v. 79, p. 643–653.

SEMEDO, A. *et al*. (2011). *A global view on the wind sea and swell climate and variability from ERA-40.* Journal of Climate, v. 24, p. 1461–1479.

SHAWKY, A. M.; CHRISTIANSEN, F.; ORMOND, R. (2020). *Effects of swim-with-dolphin tourism on the behaviour of spinner dolphins at Samadai Reef in the Egyptian Red Sea.* Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, v. 30, p. 1373–1384.

SILVA, F. J. L. (2001). *Descrição de comportamento, sazonalidade de número de indivíduos e reprodução de golfinho-rotador, Stenella longirostris, em Fernando de Noronha*. Natal: O Autor, p. 120. Tese (Doutorado) – *Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Psicobiologia.*

SILVA, F. J. L.; SILVA JR., J. M. (2009). *Circadian and seasonal rhythms in the behavior of spinner dolphins* (*Stenella longirostris*). Marine Mammal Science, v. 25, n. 1, p. 176–186. doi:10.1111/j.1748-7692.2008.00239.x.

SILVA-JR., J. M. (1996). *Aspectos do comportamento do golfinho-rotador, Stenella longirostris (Gray, 1828), no Arquipélago de Fernando de Noronha*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

SILVA-JR., J. M.; SILVA, F. J. L.; PEREIRA, J. A. (1996). *O comportamento do golfinho-rotador, Stenella longirostris, em Fernando de Noronha*. *In: ANAIS DE ETIOLOGIA,* 14 (Org. por Sociedade Brasileira de Etologia). Uberlândia: Editora Sbet, p. 251.

SILVA-JR., J. M. *et al*. (2005). *Rest, nurture, sex, release, and play: diurnal underwater behaviour of the spinner dolphin at Fernando de Noronha Archipelago, SW Atlantic*. Journal of Ichthyology and Aquatic Biology, v. 9, p. 161–176.

SILVA-JR, J.M.; SILVA, F.J.L.; SAZIMA, C.; SAZIMA, I. (2007). *The relationship of the spinner dolphin at Fernando de Noronha Archipelago, SW Atlantic*. Scientia Marina, 71(3).

SILVA-JR., J. M. (2010). *Os golfinhos de Noronha*. São Paulo: Bambu Editora e Artes Gráficas, p. 192.

SILVA-JR., J. M.; BARRETO, A. S. (2011). *Golfinho-rotador. In: PLANO DE AÇÃO NACIONAL PARA A CONSERVAÇÃO DOS MAMÍFEROS AQUÁTICOS – PEQUENOS CETÁCEOS. ROCHA-CAMPOS, C. C.; CÂMARA, L. G.; PRETTO, D. J. (Orgs.)*. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), p. 30–32.

SIMMONDS, M. P.; ELIOT, W. J. (2009). *Climate change and cetaceans: concerns and recent developments*. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, v. 89, p. 203–210. doi:10.1017/S0025315408003196.

SEAR, C. *et al*. (2001). *The impacts of global climate change on the UK overseas territories.* Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research, p.49.

SHANE, S. (1980). *Occurrence, movements, and distribution of bottlenose dolphin*, *Tursiops truncates*, *in southern Texas*. Fish Bull. 78:593-691.

SMITH, C. E. *et al*. (2013). *Hurricane impacts on the foraging patterns of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Mississippi Sound*. Marine Ecology Progress Series, v. 487, p. 231–244.

SOUZA, C. R. d. G.; SOUZA, A. P.; HARARI, J. (2019). *Long-term analysis of meteorological-oceanographic extreme events for the Baixada Santista region.* In*:* Climate Change in Santos, Brazil: Projections, Impacts and Adaptation Options. Springer International Publishing, p. 97–134. doi:10.1007/978-3-319-96535-2_6.

SPROGIS, K.R. *et al.* (2018). *El Niño Southern Oscillation influences the abundance and movements of a marine top predator in coastal*. Global Change Biol. 24, 1085-1096. DOI:10.1111/gcb.13892.

