



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

SIBELE ALVES DE MENDONÇA

ASPECTOS POPULACIONAIS, USO DO HABITAT E MOVIMENTAÇÃO
DE *Mobula tarapacana* (PHILIPPI, 1892) (CHONDRICHTHYES: MOBULIDAE)
NO ARQUIPÉLAGO DE SÃO PEDRO E SÃO PAULO- BRASIL

RECIFE
2018

SIBELE ALVES DE MENDONÇA

ASPECTOS POPULACIONAIS, USO DO HABITAT E MOVIMENTAÇÃO
DE *Mobula tarapacana* (PHILIPPI, 1892) (CHONDRICHTHYES: MOBULIDAE)
NO ARQUIPÉLAGO DE SÃO PEDRO E SÃO PAULO- BRASIL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (PPGO- UFPE), como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Oceanografia.

Área de concentração: Oceanografia
Biológica.

Orientador: Profº. Dr. Fábio Hissa Vieira
Hazin

RECIFE
2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

M539a	Mendonça, Sibele Alves de. Aspectos populacionais, uso do habitat e movimentação de <i>Mobula tarapacana</i> (Philippi, 1892) (Chondrichthyes: Mobulidae) no arquipélago de São Pedro e São Paulo- Brasil / Sibele Alves de Mendonça. - 2018. 102 folhas, il., gráfs., tabs. Orientador: Prof. Dr. Fábio Hissa Vieira Hazin. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2018. Inclui Referências. 1. Oceanografia. 2. Elasmobrânquios. 3. Área de cópula. 4. Área de agregação. 5. Mergulho profundo. I. Hazin, Fábio Hissa Vieira. (Orientador). II. Título. UFPE 551.46 CDD (22. ed.) BCTG/2018-277
-------	---

SIBELE ALVES DE MENDONÇA

ASPECTOS POPULACIONAIS, USO DO HABITAT E MOVIMENTAÇÃO
DE *Mobula tarapacana* (PHILIPPI, 1892) (CHONDRICHTHYES: MOBULIDAE)
NO ARQUIPÉLAGO DE SÃO PEDRO E SÃO PAULO- BRASIL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Oceanografia da Universidade Federal de
Pernambuco, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Doutora em Oceanografia.

Aprovada em 15 de Março de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fábio Hissa Vieira Hazin (Orientador) – Presidente
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dr. José Carlos Pacheco
Universidade Federal Rural de Pernambuco – Serra Talhada

Prof. Dr. Paulo Guilherme Vasconcelos de Oliveira
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Draúcio Vêras
Universidade Federal Rural de Pernambuco – Serra Talhada

Prof. Dr. Humberto Gomes Hazin
Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Dra. Ilka Branco Nunes
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Paulo Eurico Pires Ferreira Travassos
Universidade Federal de Pernambuco

*Dedico aos meus pais Eva Alves de Mendonça
e Rubens Pereira de Mendonça e meu irmão
Alessandro Alves de Mendonça (in memorian)
por todo amor e carinho.*

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco.

Ao CNPq, pela bolsa de estudos a mim concedida e financiamento do projeto de pesquisa Ethopelagos.

Ao meu orientador, Professor Dr. Fábio H. V. Hazin, por me aceitar em seu laboratório, me orientar da melhor maneira possível em todos esses anos de estudo e ser grande exemplo como professor e pesquisador.

A todos os professores do programa de pós-graduação em Oceanografia, em especial a Professora Dra. Sigrid Neumã-Leitão e ao Professor Dr. Jessé. Aos secretários Myrna Lins e Nerlucyton Gomes por toda ajuda durante esse período de estudo.

À SECIRM/Marinha do Brasil, Programa Pró-Arquipélago, pelo apoio financeiro e logístico empregado nas expedições ao Arquipélago de São Pedro São Paulo, em especial Dona Guiomar e Sargento Donizete por toda

Ao meu sobrinho Lucas Mendonça pela grande força e carinho e a toda minha família, que, além de carinho e amor incondicional, me deu educação, me ensinou a diferença entre certo e errado, que podemos acreditar nas pessoas e, acima de tudo, que, através de exemplos, me deram a chance de aprender a lutar por um país mais justo e digno para todos.

Ao amigo, Dr. Bruno Macena, por compartilhar dias de isolamento no lugar mais inóspito e por trocar experiências e aprendizados em todos esses anos de trabalho.

A amiga, Dra. Natalia, obrigada pela grande força, pelas conversas e gravações animadíssimas do elasmos ASPSP com marca de carimbo, foi um aprendizado para a vida esses anos de convivência.

A amiga, Msc. Camila Araújo, obrigada por existir e tornar a vida ao seu redor mais linda, me *antenar* de todas as gírias modernas e pela grande força no trabalho.

A amiga e socióloga, Paula Felipe, pela convivência em todos esses anos em Recife, pelas conversas intermináveis, teorias de conspiração, sonhos em salvar o planeta, as criancinhas, os cachorros e a nós mesmas. Seguimos contrariando a estatística.

A todos os amigos que fiz nesses 10 anos de Recife, em especial Dona Severina, Ana Beatriz, Nicolly, Jorginho e Akuenda. Vocês foram minha família pernambucana.

Ao grande amigo-irmão, Dr. Rodrigo Barreto “Panda”, que mesmo a distância se faz sempre presente.

A amiga-irmã, Priscila Almeida, pela grande amizade, por sempre segurar minha mão e me dar força nos melhores e piores momentos.

As queridíssimas, Manú, Ilka, Carol, Mirna e Grazi, pelo grande aprendizado, conversas mais que agradáveis e conselhos. Foram anos incríveis ao lado de vocês.

Aos amigos Rafael Muniz “Brutus”, Bruno César e Leo Fidelis do LATEP pela grande ajuda em todos esses anos.

A todos os tripulantes das embarcações Transmar I, II, e III, em especial, Seu Jonas, Aristides, Sebastião, Mario Junior, Ezequiel Jack, Alderi, Emerson Pezão, Jackson (in memorian), Junior, Fábio, Da Lua, por toda ajuda, companheirismo, boas conversas e muito aprendizado nas viagens ao Arquipélago.

A todos do Laboratório de Oceanografia Pesqueira (LOP) e de Tecnologia Pesqueira (LATEP), da Universidade Federal Rural de Pernambuco, que ajudaram de forma direta e indireta na elaboração do trabalho.

Aos colegas da turma do Programa de Pós-Graduação, pelos quais tenho respeito e consideração.

A todos os amigos pesquisadores, marinheiros e pescadores que participaram das expedições científicas ao longo desses últimos 10 anos, que enfrentam dias em um barco para chegar a um dos lugares mais inóspitos do país. “A união faz a força. *É Noiz!*”

Obrigada!

RESUMO

O trabalho teve por objetivo investigar aspectos ecológicos da população de raia manta chilena *Mobula tarapacana*, no entorno do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) no Oceano Atlântico Equatorial, através de métodos não letais. O trabalho foi dividido em três capítulos. O primeiro avaliou a sazonalidade de ocorrência e a abundância relativa de *M. tarapacana* no entorno do ASPSP, através de observações subaquáticas e de superfície e por meio da utilização de monitoramento acústico e de marcação e recaptura, incluindo os fatores abióticos e bióticos que influenciam o seu comportamento, entre dezembro de 2008 e dezembro de 2012, foram avistadas 507 raias durante um período de 355h18min de observação de superfície. Nesse período, foram marcadas 28 *M. tarapacana* com transmissores acústicos, (6 machos, 21 fêmeas e um não identificado). O monitoramento desses espécimes foi realizado por meio da instalação de três receptores acústicos no entorno do ASPSP. O período de permanência das raias no ASPSP variou de 1 a 70 dias. Apenas uma das raias retornou após períodos subsequentes de 10 e de 6 meses. O segundo analisou os indivíduos utilizando o padrão ventral de coloração, a distribuição de tamanho e sexo das raias avistadas, além de descrever possíveis comportamentos de cópula e alimentação, entre dezembro de 2008 a maio de 2016. Ao todo foi possível identificar o sexo de 361 espécimes (215 fêmeas e 146 machos). A largura de disco (LD) variou de 2,0m a 3,20m, para machos e fêmeas, evidenciando que a população que frequenta o ASPSP é composta por indivíduos adultos e sub-adultos. Utilizando foto-identificação do padrão de coloração na região ventral, foram identificados e comparados entre si, 11 machos e 44 fêmeas. Marcas de cópula recente foram observadas em machos e fêmeas, assim como comportamentos de corte e perseguição, demonstrando que o ASPSP é uma importante área de agregação e acasalamento de *M. tarapacana*. O terceiro verificou preferências de profundidade e temperatura, além da movimentação horizontal de espécimes através de marcas via satélite (PSATs). Nove *M. tarapacana* (7 fêmeas e 2 machos), com LD variando de 2,0 m a 2,8 m, foram marcadas com transmissores PSAT, entre março de 2010 e maio de 2015. O Período de monitoramento variou de 9 a 132 dias. Foram observados mergulhos constantes tanto durante o dia quanto à noite, em profundidades que variaram desde a superfície até o máximo de 1.776 m. Durante o dia, as raias apresentaram maiores quantidades de mergulhos, enquanto que no período noturno elas apresentaram menos mergulhos, permanecendo a maior parte do tempo acima dos 80m. O conhecimento dos padrões espaciais de deslocamento e uso do habitat pela *M. tarapacana* é fundamental para o manejo e conservação da espécie, contribuindo, para o desenvolvimento de estratégias capazes de melhor conhecer a condição de suas populações e de reduzir a sua interação com a pesca. A presente pesquisa foi pioneira no que diz respeito à coleta, análise de dados biológicos e comportamentais de *M. tarapacana* no Brasil e no Oceano Atlântico Equatorial.

Palavras-chave: Elasmobrânquios. Área de cópula. Área de agregação. Mergulho profundo.

ABSTRACT

The work aimed to investigate the ecological aspects of the population of the Chilean manta ray *Mobula tarapacana*, in the vicinity of the Saint Peter and Saint Paul's Archipelago (SPSPA) in the equatorial Atlantic Ocean, through non-lethal methods. The work was divided into three chapters. The first evaluated the seasonality of occurrence and the relative abundance of *M. tarapacana* in the surroundings of SPSPA, through underwater and surface observations and through the use of acoustic monitoring and marking and recapture data, including the abiotic and biotic factors that influence its behavior, between December 2008 and December 2012, 507 rays were observed during a 355h18min surface observation period. In this period, 28 *M. tarapacana* were marked with acoustic transmitters, (6 males, 21 females and one unidentified). The monitoring of these specimens was performed through the installation of three acoustic receivers in the surroundings of the SPSPA. The ASPSP ranged from 1 to 70 days. Only one of the rays returned after subsequent periods of 10 and 6 months. Of the 33 rays marked with a conventional plastic mark, 15.2% were reavigated (n = 5), with the re-watch date being close to the marking date. The second analyzed the individuals by means of photo identification, using the ventral color pattern of staining, the size and sex distribution of the sighted rays was analyzed, besides describing possible copulation and feeding behaviors. In all, it was possible to identify the sex of 361 specimens (215 females and 146 males). The disk width (DW) ranged from 2.0 m to 3.20 m, for both males and females, showing that the population that frequents the SPSPA is composed of adults and sub-adults. Using a photo-identification of the contour pattern in the ventral region, 11 males and 44 females were identified and compared. Marks of recent copulation were observed in both males (n = 7) and females (n = 6), as well as cutting and pursuing behaviors, which demonstrate that SPSPA is an important area of aggregation and mating of *M. tarapacana*. The third verified depth and temperature preferences, as well as the horizontal movement of tagged specimens with satellite-monitored tags (PSATs). Nine *M. tarapacana* (7 females and 2 males), with DW ranging from 2.0 m to 2.8 m, were marked with PSAT transmitters. Constant dives were observed during the day and the night, at depths ranging from the surface to the maximum of 1,776 m. During the day, the rays presented larger amounts of dives, whereas in the night period they presented less dives, remaining most of the time above 80m depth. The knowledge of the spatial patterns of habitat movement and use by *M. tarapacana* is fundamental for the management and conservation of the species, contributing, among other aspects, to the development of strategies able to better know the condition of their populations and to reduce their interaction with fishing. The present research was a pioneer in the collection, analysis of biological and behavioral data of *M. tarapacana* in Brazil and in the Equatorial Atlantic Ocean.

Keywords: Elasmobranchs. Copulation area. Aggregation area. Deep diving.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1A - Geographical location of the Saint Peter and Saint Paul Archipelago (SPSPA) in the Atlantic; B. Locations of tree buoys (B1 – west, B2 – southwest and B3 – east) with the receivers in the surrounding SPSPA. Red diamond represents tagging site43
- Figura 2 - Monthly distribution of SPUE (nrs.h⁻¹) of *Mobula tarapacana* in the relation sea surface temperature (SST, red line) and chlorophyll *a* concentration (CHL, blue line). The effort (hours) is represent by number above the box of *Mobula tarapacana* in the Saint Peter and Saint Paul.43
- Figura 3 - Detections over time of all tagged rays with transmitters in SPSPA, Red diamond represents the day of tagging.....44
- Figura 4 - Total of detections in the receivers B1 (west), B2 (southwest) and B3 (east) per hour of the day (GMT-2) in Saint Paul and Saint Paul Archipelago.....45
- Figura 5A - Location of the Saint Peter and Saint Paul Archipelago (SPSPA) in Atlantic Ocean; B. Detail of SPSPA with the observation point B1.....53
- Figura 6 - Ventral side of *Mobula tarapacana* highlighting the ventral spots used for photo identification; A and B different female; C and D different males observed in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago.....55
- Figura 7 - Disk width (DW) frequency distribution of *Mobula tarapacana* observed in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago.....56
- Figura 8A - Female of *Mobula tarapacana* with mating scars on the tip of pectoral fins and the central region of the dorsal side; and B. Male of *Mobula tarapacana* with mating scars on the tip of clasper observed in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago.....57
- Figura 9 - Mapa do Oceano Atlântico com a localização do ponto de marcação (ASPSP) e localização do ponto de desprendimento (pop-up) das Psats de todas as raias marcadas (R01, R02, R04, R05, R06, R07, R08, R09); pontos de pop-up de raias marcadas nos Açores (RAço_2, RAço_3, RAço_13) (Thorrold et al. 2014), e pontos em vermelho são registros de ocorrência baseados na literatura.....75
- Figura 10 - Frequência relativa de tempo (%) em relação às profundidades e temperaturas experimentadas, durante a movimentação vertical por *Mobula tarapacana* (n=8) ao longo do dia e da noite no oceano Atlântico equatorial....76
- Figura 11 - Distribuição de profundidade em relação ao ciclo de 24 horas, a linha vermelha representa a média temperatura experimentada por *Mobula tarapacana* n=6 (R4, R5, R6, R7, R8 e R9) no oceano Atlântico equatorial.....76

- Figura 12 - Perfis de profundidades e temperatura da água (a partir de dados sumarizados a cada 4 horas), experimentadas por *Mobula tarapacana* R1 em 2010 e R2 em 2011, monitoradas com transmissores eletrônicos (PSATs). As cores representam o gradiente de temperatura da água do mar. A linha tracejada representa as diferentes zonas pelágicas (até 200m epipelágico, de 200m a 1000m mesopelágico e acima de 1000m batipelágico).....77
- Figura 13 - Perfis de profundidades e temperatura da água (a partir de dados sumarizados a cada 4 horas), experimentadas por *Mobula tarapacana* R4 e R5 em 2014, monitoradas com transmissores eletrônicos (PSATs). As cores representam o gradiente de temperatura da água do mar. A linha tracejada representa as diferentes zonas pelágicas (até 200m epipelágico, de 200m a 1000m mesopelágico e acima de 1000m batipelágico).....78
- Figura 14 - Perfis de profundidades e temperatura da água (a partir de dados sumarizados a cada 4 horas), experimentadas por *Mobula tarapacana* R6 em 2014 e R7 em 2015, monitoradas com transmissores eletrônicos (PSATs). As cores representam o gradiente de temperatura da água do mar. A linha tracejada representa as diferentes zonas pelágicas (até 200m epipelágico, de 200m a 1000m mesopelágico e acima de 1000m batipelágico).....79
- Figura 15 - Perfis de profundidades e temperatura da água (a partir de dados sumarizados a cada 4 horas), experimentadas por *Mobula tarapacana* R8 e R9 em 2015, monitoradas com transmissores eletrônicos (PSATs). As cores representam o gradiente de temperatura da água do mar. A linha tracejada representa as diferentes zonas pelágicas (até 200m epipelágico, de 200m a 1000m mesopelágico e acima de 1000m batipelágico).....80
- Figura 16 - Perfil de mergulho profundo experimentado por *Mobula tarapacana* no oceano Atlântico, profundidade e temperatura por tempo mergulho (min) de dia (a) e de noite (b).....81
- Figura 17 - Trajetória de possível rota apresentada por *M. tarapacana* marcadas em ASPSP (ponto de verde início do monitoramento) R1, R2 e R4 no oceano Atlântico equatorial, o triângulo vermelho é o ponto de soltura da marca (pop-up).....82
- Figura 18 - Trajetória de possível rota apresentada por *M. tarapacana* R5, R6, R7 e R9 marcadas em ASPSP (ponto de verde início do monitoramento), o triângulo vermelho é o ponto de soltura da marca (pop-p), no oceano Atlântico equatorial.....83
- Figura 19 - Frequência relativa de tempo (%) em relação às profundidades e temperaturas experimentadas, durante a movimentação vertical de *Mobula tarapacana* (R1) ao longo do dia e da noite no oceano Atlântico equatorial.....84

Figura 20 - Frequência relativa de tempo (%) em relação às profundidades e temperaturas experimentadas, durante a movimentação vertical de <i>Mobula tarapacana</i> (R2) ao longo do dia e da noite no oceano Atlântico equatorial.....	84
Figura 21 - Frequência relativa de tempo (%) em relação às profundidades e temperaturas experimentadas, durante a movimentação vertical de <i>Mobula tarapacana</i> (R4) ao longo do dia e da noite no oceano Atlântico equatorial.....	85
Figura 22 - Frequência relativa de tempo (%) em relação às profundidades e temperaturas experimentadas, durante a movimentação vertical de <i>Mobula tarapacana</i> (R5) ao longo do dia e da noite no oceano Atlântico equatorial.....	85
Figura 23 - Frequência relativa de tempo (%) em relação às profundidades e temperaturas experimentadas, durante a movimentação vertical por <i>Mobula tarapacana</i> (R6) ao longo do dia e da noite no oceano Atlântico equatorial.....	86
Figura 24. Frequência relativa de tempo (%) em relação às profundidades e temperaturas experimentadas, durante a movimentação vertical por <i>Mobula tarapacana</i> (R7) ao longo do dia e da noite no oceano Atlântico equatorial.....	87
Figura 25 - Frequência relativa de tempo (%) em relação às profundidades e temperaturas experimentadas, durante a movimentação vertical por <i>Mobula tarapacana</i> (R9) ao longo do dia e da noite no oceano Atlântico equatorial.....	87
Figura 26 - Frequência relativa de tempo (%) em relação às profundidades experimentadas, durante a movimentação vertical por <i>Mobula tarapacana</i> (R8) ao longo do dia e da noite no oceano Atlântico equatorial.....	87
Figura 27 - Distribuição de temperatura (°C) por profundidade (m) da água frequentada por <i>M. tarapacana</i> no oceano Atlântico equatorial.....	87
Figura 28 - Perfil de mergulho em alta resolução apresentado por <i>M. tarapacana</i> (R04, R05 e R06) ao longo do tempo no oceano Atlântico equatorial.....	88
Figura 29 - Perfil de mergulho em alta resolução apresentado por <i>M. tarapacana</i> (R07, R08 e R09) ao longo do tempo no oceano Atlântico equatorial.....	89
Figura 30 -Perfil de mergulho em alta resolução apresentado por <i>M. tarapacana</i> R09 no final do monitoramento próximo ao ponto de pop-up região do Amazonas ao longo do tempo no oceano Atlântico equatorial.....	90
Figura 31 - Distribuição de profundidade em relação ao ciclo de 24 horas, a linha vermelha representa a média temperatura experimentada por <i>Mobula tarapacana</i> (R4, R5, R6, R7, R8 e R9) no oceano Atlântico equatorial.....	91
Figura 32 - Modelo de deslocamento horizontal latitude e longitude (KFTRACK) de <i>Mobula tarapacana</i> (R1) marcada em 2010, linha azul e linha verde representa as possíveis rotas e a linha tracejada azul significa o intervalo de confiança.....	92

- Figura 33 - Modelo de deslocamento horizontal latitude e longitude (KFTRACK) de *Mobula tarapacana* (R2) marcada em 2011, linha azul e linha verde representa as possíveis rotas e a linha tracejada azul significa o intervalo de confiança.....93
- Figura 34 - Modelo de deslocamento horizontal latitude e longitude (KFTRACK) de *Mobula tarapacana* (R4) marcada em 2014, linha azul e linha verde representa as possíveis rotas e a linha tracejada azul significa o intervalo de confiança.....94
- Figura 35 - Modelo de deslocamento horizontal latitude e longitude (KFTRACK) de *Mobula tarapacana* (R5) marcada em 2014, linha azul e linha verde representa as possíveis rotas e a linha tracejada azul significa o intervalo de confiança.....95
- Figura 36 - Modelo de deslocamento horizontal latitude e longitude (KFTRACK) de *Mobula tarapacana* (R6) marcada em 2014, linha azul e linha verde representa as possíveis rotas e a linha tracejada azul significa intervalo de confiança.....95
- Figura 37 - Modelo de deslocamento horizontal latitude e longitude (KFTRACK) de *Mobula tarapacana* (R7) marcada em 2015, linha azul e linha verde representa as possíveis rotas e a linha tracejada azul significa intervalo de confiança.....96
- Figura 38 - Modelo de deslocamento horizontal latitude e longitude (KFTRACK) de *Mobula tarapacana* (R9) marcada em 2015, linha azul e linha verde representa as possíveis rotas e a linha tracejada azul significa intervalo de confiança.....97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Date of tagging, sex, disc width (DW) of the tagged individuals with acoustics tags and day of the first detection, last day of detection, total detection, total days of detections and total days in a row in the surrounding of Saint Peter and Saint Paul Archipelago.....	45
Tabela 2 - Results of Models GAM of <i>Mobula tarapacana</i> with the environmental and temporal variables. The deviance explained represents the importance of the variables. In bold are the select models.....	46
Tabela 3 - Distribution and sex ratio of males (M) and females (F) of <i>M. tarapacana</i> sighted between the periods from December 2008 to June 2016 in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago.....	53
Tabela 4 - Informações das <i>Mobula tarapacana</i> marcadas com transmissores Psats, sexo (M=macho, F=fêmea), largura de disco (DW), data de marcação, data de soltura, dias monitorados, distância viajada (km) e Máxima profundidade de mergulho (m).....	74

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	HIPÓTESES.....	17
1.2	OBJETIVO GERAL.....	17
1.2.1	Objetivos específicos.....	17
1.3	JUSTIFICATIVA.....	17
2	ESTRUTURA DA TESE.....	19
3	SEASONAL AGGREGATION AND DIEL ACTIVITY BY SICKLEFIN DEVIL RAY <i>Mobula tarapacana</i> (PHILIPPI, 1892) OFF A SMALL, EQUATORIAL OUTCROP OF THE MID-ATLANTIC RIDGE.....	20
4	POPULATION STRUCTURE AND MATING EVIDENCES OF SICKLEFIN DEVIL RAY <i>Mobula tarapacana</i> IN SAINT PETER AND SAINT PAUL ARCHIPELAGO, EQUATORIAL ATLANTIC OCEAN.....	47
5	DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS E COMPORTAMENTO DE MERGULHO DE <i>Mobula tarapacana</i> NO OCEANO ATLÂNTICO EQUATORIAL.....	61
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
	REFERÊNCIAS.....	98

1 INTRODUÇÃO

As raias representam uma fração significativa dos elasmobrânquios, desempenhando um importante papel no equilíbrio do ecossistema marinho (Mc Killen e Nelson, 1986). A família Mobulidae é composta atualmente por oito espécies de raias mantas, todas pertencentes a um único gênero, *Mobula* (White et al. 2017), que se caracterizam principalmente por serem predominantemente zooplancatófagas, ocorrendo em todos os oceanos tropicais, subtropicais e temperados de todo mundo.

A raia manta chilena, *Mobula tarapacana*, é uma espécie principalmente oceânica, embora também ocorra próximo à costa (Gadig e Sampaio, 2002). Apesar de serem animais solitários, em algumas ocasiões formam grupos, principalmente quando próximas de ilhas ou bancos oceânicos, onde costumam se concentrar, alimentando-se de pequenos peixes e crustáceos planctônicos (Bigelow & Schroeder, 1953; Notarbartolo-di-Sciara, 1987; Gadig & Sampaio, 2002). Devido ao seu comportamento oceânico e migratório, percorrendo grandes distâncias em poucos meses (Thorrold et al., 2014), estudos acerca de sua população são escassos, conhecendo-se apenas três locais de agregações constantes: o Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP), no Oceano Atlântico Equatorial (Mendonça, 2011); os Açores, no Oceano Atlântico Norte (Sobral & Afonso, 2014); e as Ilhas Cocos, no Oceano Pacífico (Pardo et al., 2016).

Em razão de sua baixa fecundidade, crescimento lento, maturidade sexual tardia, vida longa e alta sobrevivência, as raias mantas são consideradas k-estrategistas, apresentando, portanto, uma elevada suscetibilidade à sobrepesca (Couturier et al. 2012; Croll et al., 2015). Atualmente, as populações de Mobulídeos se encontram em declínio em todos os oceanos do mundo, principalmente em razão da elevação de sua mortalidade por pesca, impulsionada pelo forte crescimento, em anos recentes, do consumo dos seus arcos branquiais no mercado asiático (Heinrichs et al., 2011; Couturier et al., 2012; Croll et al., 2015; O Malley et al., 2017). Segundo os critérios da União Internacional para conservação da natureza (IUCN), a raia manta chilena se encontra inserida na categoria de “Vulnerável” (Pardo et al., 2016), além de estar também incluída no Appendix II da CITES (*Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*).

O Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) (00° 55' 02'' N, 29° 21' 32'' W) é um pequeno grupo de ilhas localizado na Dorsal Meso-Atlântica, entre os hemisférios norte e sul e entre os continentes sul-americano e africano. Sua posição estratégica o torna um

importante local de agregação de espécies migratórias, como atuns, agulhões, tartarugas, golfinhos e tubarões-baleia, além das raias manta (Vaske et al. 2005; Hazin et al. 2008; Hazin et al. 2009). A ocorrência de elasmobrânquios pelágicos oceânicos no ASPSP, portanto, é bastante comum, com um total de 15 espécies já tendo sido identificadas na área, sendo 10 de tubarões e cinco de raias, entre as quais quatro pertencem ao gênero *Mobula* (*M. japonica*, *M. tarapacana*, *M. thurstoni*, e *M. birostris*), e uma ao gênero *Pteoplatytrygon* (Feitoza et al. 2003; Vaske Jr. et al. 2005; Lessa & Vaske Jr., 2009; Mendonça et al. 2012). De acordo com Mendonça (2011), a *M. tarapacana* se encontra presente no ASPSP praticamente o ano todo, embora exiba maiores abundâncias no primeiro semestre.

Nas últimas duas décadas, avanços nas técnicas de foto-identificação e marcação, tanto por meio de marcação e recaptura como pela utilização de marcas eletrônicas, acústicas ou monitoradas por satélite, têm permitido progressos significativos no estudo de grandes peixes pelágicos, entre os quais se incluem diversas espécies de elasmobrânquios. Esses métodos não-letais vêm se mostrando uma ferramenta de grande utilidade em estudos de populações em ambientes naturais, em diversas espécies de elasmobrânquios marinhos (Marshall, et al. 2010; Marshall e Bennett 2011; Deakos, 2010; Bonfil et al., 2005; Weng et al., 2005; Stokesbury et al., 2005; Canese et al. 2011; Croll et al. 2012; Graham et al. 2012).

As raias manta, em geral, a despeito de sua relevância ecológica e elevada vulnerabilidade, são ainda muito pouco conhecidas. No intuito de contribuir para a superação dessa deficiência, o presente trabalho teve como objetivo geral obter informações sobre a ecologia das raias manta chilenas (*M. tarapacana*) no entorno do ASPSP, na expectativa de que as mesmas possam contribuir não somente para a conservação da espécie, mas para uma melhor compreensão acerca do seu papel e importância para a dinâmica do ecossistema insular.

1.2 HIPÓTESES

- ✓ Os indivíduos de *M. tarapacana* observados sazonalmente no ASPSP são, em sua maioria, os mesmo ao longo dos anos, mostrando uma fidelidade por local de agregação;
- ✓ A variação sazonal de ocorrência de *M. tarapacana* coincide com a variação sazonal na abundância de zooplâncton no entorno do Arquipélago São Pedro e São Paulo;
- ✓ *Mobula tarapacana* exibe um padrão de deslocamento vertical diurno e noturno, seguindo, de forma aproximada, a migração circadiana do zooplâncton.

1.3 OBJETIVO GERAL

Este projeto teve como objetivo investigar aspectos ecológicos da população de *Mobula tarapacana*, incluindo as suas preferências de habitat, no Arquipélago de São Pedro São Paulo, e verificar a movimentação vertical e horizontal no Oceano Atlântico oeste equatorial.

1.3.1 Objetivos específicos

- ✓ Identificar os indivíduos de *Mobula tarapacana* observados no ASPSP, quanto à espécie, tamanho e sexo;
- ✓ Investigar a existência de um comportamento de fidelidade local dos indivíduos de *M. tarapacana*, no ASPSP;
- ✓ Analisar a presença e frequência de fêmeas de *M. tarapacana* em período de cópula e/ou prenhes;
- ✓ Investigar a movimentação horizontal de curta e longa distância de *M. tarapacana*, a partir do ASPSP;
- ✓ Avaliar o comportamento de deslocamento vertical de *M. tarapacana*, em termos de tempo gasto em diferentes profundidades e temperaturas da água;

1.4 JUSTIFICATIVA

O Brasil é um dos países com maior riqueza em espécies de raias manta do mundo, com seis das dez espécies descritas ocorrendo aqui, quatro das quais já foram, até o momento, registradas no Arquipélago de São Pedro e São Paulo. As raias manta, por outro lado, estão entre os elasmobrânquios mais vulneráveis à mortalidade ocasionada por ação antrópica,

sobretudo em decorrência da pesca, aspectos bastante preocupantes do ponto de vista ecológico, uma vez que a maioria das espécies apresenta baixíssima taxa reprodutiva com apenas um filhote produzido após uma gestação com até dois anos de duração (Notobartolo-Di-Sciara, 1988).

Apesar de sua importância ecológica existe um grande déficit em estudos com Mobulideos no Brasil, com muito pouco já tendo sido publicado, salvo pelos trabalhos de Gadig & Sampaio (2002), Gadig et al. (2003), Casas et al.(2006); Luiz et al.(2009); Mendonça et al. (2012), Medeiros et al. (2015) e Domit et al. (2017). A partir do desenvolvimento da presente tese, portanto, espera-se gerar informações sobre a ecologia das raias manta chilenas no entorno do ASPSP, as quais possam contribuir não somente para a conservação da espécie, mas para uma melhor compreensão acerca da sua importância para a dinâmica do ecossistema insular.

2 ESTRUTURA DA TESE

A presente pesquisa foi pioneira no diz respeito a coleta de dados de biológicos e comportamentais de raia manta chilena *Mobula tarapacana* no Brasil e Oceano Atlântico equatorial a partir do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP). As informações geradas estão distribuídas em três artigos que compõem a tese. O primeiro artigo intitulado “**Seasonal aggregation and diel activity by the sicklefin devil ray *Mobula tarapacana* (Philippi, 1892) off a small, equatorial outcrop of mid-Atlantic Ridge**”, submetido ao periódico Journal Fish Biology verificou a utilização do habitat o padrão de residência e fidelidade da raia *M. tarapacana* e quais são os fatores abióticos e biótico que influenciam a permanência no entorno do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP). O segundo artigo intitulado “**Population structure and mating evidences of sicklefin devil ray *Mobula tarapacana* in Saint Peter and Saint Paul Archipelago, equatorial Atlantic Ocean**”, submetido ao periódico Acta of Fisheries and Aquatic Resources, em que analisou aspectos da população de *M. tarapacana* que frequenta o ASPSP através de foto-identificação utilizando o padrão ventral e possíveis comportamentos de cópula. E o terceiro artigo intitulado “**Deslocamentos horizontais e comportamento de mergulho de *Mobula tarapacana* no Oceano Atlântico Equatorial**”, em que foi verificado as preferências de profundidade e temperatura, além de elucidar os padrões de movimentação no Oceano Atlântico Equatorial a partir do ASPSP.