STECKENREUTER, A.; HARCOURT, R.; MÖLLER, L. (2011). *Distance does matter: close approaches by boats impede feeding and resting behavior of Indo-Pacific bottlenose dolphins.* Wildlife Research, v. 38, p. 455–463. doi:10.1071/WR11048

STECKENREUTER, A.; MÖLLER, L.; HARCOURT, R. (2012). *How does Australia's largest dolphin-watching industry affect the behavior of a small and resident population of Indo-Pacific bottlenose dolphins?* Journal of Environmental Management, v. 97, p. 14–21. doi:10.1016/j.jenvman.2011.11.002

STERL, A.; CAIRES, S. (2005). *Climatology: Variability and extrema of Ocean waves – the web-based KNMI/ERA-40 Wave atlas*. Int.J.Climatol. 25, 963-977. DOI:10.1002/joc.1175

STEWART, R.H. (2005). *Introduction of Physical Oceanography*; Department of Oceanography, Texas A&M University: College Station, TX, USA. P. 353.

STOKES, G. G. (1847). *On the theory of oscillatory waves.* Transactions of the Cambridge Philosophical Society, v. 8, p. 441–455.

STOPA, J. E.; CHEUNG, K. F. (2014). *Intercomparison of wind and wave data from the ECMWF reanalysis interim and the NCEP climate forecast system reanalysis*. Ocean Modelling, v. 75, p. 65–83. doi:10.1016/j.ocemod.2013.12.006.

SUPPIAH, R. *et al*. (2007). *Australian climate change projections derived from simulations performed for the IPCC 4th Assessment Report.* Australian Meteorological Magazine, v. 56, p. 131–152.

TAKBASH, A.; YOUNG, I. R. (2020). *Long-term and seasonal trends in global wave height extremes derived from ERA-5 reanalysis data*. Journal of Marine Science and Engineering, v. 8, n. 12, p. 1–16. doi:10.3390/jmse8121015.

TISCHER, M. C.; SILVA-JR, J. M.; SILVA, F. J. L. (2013). *Interaction of spinner dolphins (*Stenella longirostris*) (Cetacea, Delphinidae) with boats at the Archipelago of Fernando de Noronha, Brazil.* Pan-American Journal of Aquatic Science, v. 8, n. 4, p. 339–346.

TRATHAN, P. N.; FORCADA, J.; MURPHY, E. J. (2007). *Environmental forcing and Southern Ocean marine predator populations: effects of climate change and variability.* Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, v. 362, p. 2351–2365. doi:10.1098/rstb.2006.1953.

TUCHEN, F. P. *et al*. (2022). *Transports and pathways of the tropical AMOC return flow from Argo data and shipboard velocity measurements*. Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 127, n. 2. doi:10.1029/2021JC018115.

TYNAN, C.T.; DEMASTER, D.P. (1997). *Observations and predictions of Artic climate change: potential effects on marine mammals*. Artic 50, 308-322. 1997.

TYNE, J. A. *et al*. (2017). *Temporally and spatially partitioned behaviors of spinner dolphins: implications for resilience to human disturbance*. Royal Society Open Science.

VISBECK, M. H. *et al*. (2001). *The North Atlantic oscillation: past, present, and future.* Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, v. 98, n. 23, p. 12876–12877. doi:10.1073/pnas.231391598.

WALKER, S. J. *et al*. (2008). *Will increased storm disturbance affect the biodiversity of intertidal, nonscleractinian sessile fauna on coral reefs?* Global Change Biology, v. 14, p. 2755–2770.

WANG, X. L.; FENG, Y.; SWAIL, V. R. (2014). *Changes in global ocean wave heights as projected using multimodal CMIP5 simulations*. Geophysical Research Letters, v. 41, p. 1026–1034.

WASSMANN, P. *et al*. (2011) *Footprints of climate change in the Arctic marine ecosystem.* Global Change Biology, v. 17, p. 1235–1249. doi:10.1111/j.1365-2486.2010.02311.x.

WHITEHEAD, H.; MOORE, M. J. (1982). *Distribution and movements of West Indian humpback whales in winter*. Canadian Journal of Zoology, v. 60, p. 2203–2211, 1982. doi:10.1139/z82-282.

WÜRSIG, B. *et al.* (2002). *Global climate change and marine mammals*. *In Marine Mammals: Biology and Conservation,* P.G.H. Evans e J.A. Raga (eds). New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers:9589-608.

YOUNG, I.R. (1999). *Seasonal variability of the global ocean wind and wave climate*. Int. J. Climatol. 19, 931-950.

YOUNG, I. R. *et al*. (2011). *Global trends in wind speed and wave height*. Science*,* v. 332, p. 451–455.

YOUNG, I. R. *et al*. (2012). *Investigation of trends in extreme value wave height and wind speed.* Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 117, p. 1–13.

ZHENG, C. W.; PAN, J.; LI, C. Y. (2016). *Global oceanic wind speed trends*. *Ocean e Coastal Management*, v. 129, p. 15–24.