3 SEASONAL AGGREGATION AND DIEL ACTIVITY BY THE SICKLEFIN DEVIL RAY *Mobula tarapacana* (PHILIPPI, 1892) OFF A SMALL, EQUATORIAL OUTCROP OF THE MID-ATLANTIC RIDGE

S. A. Mendonça^{1, 2}, B. C. L. Macena¹, A. S. Afonso¹ & F. H. V. Hazin^{1, 2}

¹Laboratório de Oceanografia Pesqueira- LOP/Departamento de Pesca e Aquicultura- DEPAq/Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE. Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, campus universitário, Dois Irmãos. CEP- 52171-900 Recife, PE, Brasil.

²Departamento de Oceanografia - Universidade Federal de Pernambuco – UFPE – Cidade Universitária, Recife, PE, Brasil.

Abstract

The sicklefin devil ray, *Mobula tarapacana*, is a large, primarily oceanic, ray with a worldwide distribution. Like the other species of the family Mobulidae, the sicklefin devil ray is under an increasing fishing pressure, due to the expansion of trade in their gill plates. Their very low post-release survival, however, coupled with their extremely low reproductive capacity, put their populations under a great risk, even under very low levels of fishing mortality. The objectives of the present study were to analyse the occurrence, relative abundance and habitat use by the sicklefin devil ray, *Mobula tarapacana*, in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago (SPSPA), located in the mid-Atlantic Ridge. Sampling was conducted between December 2008 and December 2012, using two non-lethal methods: surface surveys and tagging with conventional dart tags and acoustic transmitters. Sicklefin devil rays were present in the SPSPA year round but the highest frequency was observed from January to June, probably due to greater food availability during this season. However, the species also seem to use the study area for reproductive purposes since evidences of mating behaviour were recorded. The residency period of tagged rays measured by three autonomous acoustic receivers deployed around SPSPA spanned from one to seventy-four days. Most of the detections occurred in the southwestern sector of the acoustic array during daytime. These results suggest that the SPSPA

is inserted in the migratory route of the species and that it might be an ecologically-important aggregation area.

Key-words: acoustic telemetry, feeding, habitat use, Mobulidae

Introduction

Mobulid rays are distributed in tropical and subtropical oceanic waters worldwide (Bigelow & Schroeder, 1953; Notarbartolo-di-Sciara, 1987). The sicklefin devil ray *Mobula tarapacana* (Philippi, 1892) is primarily found in oceanic waters, although they have been sporadically recorded in coastal areas as well (Gadig & Sampaio, 2002). Although they are generally solitary animals, they may assemble in groups, particularly in the surroundings of oceanic islands or seamounts, where they usually feed on small fishes and planktonic organisms (Bigelow & Schroeder, 1953; Notarbartolo-di-Sciara, 1987, 1988; Gadig & Sampaio, 2002; Sobral & Afonso, 2014; Mendonça, 2011).

In Brazil, the greatest richness of mobulid rays is found in Saint Peter and Saint Paul Archipelago (SPSPA), a group of small rocky islets located in the mid-Atlantic Ridge. Four out of the six species described for the country (Gadig & Sampaio, 2002) have been sighted there, namely (following nomenclature proposed by White *et al.*, 2017): *M. tarapacana*, *M. thurstoni* (Lloyd, 1908), *M. mobular* (Müller & Henle, 1841) (Feitoza *et al.*, 2003; Vaske Jr. *et al.*, 2005), and *M. birostris* (Walbaum, 1792) (Mendonça *et al.*, 2012). Located very close to the equator, roughly between South America and Africa, the SPSPA is important for many migratory species including tunas and other pelagic fishes, turtles, and dolphins, which gather around this area to feed or to reproduce (Lubbock & Edwards, 1981; Vaske *et al.*, 2005; Hazin *et al.*, 2008; Hazin *et al.*, 2009; Macena & Hazin, 2016).

The occurrence and seasonal aggregations of planktivorous elasmobranches are often related to spatiotemporal variability in prey abundance (Notarbartolo-di-Sciara, 1988;

Notarbartolo-di-Sciara & Hillyer, 1989; Sims *et al.*, 1997; Wilson *et al.*, 2001; Jaine *et al.*, 2012). Homa *et al.* (1997) noted that manta rays (*M. birostris*) in captivity at the Okinawa aquarium consumed up to 12.7% of their body weight per week. Based on that, as well as on other information available from the literature, Clark (2001) suggested that the species might depend on areas of high productivity to survive, an aspect that could act as a limiting factor for its occurrence and distribution.

Most previous studies aiming at assessing the range of mobulids were based on photo-identification (Luiz-Jr. *et al.*, 2009; Marshall *et al.*, 2010) or on fisheries-dependent surveys (White *et al.*, 2006; Mas *et al.*, 2015). According to Dewar *et al.*, (2008), in regions such as Hawaii and Bora-Bora, some individuals are repeatedly observed over long periods, while in other regions the occurrence of mobulids is mostly seasonal and possibly associated with food availability (Notarbartolo-di-Sciara, 1988; Notarbartolo-di-Sciara & Hillyer, 1989; Luiz Jr. *et al.*, 2009; Anderson *et al.*, 2011; Jaine *et al.*, 2012).

In general, tag-recapture is a good and simple method to identify critical habitats, to elucidate the distribution patterns and to identify different fishing stocks (Kohler & Turner, 2001). Understanding how individuals use a particular area is essential for understanding the biology and life history of a species (Heupel *et al.*, 2006). In recent years, acoustic telemetry has become an important tool to investigate the migration and movement patterns of marines species, having rendered particularly relevant results when applied to sharks and rays (Voegeli *et al.*, 2001; Heupel & Simpfendorfer, 2005; Garla *et al.*, 2006; Heupel *et al.*, 2006; Dewar *et al.*, 2008; Ferreira *et al.*, 2013).

M. tarapacana is presently considered as vulnerable by the International Union for the Conservation of Nature- IUCN (Pardo *et al.*, 2016a). This conservation status of vulnerability and/or danger of extinction also extend to other mobulids (Dulvy *et al.*, 2014; Croll *et al.*, 2015; Pardo *et al.*, 2016b; Lawson *et al.*, 2017) and could be related to the lack of information on the

ecology and biology of this family. Currently, in Brazil, fishing for all species of mobulids is prohibited (MPA/MMA, 2013). Despite these rays have no commercial value and no fishing effort is directed to the species, they are occasionally caught as by-catch in tuna fisheries (Viana *et al.* 2013, Gadig & Sampaio, 2002; Mendonça *et al.*, 2012). Information on the sicklefin devil ray life history is rather scarce in the western and equatorial Atlantic Ocean (Couturier *et al.*, 2012; Croll *et al.*, 2015). In order to help reducing this gap, the present study assessed the seasonal occurrence, relative abundance and habitat use by the sicklefin devil ray in a remote archipelago located in the equatorial Atlantic Ocean.

Material & Methods

Ethics statements

The methods and data used in this research were approved by the Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) (#50119) of the Brazilian Ministry of the Environment and by the Ethic Committee for the Use of Animals of the Universidade Federal Rural de Pernambuco (#067/2013).

Study Area

The Saint Peter and Saint Paul Archipelago (SPSPA) is a group of small rocky islets located near the equator, in the mid-Atlantic Ridge (00°55'02"N, 29°20'42"W; Fig. 1). The submerse relief is very irregular and steep with a softer slope in the east-west direction and quite accentuated in the north-south (Sichel *et al.*, 2008). The weather is strongly influenced by the Intertropical Convergence Zone (ITCZ), which is located above at the SPSPA between December and May, when rainfall increases (rainy season). From June to November, the ITCZ moves northward, causing a marked decrease in rainfall in the region (dry season) (Molinari *et al.*, 1986). The archipelago is directly influenced by the South Equatorial Current (SEC), which flows superficially in the East-West direction, and by the Equatorial Undercurrent (EUC),

which flows in the opposite direction (W-E), between 50 and 100 m of depth (Stramma & Schott, 1999). The interaction of ocean currents with the local topography may cause oceanographic phenomena typically observed in seamounts, including vortices, stream velocity reduction, thermohaline structure disturbances, and local resurgence mechanisms, including Taylor columns (Wingfield *et al.*, 2011), which can play an important role in the distribution of nutrients, and, consequently, on the plankton dynamics in SPSPA waters (Araujo & Cintra, 2009)

Data collection

From December 2008 to December 2012, 22 expeditions of 15 days each were conducted to the SPSPA. Observations of the species were performed mainly during daytime and were restricted to one location (B1) in the western side of the islets (Fig.1). The observations were conducted from the deck of a fishing vessel or from an inflated boat. Whenever the rays approached the survey point B1, free diving was conducted for direct observation. The collected data included time of the day of the first sighting and the amount of time during which the rays remained in sight.

Environmental variables included remotely sensed sea surface temperature (sst), from POES AVHRR GAC, with 0.1° degree of spatial resolution, and chlorophyll-a concentration (chl), from Aqua MODIS NPP L3SMI, with 0.05° degree of spatial resolution. Both datasets were obtained using the Xtractomatic routine (<http://coastwatch.pfel.noaa.gov/xtracto/>) with monthly composites averaged for an area of 0.3°x0.3° degrees around the SPSPA.

Tagging

From January 2009 to December 2012, 28 *M. tarapacana* were externally-tagged with acoustic transmitters (Vemco V16-4H) (Table I). The tags were fitted in the dorsal region, between the tail and the posterior part of the pectoral fin, using a 150 cm pole during free diving, as in Dewar *et al.* (2008) and Canese *et al.* (2011). Additionally, 33 rays were also tagged with

conventional tags (Floytag & Mfg Inc., FH-69 model), carrying a unique identification number and customized colour scheme for visual identification. The implantation procedure for this type of tag was the same as that used for the acoustic tags. The disk width (DW) of the tagged individuals was estimated taking the pole used for tagging, marked every 50 cm, as a reference of known size.

The acoustic transmitters implanted in the rays were detected by three autonomous, omnidirectional acoustic receivers (Vemco, model VR2W) deployed off the SPSPA. The receivers were moored to the seafloor and maintained vertically-oriented in midwater with the aid of buoys (B1, B2, and B3). The B1 buoy was located in the west (0°54'952"N, 29°06'956"W), at 0.5 km distance from shore with depth ranging from 50 to 60 m; B2 was located in the southwest (0°54'250"N, 29°22'000"W), at 2.6 km from shore, at the 500-m isobath (buoy used by fishermen to catch yellowfin tuna); and B3 was placed in the east (0°55'062"N, 29°20'187"W), at 0.6 km from shore, with depth ranging from 60 to 70 m (Fig.1). Every three months the receivers were removed from the water for data download and maintenance.

Data analysis

The relative abundance of rays was estimated as the number of Sightings per Unit of Effort (SPUE), expressed in terms of the number of rays sighted (nrs) per hour of observation each month. For seasonality analysis, only data collected between December 2008 and November 2010 were used since the surveys covered almost all months of the year in that period. Initially, an auto-correlation analysis of the environmental variables was performed to assess the existence of collinearity between the covariates using the Pearson's correlation tests and variance inflation factor (VIF) analysis were performed using the function *corvif* (Zuur *et al.*, 2010), where high correlation values were considered at $r^2 > 0.5$ and $VIF > 5$. Subsequently, the effect of temporal (i.e. month) and environmental covariates on the relative abundance of rays (SPUE) was examined using generalized additive models (GAM), assuming a Poisson

distribution with function link log (Wood, 2006). The number of hours of sampling effort was included through the “offset” function. Model selection was based on the lowest values of AIC (*Akaike Information Criterion*) (Akaike, 1987), and more complex models were compared with simpler ones with an analysis of variance (ANOVA), using the *Chi-square* test. The analysis was performed with the mgcv (Wood, 2006), qcpR (Spiess, 2014) and stats packages in R (R Development Core Team, 2015).

To examine utilization patterns and habitat preferences by sicklefin devil rays around the SPSPA, a relative detection index (RDI) was developed in which the number of acoustic detections for receivers was divided by the number of days receivers present in the area during the time of detection. To check for diel shifts (day: 6:00-17:59h, night: 18:00-5:59h; GMT-2) in habitat use around the SPSPA, an analysis of variance (ANOVA) was applied to compare detection rates per time of the day.

Results

Observations

During 355.3 h of surface observations conducted over 330 days, 507 sicklefin devil rays were recorded. The rays were sighted in all months of the year, except for November 2010. In October 2010, only a pair of rays was observed. The rays were sighted solitary or in groups ranging from 2 to 15 individuals (mean 5.7). The highest absolute frequency of occurrence of groups occurred in March 2010, with a total of 11 groups being sighted, coinciding with the peak in the number of rays sighted ($n=70$). In some instances, feeding behaviour was observed in March and June (Fig.6).

The monthly variation of SPUE in the SPSPA showed a clear seasonal trend of higher relative abundance from December to July, with the highest values occurring in June (1.88 nrs.h⁻¹) and February (1.49 nrs.h⁻¹) and the lowest in September (0.12 nrs.h⁻¹) and November (0) (Fig.2).

Collinearity between *sst* and *chl* was evidenced since Pearson results were above the thresholds defined, thus only *chl* was considered in the model selection due the lowest AIC compared to *sst*. The model showed a strong relationship between SPUE and the variance of environmental variables over the months. After comparing the models: *Ray~month* and *Ray~month+chl* (ANOVA: $df = -1$; $p\text{-value} = <0.001$), the final model included: *month* and *chl*, with 30.5% of the deviance explained, for an AIC= 1685.94 (Table II). The variable that had the strongest influence on ray abundance was *month*, followed by *chl* (Table II).

Acoustic and conventional tagging

Of the 28 acoustically-tagged rays, six were male and 21 were female, while the sex of one individual could not be determined. The disk width (DW) ranged from 2.5 to 3.1 m (Table I). Only three rays (R2, R4 e R11) did not render any detection by the acoustic receivers. The detection period of tagged rays near the SPSPA spanned from one to 74 days (between the first and last detections) with a mean $\pm$ SD of 16.75 ± 21.26 days. The mean consecutive days with detections was 2.8 ± 1.68 with a maximum of 7 consecutive days (Table I). Only one ray (R3, male), tagged on 8 October 2009, was detected over a long period after the tagging date in two occasions: after 10 months (July 2010) and then after 16 months (February 2011) (Fig. 3).

Of 3,501 acoustic detections, the receiver B2 was the one which accounted for most data, yielding 52.63% of the validated detections (RDI = 2.47). However, this receiver also detected the lowest number of different individuals, i.e. 12 out of 28. The low number of rays detected in this receiver may be due to the reduced period the receiver remained in the water, being absent from April 2012 onwards. The receiver B3 yielded 42.84% of the signals (RDI = 2.01) and detected the highest number of rays, i.e. 20. On the other hand, the receiver B1 yielded only 4.53% of the detections (RDI = 0.21), corresponding to 18 individuals (Fig. 4).

Only six rays were detected in all three receivers. The remaining rays were detected in only one ($n= 7$) or two receivers ($n=12$). Most (72%) of the detections occurred during daytime,

with a significant diel difference in detection rate (ANOVA: $F = 13.71$; $df = 1$; $p\text{-value} = <0.001$) (Fig 5). Despite having the majority of detections occurring during the day, the rays seem to move away from the SPSPA after 9p.m., with most of the night detections occurring in early evening (6:00pm to 8:59pm), in B2. The southwestern buoy (B2) had detections at almost all times of the day, except between 4am and 5am.

Of the 33 rays tagged with conventional tags, corresponding to 12 males and 21 females, only 15.2% were re-sighted ($n=5$), with the date of re-sighting being always close to the tagging date (1 to 9 days, with a mean of 3.6 ± 3.28 days).

Discussion

The increase in abundance of mobulid rays is commonly related to oceanographic features, such as the monsoon dynamics (Anderson *et al.*, 2011) and upwelling events (Dewar *et al.*, 2008; Luiz Jr *et al.*, 2011), both of which promote water enrichment with nutrients leading to an increase in the biomass of zooplanktonic organisms. These phenomena can play an important role in the distribution of nutrients and, subsequently, on plankton abundance in an oligotrophic oceanic environment (Palacios *et al.*, 2006), thus attracting large filter feeders to the area, like the whale shark and devil rays.

The highest relative abundance of *M. tarapacana* in the SPSPA, both as solitary or as in groups, was recorded in the first six months of the year when highest sea surface temperature favours reproductive processes of fishes and invertebrates in the region. Fishes are known to move to warm waters in order to aid the physiological processes of the reproduction (Hunter & Goldberg, 1980; Hunter & Macewicz, 1985). In SPSPA, several fish species spawn between January and June (Pinheiro *et al.*, 2011; Branco, 2011; Viana, 2012; Viana *et al.*, 2013; Bezerra *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2014), period which coincides with the weakens of the surface ocean currents allowing the recruitment and settlement of larvae (Araújo & Cintra 2009), thus increasing the abundance of planktonic organisms (Macedo-Soares *et al.*, 2012; Sul *et al.*, 2013;

Brandão *et al.*, 2013). Consequently, eggs, larvae and juvenile fish and crustaceans are more abundant around SPSPA between January and June, potentially providing a source of prey for sicklefin devil rays, as observed by Notarbartolo-di-Sciara (1988) on conspecifics in the Gulf of California and with the seasonality of occurrence of the filter-feeding whale shark in the same area (Macena & Hazin, 2016). In accordance, the rays in the present study were occasionally observed displaying feeding behaviours, in some instances concomitantly with other mobulids species that also feed on small pelagic organisms, such as *M. thurstoni* and *M. birostris*, as well as with whale sharks.

In the SPSPA, the modeling indicated that the variation in abundance of *M. tarapacana* is related to the local oceanographic processes of water enrichment, with the period of menor concentration of *chl* in seawater observed during the rainy season (February to May). Additionally, the runoff of guano produced by the abundant marine birds that inhabit the archipelago could also seasonally increase the primary production around the archipelago, as suggested by Macena and Hazin (2016).

Despite *M. tarapacana* being sighted in the SPSPA virtually year-round, the conventional and acoustic tagging suggest that the tagged individuals may not remain in the vicinity of the archipelago for a long period of time (mean = 16.73 days). The tagged rays seem to have remained in the vicinity of SPSPA for only few weeks. The same kind of short-stay behaviour around the SPSPA, with partial purpose of feeding, was also found in the migratory whale shark (Macena & Hazin, 2016). However, the lack of detections by acoustically-tagged rays cannot be interpreted as they have migrated away from the region, given the constraints in the tag retention, the detection range of the receivers, and the movement behaviour of the species. According to Thorrold *et al.* (2014), the sicklefin devil ray is able to travel great distances in a short time (3,800 kilometres in four months) and dive up to 1,800 m depth. Therefore, they could swim away and return to the archipelago within few months; and also

perform deep dives, which could cause the collapse of the acoustic transmitter due the high pressure at this depth, thus excluding the possibility of further detections.

Despite the movement behaviour of *M. tarapacana*, local fidelity has been previously described for mobulid species using photo-identification (Luiz-Jr. *et al.*, 2009; Marshall & Bennett, 2010; Deakos *et al.*, 2011) and acoustic telemetry (Dewar *et al.*, 2008). In the SPSPA, other elasmobranches (*Carcharhinus falciformis* and *Sphyrna lewini*) also showed local fidelity (Lana, 2016; Bezerra, 2017). The fact that one of the rays was detected in three years (October 2009, July 2010 and February 2011), suggests that at least some degree of local fidelity to SPSPA by this individual was taking place. More efforts in long-term tracking, however, should be developed to confirm this hypothesis.

The fact that most detections occurred during the day indicates a possible diel variation in habitat use of the SPSPA, with devil rays moving closer to the island during daytime. The same behaviour was found by Dewar *et al.*, (2008) for *M. birostris*, with the authors assuming that the rays moved away from Komodo Island during the night to feed on plankton in the oceanic region. For *M. alfredi*, a stable isotope analysis suggested that the ray does not feed solely on pelagic zooplankton, but also on demersal zooplankton (Couturier *et al.*, 2013) and tend to spend more time closer to the surface during daylight hours and to occupy deeper waters throughout the night (Braun *et al.*, 2014). Although, sicklefin devil rays have already been seen feeding on small planktonic fish and crustaceans near the surface in the SPSPA, Thorrold *et al.* (2014) supposed they may also be feeding in deep water, after observing a large number of dives performed at great depths. The distribution of zoo- and ichthyoplanktonic organisms in the SPSPA surroundings suggests that this diel pattern may be associated with their greater abundance found in areas away from the archipelago during the night (Macedo-Soares *et al.*, 2012; Brandão *et al.*, 2013; Melo *et al.*, 2013). The largest number of detections in the

southwest section of the SPSPA may be related to its greater distance from SPSPA, its greater depth (400 at 500 m depth) or its greater abundance of forage organisms.

Beyond foraging, there is evidence that the rays may also enjoy their stay at SPSPA to mate, since courtship behaviours have also been observed and some females and males had potential indicators of recent copula (Mendonça *pers obs*). Other elasmobranches also seem to use that area for mating, such as *M. thurstoni* (Mendonça *et al.*, 2012), whale sharks (Macena & Hazin, 2016) and *C. falciformis* (Hazin *et al.*, 2007).

The present results indicate that the seasonality in the relative abundance of *M. tarapacana* off the SPSPA, with higher values in the first half of the year, is likely related to the increase in prey abundance combined with surface temperature due the reproductive period of fishes and invertebrates (i.e. spawning). Although the results obtained with the conventional and acoustic tagging have contributed to a better understanding of the pattern of habitat use of *M. tarapacana*, additional studies involving techniques such as focal observation, photo-identification and satellite tracking are necessary to improve our knowledge on the population dynamics and bioecology of the species in the Atlantic Ocean.

Acknowledgement

We would like to thank the Pró-Arquipélago Program, of the Brazilian Navy/SECIRM and Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), who provided support for undertaking of this research (process:405460/2012-0) and for providing a PhD. Scholarship to S. A. Mendonça. Special thanks to Dr. Rodrigo Barreto, Daniel Viana, Dra. Natalia Bezerra, Dra. Danielle Viana, Msc. Emmanuely Creio, Tatiana Vasconcelos and to the fishermen of the vessels Transmar I, II and III, from Saint Peter and Saint Paul Archipelago for their support during work.

References

Akaike, H. (1987). Factor analysis and AIC. *Psychometrika* 52, 317–332

- Anderson, R. C., Adam, M. S. & Goes, J. I. (2011). From monsoons to mantas: seasonal distribution of *Manta alfredi* in the Maldives. *Fisheries Oceanography*. 20(2): 104-113.
- Araujo, M. & Cintra, M. (2009). Modelagem matemática da circulação oceânica na região equatorial. In: Viana, D. L., Hazin, F. H. V. & Souza, M. A. C. (Eds.). 10 anos de Programa Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Brasília, DF: SECIRM, 306p
- Braun, C. D., Skomal, G. B., Thorrold, S. R. & Berumen, M. L. (2014). Diving behaviour of the reef manta ray links coral reefs with adjacent deep pelagic habitats. *PloS One* 9(2): e88170. doi: 10.1371/journal.pone.0088170
- Bezerra, N. P. A., Fernandes, C. A. F., Albuquerque, F. V., Pedrosa, V., Hazin, F. & Travassos, P.(2013). Reproduction of Blackfin tuna, *Thunnus atlanticus* (Perciformes: Scombridae) in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Equatorial Atlantic, Brazil. *Revista Biologia Tropical* Vol 61(3): 1327-1339
- Bezerra, N. P. A. (2017). Biologia pesqueira dos tubarões martelo (*Sphyrna* spp.) no oceano atlântico sudoeste e equatorial. PhD Thesis. Universidade Federal de Pernambuco, PE, Brasil. 129 p.
- Bigelow, H. B. & Schroeder, W. C. (1953). Sawfishes, guitarfishes, skates and rays; chimaeroides. In: *Fishes of the Western North Atlantic*. Memoirs of the Sears Foundation for Marine Research Yale University. New Haven, 1 (2): 588 pp.
- Branco, I. S. L. (2011). Biologia reprodutiva do cangulo-preto (*Melichthys niger*, Bloch, 1789) capturado no Arquipélago de São Pedro e São Paulo – Brasil. MSc. Dissertation, Universidade Federal Rural de Pernambuco, PE, Brasil. 75p.
- Brandão, M. C., Koettker, A. G. & Freire, A. S. (2013). Abundance and composition of decapod larvae at Saint Paul's Rocks (equatorial Atlantic). *Marine Ecology* 34: 171-185.

Clark, T. B. (2001). Population structure of *Manta birostris* (CHONDRICHTHYES: MOBULIDAE) from the Pacific and Atlantic Oceans. Thesis Master of Science, Texas A&M University, 68 p.

Couturier, L. I. E., Marshall, A. D., Jaine, F. R. A., Kashiwagi, T., Pierce, S. J., Townsnes, K. A., Weeks, J. S., Bennet, M. B. & Richardson, A. J. (2012). Biology, ecology and conservation of the Mobulidae. *Journal of Fish Biology*, 80: 1075-1119.

Couturier, L. I. E., Rohner, C. A., Richardson, A. J., Marshall, A. D., Jaine, F. R. A., Bennett, M. B., Townsend, K. A., Weeks, S. J. & Nichols, P. D. (2013). Stable isotope and signature fatty acid analyses suggest reef manta rays feed on demersal zooplankton. *Plos One* 8(10): e77152. Doi:10.1371/journal.pone.0077152

Croll, D. A., Dewar, H., Dulvy, N. K., Fernando, D., Francis, M. P., Galván-Magaña, F., Hall, M., Heinrichs, S., Marshall, A., Mccauley, D., Newton, K. M., Notarbartolo-Di-Sciara, G., O'Malley, M., O'Sullivan, J., Poortvliet, M., Romam, M., Stevens, G., Tershy, B. R. & White, W. T. (2016). Vulnerabilities and fisheries impacts: the uncertain future of manta and devil rays. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 26(3), 562-575 DOI: 10.1002/aqc.2591

Deakos, M. H., Baker, J. D. & Bejder, L. (2011). Characteristics of a manta ray *Manta alfredi* population off Maui, Hawaii, and implications for management. *Marine Ecology Progress Series* 429: 245-260. Doi: 10.3354/meps09085

Dewar, H., Mous, P., Domeier, M., Muljadi, A., Pet, J. & Whitty, J. (2008). Movements and site Fidelity of the giant manta ray, *Manta birostris*, in the Komodo Marine Park, Indonesia. *Marine Biology* 155:121–133.

Feitoza, B. M., Rocha, L. A., Luiz-Jr, O. J., Floeter, S. R., Gasparini, J. L. (2003). Reef fishes of St. Paul's Rocks: new records and notes on biology and zoogeography. *Journal Ichthyology and Aquatic Biology*, 7 (2): 61-82.

Ferreira, L. C., Afonso, A. S., Castilho, P. C. & Hazin, H. V. (2013). Habitat use of the nurse shark, *Ginglymostoma cirratum*, off Recife, Northeast Brazil: a combined survey with longline and acoustic telemetry. *Environmental Biology of Fish* 96:735-745. DOI 10.1007/s10641-012-0067-5

Gadig, O. B. F. & Sampaio, C. L. S. (2002). Ocorrência de *Mobula japanica* no Atlântico Ocidental e *Mobula tarapacana* em águas Brasileiras, com comentários sobre a diversidade de raias manta (Chondrichthyes: Mobulidae) no Brasil. *Arquivos Ciências Marinhas*, Fortaleza, 35: 36-37.

Garla, R. C., Chapman, D. D., Wetherbee, B. M & Shivj, M. (2006). Movement patterns of young Caribbean reef sharks, *Carcharhinus perezi*, at Fernando de Noronha Archipelago, Brazil: the potential of marine protected areas for conservation of nursery ground. *Marine Biology* 149: 189 – 199.

Hazin, F. H., Oliveira, P. G., & Macena, B. C. (2007). Aspects of the reproductive biology of the silky shark, *Carcharhinus falciformis* (Nardo, 1827), in the vicinity of Archipelago of Saint Peter and Saint Paul, in the equatorial Atlantic Ocean. *Collective Volume of Scientific Papers: ICCAT*, 60, 648-651.

Hazin, F. H. V., Vaske-Jr, T., Oliveira, P. G., Macena, B. C. L. & Carvalho, F. (2008). Occurrences of whale shark (*Rhincodon typus* Smith, 1828) in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, v.68 (2), p.385-389.

Hazin, F. H. V., Viana, D., Pinheiro, P., Fischer, A., Macena, B., Vêras, D., Oliveira, P. G. V., Carvalho, F., Vaske-Jr., T. & Branco, I. (2009). *Ecologia dos grandes peixes pelágicos no*

Arquipélago de São Pedro e São Paulo. In: Viana, D. L., Hazin, F. H. V. & Souza, M. A. C. (Eds.). 10 anos de Programa Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Brasília, DF: SECIRM, 306p.

Heupel, M. R. & Simpfendorfer, C. A. (2005). Quantitative analysis of aggregation behavior in juvenile blacktip sharks. *Marine Biology* 147: 1239 – 1249.

Heupel, M. R., Simpfendorfer, C. A., Collins, A. B. & Tyminski, J. P. (2006). Residency and movement patterns of bonnethead sharks, *Sphyrna tiburo*, in a large Florida estuary. *Environmental Biology of Fishes* 76: 47-67

Homma, K., Maruyama, T., Itoh, T., Ishihara, H. & Uchida, S. (1997). Biology of the manta ray, *Manta birostris* Walbaum in the Indo-Pacific, p. 209-216. In: Proc. 5th Indo-Pacific Fish Conference, Noumea: Ichthyology Society of France, Paris.

Hunter, J. & Goldberg, S. (1980). Spawning incidence and batch fecundity in northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Fish. Bull.* 77: 641-652

Hunter, J. & Macewicz, B. J. (1985). Measurement of spawning frequency and bath fecundity in multiple spawning fishes, p. 79-94. In Lasker, R. (ed.). An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the Northern anchovy, *Engraulis mordax*. NOAA Tech. Rep. NMFS. La Jolla, California, USA

Jaine, F. R. A., Couturier, L. I. E., Weeks, S. J., Townsend, K. A., Bennett, M. B., Fiora, K., Richardson, A. J. (2012). When giants turn up: Sighting trends, environmental influences and habitat use of the manta ray *Manta alfredi* at a Coral Reef. *PLoS One* 7(10): e46170. doi:10.1371/journal.pone.0046170

Kohler, N. E. & Turner, P. A. (2001). Shark tagging: a review of conventional methods and studies. *Environmental Biology of Fishes*. 60: 191-223.

- Lana, F. O. (2016). Morfologia, Identificação Molecular e Movimentação do Tubarão lombopreto, *Carcharhinus falciformis* (Bribon, 1939), no Atlântico Oeste Tropical. PhD Thesis Universidade Federal Rural de Pernambuco, PE, Brasil.
- Lawson, J. M., Fordham, S. V., O'Malley, M. P., Davidson, L. N. K., Walls, R. H. L., Heupel, M. R., Stevens, G., Fernando D., Budziak, A., Simpfendorfer, C. A., Ender, I., Francis, M. P. Notarbartolo-Di-Sciara, G., Dulvy, N. K. (2017). Sympathy for the devil: a conservation strategy for devil and manta rays. PeerJ, Doi10.7717/peerj.3027
- Lessa, R. P., Mafalda, P., Advíncula, R., Lucchesi, R., Bezerra Jr., J. L., Vaske-Jr., T., & Hellebrandt, D. (1999). Distribution and abundance of ichthyoneuston at seamounts and islands off north-eastern Brazil. Archive of Fishery and Marine Research.47 (2/3): 133-146
- Lessa, R. & Vaske-Jr., T. (2009). A ictiofauna com ênfase aos peixes-voadores (Exocoetidae) In: Viana, D. L., Hazin, F. H. V. & Souza, M. A. C. (Eds.). 10 anos de Programa Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Brasília, DF: SECIRM, 306p.
- Lubbock, H. R. & Edwards, A. J. (1981).The fishes of Saint Paul's rocks. Journal of Fish Biology, (18) 135-157.
- Luiz-Jr, O. J., Balboni, A. P., Kodja, G., Andrade, M. & Marum, H. (2009). Seasonal occurrences of *Manta birostris* (Chondrichthyes: Mobulidae) in southeastern Brazil. Ichthyology Research, 56:96–99
- Macedo-Soares, L. C. P., Freire, A. S. & Muelbert, J. H. (2012). Small-scale spatial and temporal variability of larval fishes assemblages at an isolate oceanic island. Marine Ecology Progress Series. 444: 207-222
- Macena, B. C. L. & Hazin, F. H. V. (2016). Whale Shark (*Rhincodon typus*) seasonal occurrence, abundance and demographic structure in the Mid-Equatorial Atlantic Ocean. PLoS One doi:10.1371/journal.pone.0164440

- Marshall, A. & Bennett, M. B. (2010). Reproductive ecology of the reef manta ray *Manta alfredi* in southern Mozambique. *Journal of Fish Biology* 77, 169–190
- Mas, F., Forselledo, R. & Domingo, A. (2015). Mobulid ray by-catch in longline fisheries in the south-western Atlantic Ocean. *Marine and Freshwater Research* 66, 767-777. Doi: 10.1071/MF14180
- Mendonça, S. A., Macena, B. C. L., Creio, E., Viana, D. L., Viana, D. F. & Hazin, F. H. V. (2012). Record of a pregnant *Mobula thurstoni* and occurrence of *Manta birostris* (Myliobatiformes: Mobulidae) in the vicinity of Saint Peter and Saint Paul Archipelago (Equatorial Atlantic). *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 7(1): 21-26
- Molinari R. L., Garzoli, S. L., Katz, E. J., Harrison, D. E., Richardson, P. L. & Reverdin, G. (1986). A synthesis of the First GARP Global Experiment (FGGE) in the equatorial Atlantic Ocean. *Prog Oceanogr.*; 16: 91± 112. doi: 10.1016/0079-6611(86)90008-x
- Notarbartolo-Di-Sciara, G. (1987). A revisionary study of the genus *Mobula* Rafinesque, 1810 (Chondrichthyes: Mobulidae) with the description of a new species. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 91(1):1-91.
- Notarbartolo-Di-Sciara, G. (1988). Natural history of the rays of the genus *Mobula* in the Gulf of California. *Fishery Bulletin*, 86, 45-66.
- Notarbartolo-Di-Sciara, G. & Hillyer, E. (1989). Mobulid rays off Eastern Venezuela. *Copéia* (3) 607-614.
- Palacios, D. M., Bograd, S. J., Foley, D. G. & Schwing, F. B. (2006). Oceanographic characteristics of biological hot spots in the North Pacific: a remote sensing perspective. *Deep-Sea Res. II*; 53, 250–269. doi:10.1016/j.dsr2.2006.03.004

- Pardo, S. A., Kindsvater, H. K., Cuevas-Zimbrón, E., Sosa-Nishizaki, O., Pérez-Jiménez, J. C. & Dulvy, N. K. (2016). Devil in the details: growth, productivity, and extinction risk of a dataspars devil ray. BiorxivDoi: <http://dx.doi.org/10.1101/043885>
- Pinheiro, P. B., Hazin, F. H. V., Travassos, P., Oliveira, P. G. V., Carvalho, F. & Rego, M. G. (2011). The reproductive of the rainbow runner, *Elagatis bipinnulata* (Quoy & Gaimard, 1825), caught in the São Pedro e São Paulo Archipelago. Brazilian Journal of Biology 71 (1):1-9.
- Santos, A. C. L., Coutinho, I. M., Viana, D. L., Rego, M. G., Branco, I. S. L., Hazin, F. H. V. & Oliveira, P. G. V. (2014). Reproductive biology of dolphinfish, *Coryphaena hippurus* (Actinopterygii: Coryphaenidae), in Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Brazil. Scientia Marina 78(3) 363-369.
- Sichel, S. E., Esperança, S., Motoki, A., Maia, M., Horan, M. F., Szatmari, P., Alves, E. C. & Mello, S. L. M. (2008). Geophysical and geochemical evidence for cold upper mantle beneath the equatorial Atlantic Ocean. Revista Brasileira de Geofísica, 26(1): 69-86
- Sims, D. W., Fox, A. M. & Merritti, D. A. (1997). Basking shark occurrence off south-west England in relation to zooplankton abundance. Journal of Fish Biology 51:436–440
- Soares, J., Oliveira, A. P., Skielka, U. T. & Servian, J. (2009). O ar. In: Viana, D. L., Hazin, F. H. V. & Souza, M. A. C. (Eds.). 10 anos de Programa Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Brasília, DF: SECIRM, 306p
- Sobral, A. F. & Afonso, P. (2014). Occurrence of mobulids in the Azores, central North Atlantic. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. 94(8), 1671-1675.
- Spiess, A. N. (2014). Qpcr: Modelling and analysis of real-time PCR data. R package version 1.4-0.

- Strama, L. & England, M. (1999). On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical research*, 104(9), 20863-20883
- Sul, J. A. I., Costa, M., Barletta, M. & Cysneiros, F. J. A. (2013). Pelagic microplastics around na archipelago of the Equatorial Atlantic. *Marine Pollution Bulletin* 75: 305-309
- Thorrold, S. R., Afonso, P., Fontes, J., Braun, C. D., Santos, R. S., Skomal, G. B., & Berumen, M. L. (2014). Extreme diving behavior in devil rays links surface waters and the deep ocean. *Nature Communications*, 5.
- Vaske-Jr. T., Lessa, R. P. & Vooren, C. M. (2003). Feeding strategy of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*), and wahoo (*Acanthocybium solandri*) in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Brazil. *Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo*, 29(1): 173-181
- Vaske Jr, T., Lessa, R. P., Nóbrega, M., Montealegre-Quijano, S., Marcante-Santana, F. & Bezerra-Jr., J. L. (2005). A checklist of fishes from Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Brazil *Journal Applied Ichthyology*, 21, 75–79.
- Viana, D. L., Branco, I., Fernandes, C. Fisher, A., Carvalho, F., Travassos, P. & Hazin, F. (2013). Reproductive biology of the wahoo, *Acanthocybium solandri* (Teleostei: Scombridae) in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Brazil. *International Journal of Plant and Animal Sciences*.Vol. 1(4) 049-057.
- Viana, D. L. (2012). Pesca e dinâmica populacional do Peixe-Prego, *Ruventtus pretiosus* (Cocco, 1829) no Arquipélago de São Pedro e São Paulo. PhD Thesis, Universidade Federal de Pernambuco, PE, Brasil, 117p.
- Viana, D. F., Hazin, F. H. V., Andrade, H. A., Nunes, D. M. & Viana, D. L., (2015). Fisheries in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago: 13 years of monitoring. *Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo*, 41(2): 239-248.

Voegeli, F. A. Smale, M. J., Webber, D. M; Andrade, Y. & O'Dor, R. K. (2001). Ultrasonic telemetry, tracking and automated monitoring technology for sharks. *Environmental Biology of Fishes*. 60: 267-281.

White, W. T., Giles, J., Dharmadi & Potter, I. C. (2006). Data on the bycatch fishery and reproductive biology of mobulid rays (Myliobatiformes) in Indonesia. *Fisheries Research* 82: 65-73.

White, W. T., Corrigan, S., Yang, L., Henderson, A. C., Bazinet, A. L., Sworfford, D. L. & Naylor, G. J. P. (2017). Phylogeny of the manta and devil rays (Chondrichthyes: Mobulidae), with an update taxonomic arrangement for the family. *Zoological Journal of the Linnean Society*, XX, 1-26.

Wilson, S. G., Taylor, J. G. & Pearce, A. F. (2001). The seasonal aggregation of whale sharks at Ningaloo Reef, Western Australia: currents, migrations and the El Niño/Southern Oscillation. *Environmental Biology Fish* 61:1–11

Wingfield, D. K., Peckham, S. H., Foley, D. G., Palacios, D. M., Lavaniegos, B. E., Durazo, R., Nichols, W. J., Croll, D. A. & Bograd, S. J. (2011). The making of a productivity hotspot in the coastal ocean. *PLoS ONE*, 2011; 6, e27874 doi: 10.1371/journal.pone.0027874

Wood, S. N. (2006). *Generalized Additive Models: An Introduction with R*, London: CRC Press.

Zuur, A. F., Ieno, E. N. & Elphick, C. S. (2010). A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution*. 1, 3-14.

Electronic Reference

MPA/MMA. (2013). Instrução normativa Interministerial (Ministério da Pesca e Agricultura e Ministério do Meio Ambiente) nº 02 de 13 de Março de 2013, Brasil. Available at

http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Instrucao_normativa/2013/ini_mpa_mma_02_2013_proibe_captura_raias.pdf (last accessed 2/3/2017).

Pardo, S. A., Walls, R. H. L. & Bigman, J. S. (2016)a. *Mobula tarapacana*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T60199A100016302. <www.iucnredlist.org> Downloaded on **06 October 2016**.

R Development Core Team (2015). R: A Language and Environment for Statistical Computing. <<http://www.R-project.org>>.

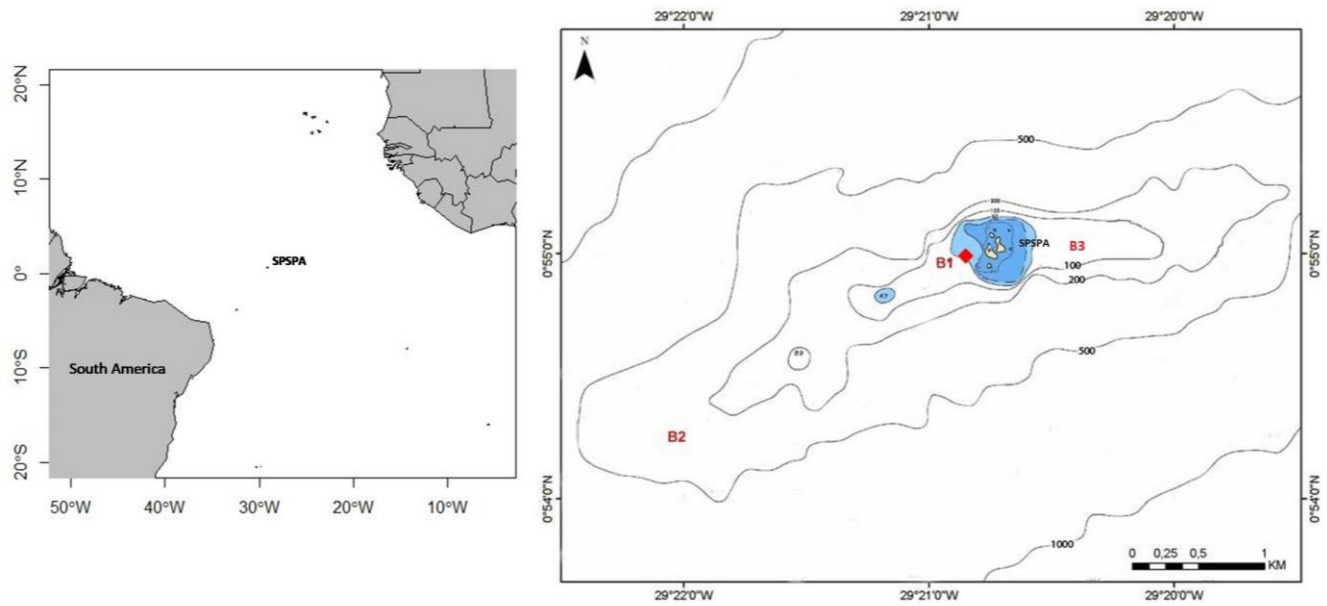


Figure 1. Geographical location of the Saint Peter and Saint Paul Archipelago (SPSPA) in the Atlantic and locations of tree buoys (B1 – west, B2 – southwest and B3 – east) with the receivers in the surrounding SPSPA. Red diamond represents tagging site.

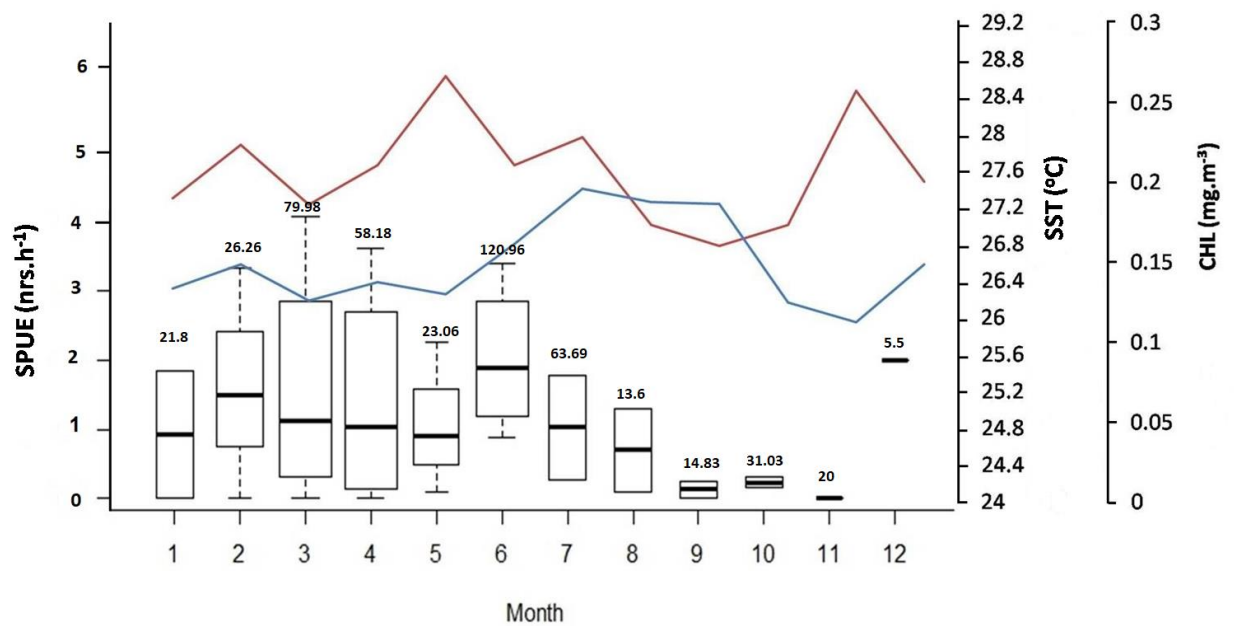


Figure 2. Monthly distribution of SPUE (nrs.h⁻¹) of *Mobula tarapacana* in the relation sea surface temperature (SST, red line) and chlorophyll *a* concentration (CHL, blue line). The effort (hours) is represent by number above the box of *Mobula tarapacana* in the Saint Peter and Saint Paul.

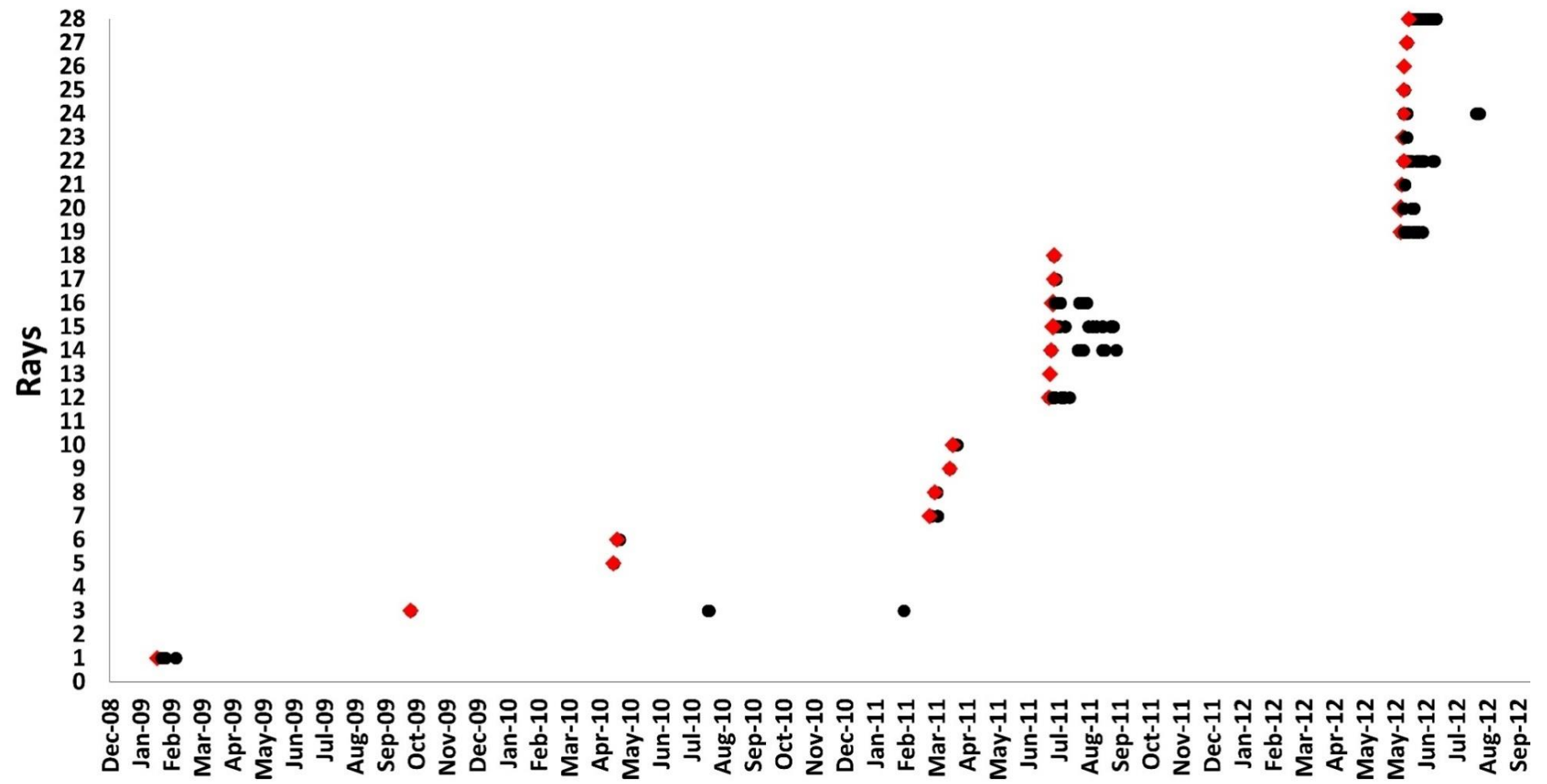


Figura 3. Detections over time of all tagged rays with transmitters in SPSPA, Red diamond represents the day of tagging.

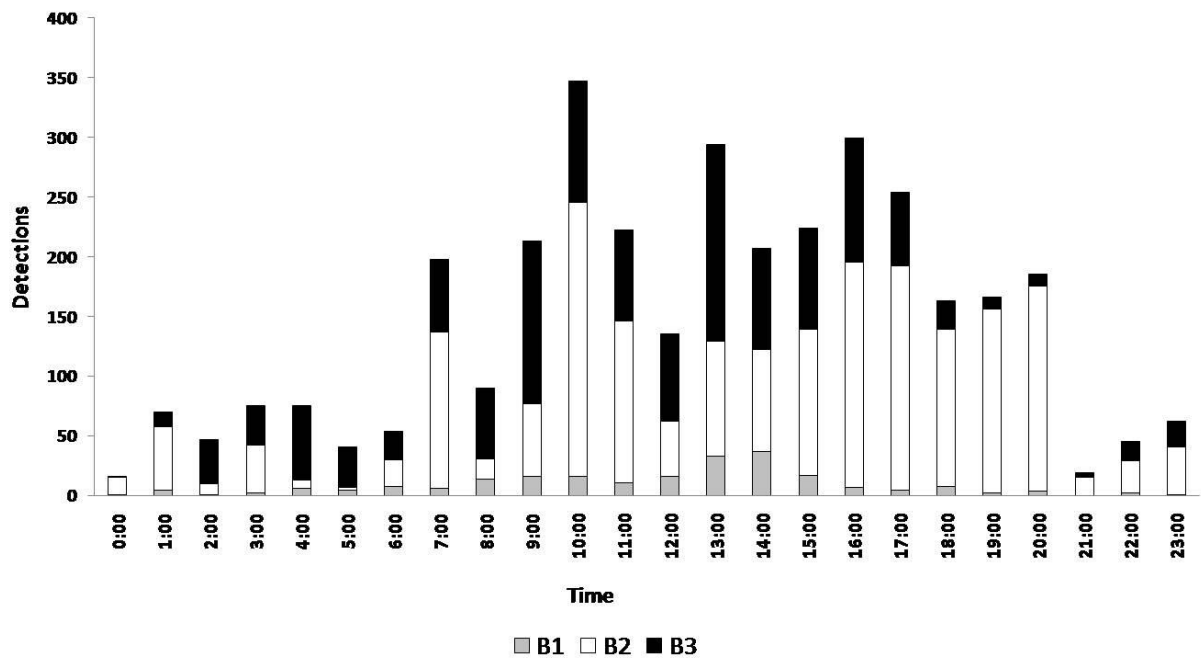


Figura 4. Total of detections in the receivers B1 (west), B2 (southwest) and B3 (east) per hour of the day (GMT-2) in Saint Paul and Saint Paul Archipelago.

Tabela 1: Date of tagging, sex, disc width (DW) of the tagged individuals with acoustics tags and day of the first detection, last day of detection, total detection, total days of detections and total days in a row in the surrounding of Saint Peter and Saint Paul Archipelago.

Rays ID	DW (m)	Sex	Date tagging	First Day of detection	Last day of detection	Total detection	Total days of detections	Total days in a row
R01	2.4	F	1/23/2009	2/2/2009	2/20/2009	11	4	1
R02	2.4	F	3/1/2009	NA	N	0		
R03	2.20	M	10/8/2009	10/8/2009	2/4/2011 *	17	4	2
R04	-	F	3/20/2010	NA	N	0		
R05	-	M	4/25/2010	4/25/2010	4/25/2010	41	1	1
R06	-	M	4/27/2010	4/29/2010	5/1/2010	36	2	1
R07	3.1	F	2/28/2011	3/1/2011	3/9/2011	111	4	3
R08	3	F	3/06/2011	3/6/2011	3/8/2011	227	3	3
R09	3.1	F	3/21/2011	3/21/2011	3/21/2011	13	1	1
R10	2.0	F	3/24/2011	3/24/2011	3/27/2011	386	4	4
R11	3.3	F	3/12/2011	N	N	0		
R12	2.5	F	6/25/2011	6/26/2011	7/11/2011	263	9	4
R13	1.8	-	6/27/2011	6/27/2011	6/27/2011	1	1	1
R14	2.6	F	6/28/2011	6/28/2011	8/31/2011	784	11	6
R15	2.8	M	6/30/2011	6/30/2011	8/28/2011	199	14	3
R16	2.8	F	6/30/2011	6/30/2011	8/2/2011	690	11	4
R17	2.9	F	7/1/2011	7/1/2011	7/3/2011	73	3	3
R18	2.8	F	7/1/2011	7/1/2011	7/1/2011	28	1	1
R19	2.5	F	6/5/2012	6/5/2012	6/26/2012	121	14	4
R20	2.5	F	6/5/2012	6/5/2012	6/18/2012	146	6	3
R21	2.8	F	6/6/2012	6/6/2012	6/9/2012	9	3	2
R22	2.6	M	6/7/2012	6/7/2012	7/8/2012	117	18	7
R23	2.7	M	6/7/2012	6/7/2012	6/11/2012	17	5	5
R24	3	F	6/8/2012	6/8/2012	8/21/2012	43	7	4
R25	2.7	F	6/8/2012	6/8/2012	6/9/2012	9	2	2
R26	2.8	F	6/8/2012	6/8/2012	6/8/2012	1	1	1
R27	2.5	F	6/11/2012	6/11/2012	6/11/2012	30	1	1
R28	2.5	F	6/11/2012	6/13/2012	7/10/2012	128	12	3

*Single Ray that returned after periods without detections;

Tabela 2: Results of Models GAM of *Mobula tarapacana* with the environmental and temporal variables. The deviance explained represents the importance of the variables. In bold are the select models.

Model	AIC	Deviance explained (%)
Ray ~sst***	2244.06	1.61%
Ray ~ chl***	2242.98	1.66%
Ray ~ month***	1717.67	28.9%
Ray~ month***+ chl***§	1685.94	30.5%
Ray~ month***+sst***	1709.8	29.4%

Value of p : 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1; § Final model

4 POPULATION STRUCTURE AND MATING EVIDENCES OF SICKLEFIN DEVIL RAY *Mobula tarapacana* IN SAINT PETER AND SAINT PAUL ARCHIPELAGO, EQUATORIAL ATLANTIC OCEAN

Estrutura populacional e evidências de cópula da raia manta chilena *Mobula tarapacana* no Arquipélago de São Pedro e São Paulo no Oceano Atlântico Equatorial

Sibele Alves de Mendonça^{1, 2}, Bruno César Luz Macena¹CamilaBrasilino Botêlho de Araujo¹,
Natalia Alves Bezerra¹ e Fabio Hissa Vieira Hazin^{1,2}

¹Laboratório de Oceanografia Pesqueira- LOP/Departamento de Pesca e Aquicultura- DEPAq/Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE. Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, campus universitário, Dois Irmãos. CEP- 52171-900 Recife, PE, Brasil.

²Departamento de Oceanografia - Universidade Federal de Pernambuco – UFPE – Cidade Universitária, Recife, PE, Brasil.

e-mail: sibele_mendonca@yahoo.com.br

Abstract

The present study describes the population structure and mating evidences of the Sicklefins devil ray (*M. tarapacana*) that aggregates seasonally in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago (SPSPA). From December 2008 to June 2016, 827 rays were sighted through free diving visual census survey. From the total of the records, it was only possible to identify the sex of 361 specimens, in which 215 were females and 146 males. The disk width ranged from 2.40m to 3.20 m with mean size of 2.6m, for both males and females, indicating that the population is composed by sub-adults and adults. Using photo-identification of the contour color pattern in posterior area of the pectoral-fins in the ventral side, 11 males and 44 females were identified and compared each other according to gender. No re-sight was detected. Recent mating scars were observed in both males (n=7) and females (n=6), as well as courtship behaviors. The provided information confirms that the SPSPA is an important area of aggregation and mating for *M. tarapacana* in the Atlantic Ocean basin.

Key word: elasmobranch; reproduction area; sexual aggregation; photo-identification.

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo conhecer a população da raia manta chilena (*M. tarapacana*) que visita sazonalmente o Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPP). Durante o período de dezembro de 2008 a junho de 2016 foram avistadas 827 raias através de censo visual por mergulho livre. Do total das raias avistadas, só foi possível identificar o sexo de 361 espécimes, dos quais 215 fêmeas e 146 machos. A largura de disco variou de 2,40m a 3,20m

com média de 2,6m, tanto para machos como para fêmeas, evidenciando que a população que frequenta o ASPSP é composta por adultos e sub-adultos. Utilizando foto-identificação do padrão de coloração do contorno localizado na região ventral, foram identificados e comparados entre si de acordo com o sexo, 11 machos e 44 fêmeas. Não houve re-avistagem. Marcas de cópula recente foram observadas tanto em machos (n=07) como em fêmeas (n=06), assim como comportamentos de corte e perseguição, que demonstram que o ASPSP é uma importante área de agregação e acasalamento de *M. tarapacana* no Oceano Atlântico.

Palavra-chave: elasmobrânquio; área de reprodução; agregação sexual; foto-identificação;

Introduction

The sicklefin devil ray, *Mobula tarapacana*, is a species of manta ray, family Mobulidae, which is morphologically characterized by a less wide and longer disk in relation to other species of the genus, a pelvic region also longer and the spiracle longitudinally elongated (Notarbartolo-di-Sciara, 1988). They have a long head and reduced cephalic fins, a short tail (much smaller than the width of the disc), dorsal coloration ranging from dark brown to olive green and the ventral side white, with a grey posterior border, with an irregular but definite demarcation line (Notarbartolo-di-Sciara, 1987). The largest specimen of *M. tarapacana* ever observed was a female with 3.28m of disc width, in a study by White et al. (2006), in Indonesian waters, who also estimated the size of first sexual maturation for males at 2.49 m of disk width and size at birth between 1.05 and 1.39 m of disk width.

The sicklefin devil ray has a cosmopolitan distribution, occurring in temperate, subtropical and tropical waters of the Atlantic, Pacific and Indian Oceans. Although the species prefers the oceanic environment, it is also present in coastal areas (Compagno & Last, 1999). In Brazil, its abundance is higher in the north and northeast regions, with records occurring mainly in oceanic banks and islands, with only one confirmed record in the southeastern coast, suggesting a more offshore and equatorial distribution in the southwestern Atlantic Ocean (Gadig & Sampaio, 2002).

Due to its mainly oceanic habit and migratory behavior, traveling great distances in a few months (Thorrold et al., 2014), studies about its population structure are scarce. There are only three known places of constant aggregations of the species in the whole World: Saint Peter and Saint Paul Archipelago (SPSPA), in the equatorial Atlantic Ocean (Mendonça, 2011), the Azores, in the North Atlantic Ocean (Sobral & Afonso, 2014) and Coco's Islands, in the Pacific Ocean (Pardo et al., 2016). All these aggregations are seasonal.

The identification of animals by means of natural marks, such as spot and scars, is an important tool for the study of animal populations, which has already been successfully used in studies on cetaceans (Hammond et al., 1990), pinnipeds (Forcada & Aguilar, 2000), sirenians (Reid et al., 1991) and elasmobranches (Corcoran & Gruber, 1999; Yano et al., 1999; Castro & Rosa, 2005). Capture-recapture studies using natural marks by means of photo identification are particularly useful in situations where the catch is difficult and/ or may cause some disturbance or unwanted impact on the population studied. Currently, because this methodology is non-invasive and non-destructive, it has been recommended for the evaluation of populations that are already in decline, such as the Chilean manta ray, which is considered as “Vulnerable”, according to the International Union for the Conservation of Nature (IUCN) (Pardo et al., 2016). The species is also inserted in Appendix II of CITES (Conventional on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora), mainly to facilitate the control of the international trade of their gill plates. A significant increase in catches of the species of the family Mobulidae worldwide, prompting a decline of their population, has been observed in recent years, due to the growing consumption of gill plates in the Asian market (Heinrichs et al., 2011; Couturier et al., 2012; Croll et al., 2015; O Malley et al., 2017).

Studies on the biology of mobulids using natural marks to individualize the specimens of a given population have become increasingly common, mainly for *Mobula birostris* and *M. alfredi*, which have a unique pattern of spots in their ventral region (Luiz Jr et al. 2009; Marshall & Bennett 2010, Deakos, 2011). Starting in 2010, the observations of *M. tarapacana* in SPSP have evidenced that it has a ventral pattern of coloration as well, with the gray region located in the lower part of the ventral area, forming a pattern of unique undulations that might allow the identification of each individual, as attempted in the present study. This pattern of individual ventral coloration was confirmed in 2013 in a study conducted in the Azores (Sobral, 2013), although it is not yet clear how it might change over time.

The objective of the present study was to generate information about the population of *Mobula tarapacana* observed around the SPSPA, through non-lethal methods, using direct observation and photo-identification of individuals, population structure analysis, description of reproductive aspects, and assessment of local fidelity. We hope the information gathered and analyzed here may contribute to the conservation of the species, not only in the Atlantic Ocean, but throughout the species distribution range.

Material & Methods

The Saint Peter and Saint Paul archipelago (SPSPA) is a small group of rocky islands, located in the equatorial Atlantic Ocean (00°55'02"N, 29°20'42"W) (Sichel et al., 2008) (Figura 1). The archipelago suffers a direct influence of the South Equatorial Current, which flows superficially in the East-West direction, and the Submersed Equatorial Undercurrent, which flows in the opposite direction (W-E), between 60 and 100 m (Stramma & England, 1999). The interaction of these currents with local topography causes processes typically observed in seamounts, such as vortexes, stream velocity reductions, thermohaline structure disturbances and local resurgence mechanisms (Araujo & Cintra, 2009), that result in the enrichment of surface waters.

During the study period, between December 2008 and June 2016, 38 expeditions were made to SPSPA. The observations of the ray species were performed through free diving, to the west (B1) of the island (Figure 1), especially in the morning (due to the availability of the support vessel). The time of observation of the dive, the presence/ absence of the rays, and the time and the period of their stay were then recorded. Whenever the rays approached the divers, allowing a direct observation of the specimens, a photographic and/or video record was done, identifying wherever possible, the gender of the individuals and the disk width (DW), estimated either by comparison with the pole used for tagging, or by photogrammetry with parallel lasers. A database was then created, including all the records (videos and photos), with date, information about sex, size and behavior. Images of rays acquired over time were classified according to quality (focus, angle and lighting), being classified as optimal, good and bad, and body size. The ventral pictures were compared manually, analyzing in detail the ventral pattern of coloration, as well as of the dorsal area, used to complement the identification (Figure 2).

The gender ratio was analyzed with data obtained during the 12 months of the year and evaluated in relation to three aspects: population structure for the entire period, temporal variation by month and by length classes. In order to evaluate the statistical significance of differences in gender ratio, the chi-square test was used, for all sampling months. The Kolmogorov and Smirnov test was performed with the objective of assessing whether there were significant statistical differences ($p < 0.05$) between the lengths of males and females measured (Sokal & Rohlf, 1995).

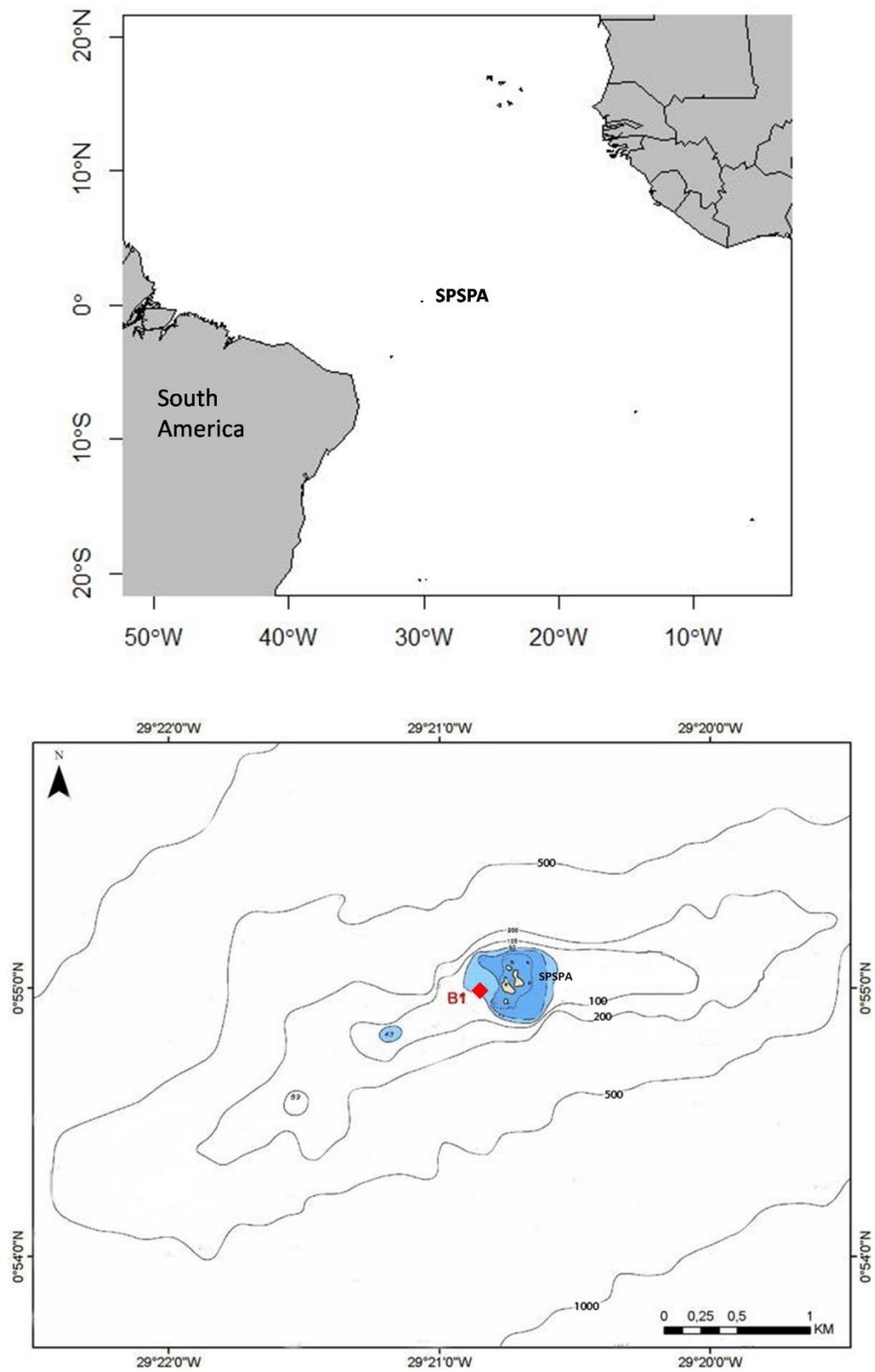


Figure 5. A. Location of the Saint Peter and Saint Paul Archipelago (SPSPA) in Atlantic Ocean; B. Detail of SPSPA with the observation point B1.

Results

Eight-hundred and twenty seven (827) specimens of *Mobula tarapacana* were recorded over the years (from December 2008 to June 2016). In only 361 individuals, however, the sex could be identified. Females were predominant with 215 individuals (59.6%), versus 146 males (40.4%), with a sex ratio of 1.47:1.00, respectively, although the difference was not significantly different ($\chi^2= 3.56$; $p\text{-value}= 0.07$). Females, however, were significantly predominant ($p<0.05$) in March, June, July, September and December. Males were significantly predominant only in October. During February, April and May, the numbers of male and female were not significantly different (Table 1). The large number of individuals with unidentified sex ($n = 466$) was mainly due to the rough sea conditions (eg. large waves and high current speed) and to the short time available during interactions. Additional difficulties were the large number of rays when in groups and the small size of male claspers in individuals of less than 2.50 m of disc width (DW). The DW of the 179 (22%) individuals that could have their size estimated ranged from 2.0 to 3.2m, with an average of 2.6 m for both genders (Figure 3). The DW of males and females were not significantly different (Kolmogorov-Smirnov; $p= 0.40$).

Table 3: Distribution and sex ratio of males (M) and females (F) of *M. tarapacana* sighted between the periods from December 2008 to June 2016 in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago.

Month	F	M	ND	TOTAL	% F	% M	χ^2	p
January	0	0	25	25				
February	10	11	26	47	47.619	52.381	0.2	0.7068
March	42	17	69	128	71.2	28.8	18.0	< 0.0001
April	33	27	58	118	55.0	45.0	1.0	0.3681
May	57	54	123	234	51.4	48.6	0.1	0.8572
June	52	28	93	173	65.0	35.0	9.0	0.0037
July	13	4	50	67	76.5	23.5	28.0	<0.0001
August	3	2	5	10	60.0	40.0	4.0	0.0574
September	1	0	2	3	100.0	0.0	100.0	<0.0001
October	1	2	3	6	33.3	66.7	11.1	0.0012
November	0	0	0	0			100.0	
December	3	1	12	16	75.0	25.0	25.0	<0.0001
TOTAL	215	146	466	827				

One hundred eighty seven groups were observed over the years, with a number of rays ranging from 2 to 24 individuals, and a mean of 4.32 rays per group. The highest frequency of occurrence of large groups was observed in April and May. Individuals who appeared alone totaled 161 records.

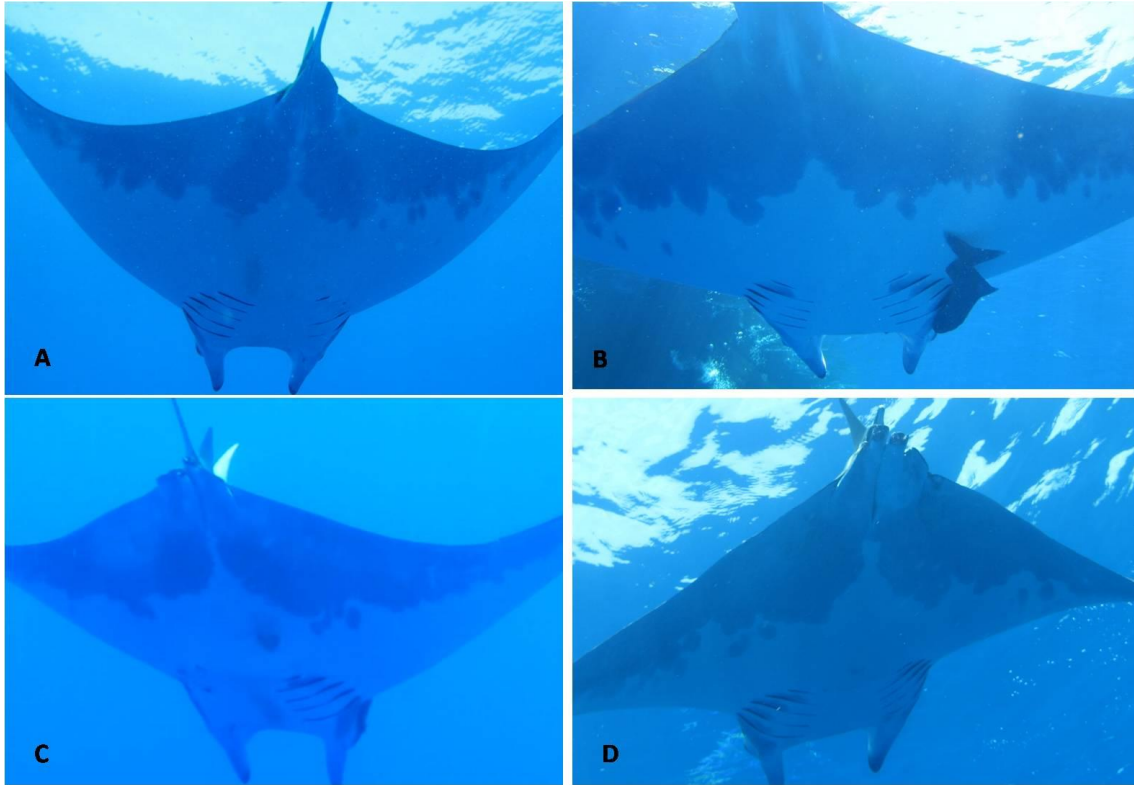


Figure 6. Ventral side of *Mobula tarapacana* highlighting the ventral spots used for photo identification; A and B different female; C and D different males observed in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago.

Through the individual pattern of coloration in the posterior ventral region, it was possible to differentiate and identify 55 individuals (44 females and 11 males) (Figure 2). Between December 2008 and June 2016, there was no visualization of the same individual over the years. However, an individual was sighted with an acoustic tag in 2015, which was last used for tagging in June 2012 (Mendonça et al. 2018, in press). Unfortunately, since the individual did not approach the diver, it was not possible to identify it with greater precision.

In some individuals, recent mating scars were observed, both in males ($n = 7$) and in females ($n = 6$). In males, an excoriation was usually observed at the tip of the claspers (Figure 4b); while females were observed with scars on the pectoral fins and dorso (Figure 4a). These mating scars were always observed in April and/ or May, in 2010 (April), 2014 (April and May); and 2015 (April and May). The months when rays with mating scars were sighted

coincide with the incidence of large groups (April and May). Besides the mating scars, courtship behaviors have also been recorded (n=13) (Figure 4). However, no copulation was observed, probably due to the speed of swimming at the time of court and chase. Females with apparent pregnancies were not seen either, throughout the study.

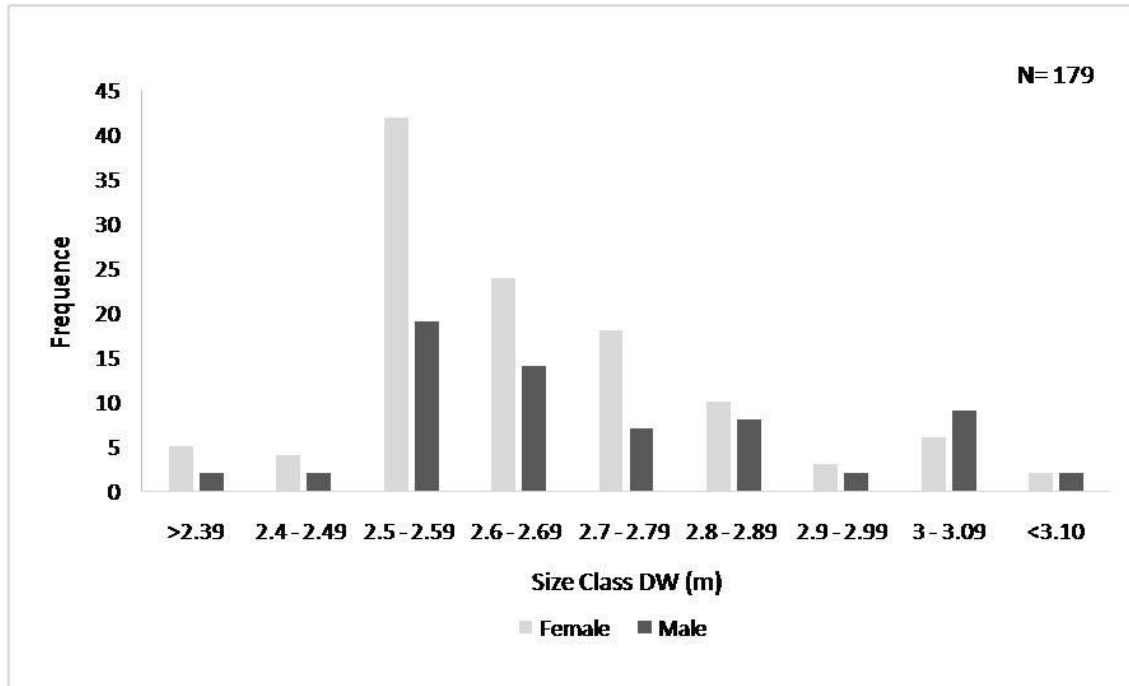


Figure 7. Disk width (DW) frequency distribution of *Mobula tarapacana* observed in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago.

Some individuals of *M. tarapacana* also presented scars of bites made by cookie-cutter sharks (*Isistius* sp.), usually in the dorsal region, and by other sharks or fish, usually in the posterior region of the pectoral fin and pelvic fins (♀=15 and ♂=9).

In addition to intraspecific interactions between *M. tarapacana* and other rays of the same genus, such as *M. thurstoni* and *M. birostris*, were also observed. Other interspecific interactions were recorded with the whale shark *Rhincodon typus*, and with the bottlenose dolphin *Tursiops truncatus*. In these interactions, *M. tarapacana* was usually following the other animals. There was also interaction with the black jack *Caranx lugubris*, which was observed performing the cleaning procedure on the back of *M. tarapacana*.

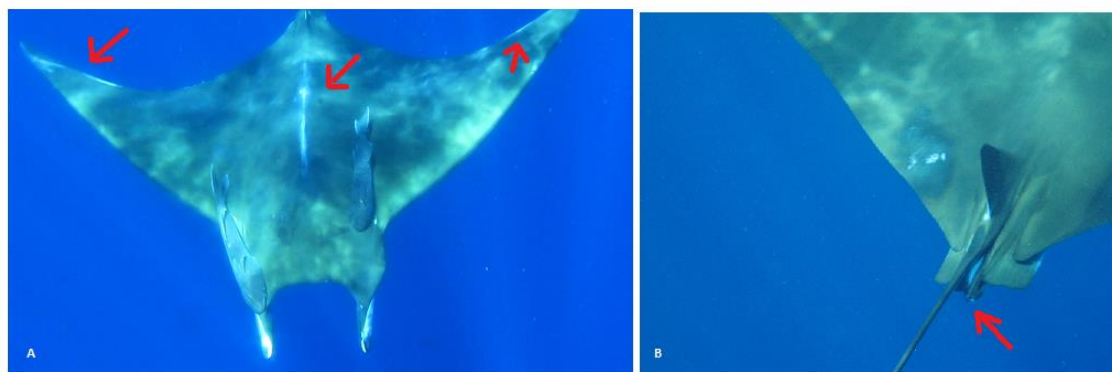


Figure 8. A. Female of *Mobula tarapacana* with mating scars on the tip of pectoral fins and the central region of the dorsal side; and B. Male of *Mobula tarapacana* with mating scars on the tip of clasper observed in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago.

Discussion

The SPSPA has been confirmed as an important aggregation site for sicklefin devil rays, which occurred in the area in all years both solitary, as well as in large groups. Although the sicklefin devil ray has a greater abundance on the island, other specimens of the same genus also tend to frequent the surroundings of SPSPA, suggesting that this area is of great importance to mobulids, in general (Vaske-Jr. et al., 2005; Mendonça et al., 2012). SPSPA has unique oceanographic characteristics, including the occurrence of various phenomena that promote local enrichment, attracting various pelagic species, which use the area for different purposes (feeding, breeding, resting) (Vaske-Jr. et al., 2003; Lessa & Vaske-Jr. 2009; Hazin et al., 2007). Due to its strategic position, between the North and the South Atlantic, and the American and the African continent, the SPSPA exerts an important role in the life cycle and migratory route of various elasmobranchs and bone fish, offering shelter and protection, as well as being a stopping point for feeding during their migration (Macena & Hazin, 2016).

Based on the size at first sexual maturity presented by White et al. (2006), all individuals of *M. tarapacana* observed in the SPSPA were probably adults or sub-adults, which may indicate segregation by size. The predominance of females, in turn, suggests the occurrence of sexual segregation, at least in some months. Several works cite the occurrence of size segregation in elasmobranchs, characterizing it as a survival strategy (Marshall & Bennett, 2010). Sex segregation of mobulids, on the other hand, has also been observed previously (Notarbartolo-di-Sciara, 1988; White et al., 2006; Marshall & Bennett, 2010), although this type of behavior does not seem to be common (Marshall & Bennett 2010).

In addition to the seasonal use of ASPSP as a feeding area for *M. tarapacana*, these data also suggest the species might be using it as a mating ground, since courtship behaviors and recent mating scars were observed in both females and males. In addition to *M. tarapacana*, other species of elasmobranchs also use the area during part of their reproductive cycle, such as *M. thurstoni* (Mendonça et al., 2012), the silk shark (Hazin et al., 2007), and the whale shark (Macena & Hazin, 2016). Unlike *M. thurstoni*, that has been only observed swimming at high speed, *M. tarapacana* seems to swim more slowly, particularly during the courting pursuit, courtship and copulation behavior, as previously described for other mobulids (Yano et al., 1999; Marshall & Bennett, 2010; Deakos, 2011). The recent mating scars observed in the SPSPA between April and May in three different years strengthens the hypothesis that it has an important role in the reproductive cycle of the species, which seems to use the archipelago for both feeding and mating. Considering this is an oceanic species that inhabits oligotrophic waters, reproductive activities are likely linked to food availability and higher temperatures (Hunter & Goldberg, 1980; Hunter & Macewicz, 1985; Branco, 2011; Bezerra, et al., 2013).

Differently from what has been observed for *M. alfredi* in Mozambique and Hawaii, where full term pregnant females are common in the same area where copulation occurs (Marshall & Bennett, 2010; Deakos, 2011), in SPSPA no female appearing to be pregnant has ever been sighted, neither has been any individual smaller than 2.0m. This indicates that parturition and nursery are not happening there. In contrast, in the Azores, in the North Atlantic Ocean, another known area of seasonal aggregation of the species, pregnant females of *M. tarapacana* have been commonly observed during the austral summer (August / September) (Sobral, 2013).

The failure to identify a re-sighting through photo identification could result either from the relatively low number of individuals identified through the ventral pattern or to changes it might naturally suffer in time. Despite no re-sighting was recorded over the years through photo-identification, in 2015, an individual with an acoustic tag applied in 2012 was re-sighted, raising the possibility of site fidelity to the SPSPA. Mendonça et al. (2018 in press), at least in one case, observed the local fidelity behavior through monitoring by acoustic transmitters in which a ray returned to the archipelago two years in a row. Local fidelity has also been observed for other elasmobranchs that occur in SPSPA, such as the hammerhead shark *Sphyrna lewini* (Bezerra, 2017) and the silk shark *C. falciformis* (Lana, 2016).

The present results confirm the Archipelago of Saint Peter and Saint Paul as an important aggregation site for *M. tarapacana* in the equatorial Atlantic Ocean, being used by the species not only for feeding purposes, but also for matting. We hope they may also contribute for the management and conservation of the species.

Acknowledgments

We thank SECIRM and the Brazilian Navy for logistical support; CAPES and CNPq, for the financing of the project and, in the case of CNPq, for also providing a PhD Scholarship to Sibeles A. Mendonça; and to the fishermen of the vessels Transmar I, II and III, for their support during the fieldwork.

References

- Araujo, M. & Cintra, M. (2009). Modelagem matemática da circulação oceânica na região equatorial. In: Viana, D. L., Hazin, F. H. V. & Souza, M. A. C. (Eds.). 10 anos de Programa Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Brasília, DF: SECIRM, 306p
- Bezerra, N. P. A., Fernandes, C. A. F., Albuquerque, F. V., Pedrosa, V., Hazin, F. & Travassos, P. (2013). Reproduction of Blackfin tuna, *Thunnus atlanticus* (Perciformes: Scombridae) in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Equatorial Atlantic, Brazil. *Revista Biologia Tropical* Vol 61(3): 1327-1339
- Bezerra, N. P. A. (2017). Biologia pesqueira dos tubarões martelo (*Sphyrna* spp.) no oceano atlântico sudoeste e equatorial. Tese de doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, PE, Brasil. 129 p.
- Branco, I. S. L. (2011). Biologia reprodutiva do cangulo-preto (*Melichthys niger*, Bloch, 1789) capturado no Arquipélago de São Pedro e São Paulo – Brasil. MSc. Dissertation, Universidade Federal Rural de Pernambuco, PE, Brasil. 75p.
- Castro, A. L. F & Rosa, R. S. (2005). Use of the natural marks on population of the nurse shark, *Ginglymostoma cirratum*, at Atol das Rocas Biological Reserve, Brazil. *Environmental Biology of Fishes* 72: 213–221.
- Compagno, L.J.V. & Last, P.R. (1999). Mobulidae. In: K.E. Carpenter and V.H. Niem (eds) *FAO species identification guide for fishery purposes. The living marine resources of the Western Central Pacific. Volume 3. Batoid fishes, chimaeras and bony fishes part 1 (Elopidae to Linophrynidae)*. FAO, Rome. p. 1524-1529.
- Corcoran, M. J. & Gruber, S. H. (1999). The use of photo-identification to study the social organization of the spotted eagle ray, *Aetobatus narinari*. *Bahamas Journal of Science*, 11/99 p. 21-27

- Croll, D. A., Dewar, H., Dulvy, N. K., Fernando, D., Francis, M. P., Galván-Magaña, F., Hall, M., Heinrichs, S., Marshall, A., Mccauley, D., Newton, K. M., Notarbartolo-Di-Sciara, G., O'Malley, M., O'Sullivan, J., Poortvliet, M., Romam, M., Stevens, G., Tershy, B. R. & White, W. T. (2016). Vulnerabilities and fisheries impacts: the uncertain future of manta and devil rays. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 26(3), 562-575 DOI: 10.1002/aqc.2591
- Couturier, L. I. E., Marshall, A. D., Jaime, F. R. A., Kashiwagi, T., Pierce, S. J., Townsned, K. A., Weeks, J. S., Bennett, M. B. & Richardson, A. J. (2012). Biology, ecology and conservation of the Mobulidae. *Journal of Fish Biology*, 80: 1075-1119.
- Deakos, M. H. (2011). The reproductive ecology of resident manta rays (*Manta alfredi*) off Maui, Hawaii, with an emphasis on body size. *Environ Biology Fish.* DOI 10.1007/s10641-011-9953-5
- Forcada, J. & Aguilar, A. (2000). Use of photographic identification in capture-recapture studies of Mediterranean monk seals. *Mar. Mamm. Sci.* 16: 767-793
- Gadig, O. B. F. & Sampaio, C. L. S. (2002). Ocorrência de *Mobula japanica* no Atlântico Ocidental e *Mobula tarapacana* em águas Brasileiras, com comentários sobre a diversidade de raias manta (Chondrichthyes: Mobulidae) no Brasil. *Arquivos Ciências Marinhas*, Fortaleza, 35: 36-37.
- Hammond, P. S.; Mizroch, S. A. & Donovan, G. P. (1990). Individual recognition of cetaceans: use of photo-identification and other techniques to estimate population parameters. *Rep. Int. Whal. Comm. Spec. Issue* 12.
- Hazin, F. H., Oliveira, P. G., & Macena, B. C. (2007). Aspects of the reproductive biology of the silky shark, *Carcharhinus falciformis* (Nardo, 1827), in the vicinity of Archipelago of Saint Peter and Saint Paul, in the equatorial Atlantic Ocean. *Collective Volume of Scientific Papers: ICCAT*, 60, 648-651.
- Heinrichs S, O'Malley MP, Medd H, Hilton P. (2011). The global threat to Manta and Mobula Rays. *Manta Ray of Hope*, Wild Aid, San Francisco, California.
- Hunter, J. & Goldberg, S. (1980). Spawning incidence and batch fecundity in northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Fish. Bull.* 77: 641-652
- Hunter, J. & Macewicz, B. J. (1985). Measurement of spawning frequency and bath fecundity in multiple spawning fishes, p. 79-94. In Lasker, R. (ed.). *An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the Northern anchovy, Engraulis mordax*. NOAA Tech. Rep. NMFS. La Jolla, California, USA
- Lamilla, J. & Sáez, S. (2003). Clave taxonómica para el reconocimiento de especies de rayas chilenas (Chondrichthyes, Batoidei). *Invest. Mar., Valparaíso*, 31(2): 3-16.
- Lana, F. O. (2016). Morfologia, Identificação Molecular e Movimentação do Tubarão lombo-preto, *Carcharhinus falciformis* (Bribon, 1939), no Atlântico Oeste Tropical. PhD Thesis Universidade Federal Rural de Pernambuco, PE, Brasil.
- Lessa, R. & Vaske-Jr., T. (2009). A ictiofauna com ênfase aos peixes-voadores (Exocoetidae) In: Viana, D. L., Hazin, F. H. V. & Souza, M. A. C. (Eds.). *10 anos de Programa Arquipélago de São Pedro e São Paulo*. Brasília, DF: SECIRM, 306p.

- Luiz-Jr, O. J., Balboni, A. P., Kodja, G., Andrade, M. & Marum, H. (2009). Seasonal occurrences of *Manta birostris* (Chondrichthyes: Mobulidae) in southeastern Brazil. *Ichthyology Research*, 56:96–99
- Macena, B. C. L. & Hazin, F. H. V. (2016). Whale Shark (*Rhincodon typus*) seasonal occurrence, abundance and demographic structure in the Mid-Equatorial Atlantic Ocean. *PLoS One* doi:10.1371/journal.pone.0164440
- Marshall, A. & Bennett, M. B. (2010). Reproductive ecology of the reef manta ray *Manta alfredi* in southern Mozambique. *Journal of Fish Biology* 77, 169–190
- Mendonça S. A. (2011). Abundância Relativa, Sazonalidade e Comportamento de *Mobula tarapacana* (Philippi 1892) (Condriichthyes: Mobulidae) no Arquipélago de São Pedro e São Paulo-Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco.
- Mendonça, S. A., Macena, B. C. L., Creio, E., Viana, D. L., Viana, D. F. & Hazin, F. H. V. (2012). Record of a pregnant *Mobula thurstoni* and occurrence of *Manta birostris* (Myliobatiformes: Mobulidae) in the vicinity of Saint Peter and Saint Paul Archipelago (Equatorial Atlantic). *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 7(1): 21-26
- Mendonça, S. A., Macena, B. C. L., Afonso, A. S. & Hazin, F. H. V. (2018). Seasonal aggregation and diel activity by the sicklefin devil ray *Mobula tarapacana* (Philippi, 1892) off a small, equatorial outcrop of the mid-Atlantic Ridge
- Molinari R. L., Garzoli, S. L., Katz, E. J., Harrison, D. E., Richardson, P. L. & Reverdin, G. (1986). A synthesis of the First GARP Global Experiment (FGGE) in the equatorial Atlantic Ocean. *Prog Oceanogr.*; 16: 91± 112. doi: 10.1016/0079-6611(86)90008-x
- Notarbartolo-Di-Sciara, G., (1987). A revisionary study of the genus *Mobula* Rafinesque, 1810 (Chondrichthyes: Mobulidae) with the description of a new species. *Zool. J. Linn. Soc.* 91(1):1-91.
- Notarbartolo-Di-Sciara, G.(1988). Natural history of the rays of the genus *Mobula* in the Gulf of California. *Fishery Bulletin*, 86, 45-66.
- O'Malley M. P., Townsend, K. A., Hilton, P., Heinrichs, S. & Sterwart, J. D. (2017). Characterization of the trade in manta and devil ray gill plates in China and South-east Asia through trades surveys. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 27:394-413.
- Sichel, S. E., Esperança, S., Motoki, A., Maia, M., Horan, M. F., Szatmari, P., Alves, E. C. & Mello, S. L. M. (2008). Geophysical and geochemical evidence for cold upper mantle beneath the equatorial Atlantic Ocean. *Revista Brasileira de Geofísica*, 26(1): 69-86
- Sobral, A. F. L.(2013). Biology, ecology and conservation of Mobulidae rays in the Azores. Thesis of Master of Science, University of the Azores.79 p.
- Sobral, A. F. & Afonso, P. (2014). Occurrence of mobulids in the Azores, central North Atlantic. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 94(8), 1671-1675.
- Stramma, L. & England, M. (1999). On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical research*, 104 (9), 20863-20883
- Thorrold, S. R., Afonso, P., Fontes, J., Braun, C. D., Santos, R. S., Skomal, G. B., & Berumen, M. L. (2014). Extreme diving behavior in devil rays links surface waters and the deep ocean. *Nature Communications*, 5.

Vaske-Jr. T., Lessa, R. P. & Vooren, C. M. (2003). Feeding strategy of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*), and wahoo (*Acanthocybium solandri*) in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Brazil. *Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo*, 29(1): 173-181

Vaske Jr, T., Lessa, R. P., Nóbrega, M., Montealegre-Quijano, S., Marcante-Santana, F. & Bezerra-Jr., J. L. (2005). A checklist of fishes from Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Brazil *Journal Applied Ichthyology*, 21, 75–79.

White, T. W., Giles, J., Dharmadi, Potter, I. C. (2006) Data on the bycatch fishery and reproductive biology of mobulid rays (Myliobatiformes) in Indonesia. *Fisheries Research* 82, 65-73.

Yano, K., Sato, F. & Takahashi, T. (1999). Observation of mating behavior of the manta ray, *Manta birostris*, at the Ogasawara Islands, Japan. *Ichthyological Research*. 46, 289-296.

Electronic reference

Pardo, S.A., Walls, R.H.L. & Bigman, J.S. (2016). *Mobula tarapacana* (errata version published in 2016). The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T60199A121705844. Downloaded on **21 February 2018**.

5 DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS E COMPORTAMENTO DE MERGULHO DE *Mobula tarapacana* NO OCEANO ATLÂNTICO EQUATORIAL

Sibele Alves de Mendonça^{1,2}, Bruno César Luz Macena¹, Ramón Bonfil³ & Fabio Hissa Vieira Hazin^{1,2}

¹ Laboratório de Oceanografia Pesqueira- LOP/Departamento de Pesca e Aquicultura- DEPAq/Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE. Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, campus universitário, Dois Irmãos. CEP- 52171-900 Recife, PE, Brasil.

² Departamento de Oceanografia - Universidade Federal de Pernambuco – UFPE – Cidade Universitária, Recife, PE, Brasil.

³ Océanos Vivientes A.C. México City, México.

Resumo

Com o objetivo de identificar a preferência de temperatura e os deslocamentos horizontal e vertical das raias manta chilena no Atlântico equatorial, nove espécimes (7 fêmeas e 2 machos), com largura de disco variando de 2.0 m a 2.8 m, foram marcadas com transmissores PSAT entre Março de 2010 e Maio de 2015, por meio de mergulho livre) nas imediações do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP). Das 9 raias marcadas com transmissores PSATs, apenas uma não transmitiu nenhum dado por motivo desconhecido. O Período de monitoramento variou de 5 a 134 dias. Foram observados mergulhos frequentes tanto durante o dia quanto durante a noite, em profundidades visitadas variaram desde a superfície até o máximo de 1.776 m (média= 83,98). Durante o dia as raias apresentaram uma maior frequência de mergulhos e passaram a maior parte do tempo entre 100 e 300m de profundidade. Já no período noturno elas apresentaram uma frequência menor de mergulhos, permanecendo a maior parte do tempo acima dos 80m de profundidade. As raias apresentaram uma maior preferência por águas com temperaturas entre 24°C e 26°C, apesar de fazerem mergulhos até águas com temperaturas próximas de 4.8°C. É possível que o movimento circadiano exibido pelas raias marcadas com PSAT esteja relacionado com a alimentação em profundidade (*deep scattering layer*- DSL) nas proximidades do ASPSP. A distância entre o ponto de marcação das raias nas proximidades do Arquipélago de São Pedro e São Paulo e o ponto de soltura das marcas (pop-up) em linha reta variou de 71,6 km a 2.085,0 km.

Palavra-chave: Monitoramento via satélite; Mobulidae; deep dive.

Introdução

A raia manta chilena, *Mobula tarapacana* (Philippi, 1892), pertencente à família Mobulidae, apresenta uma ampla distribuição geográfica, ocorrendo em todos os oceanos tropicais. É uma espécie principalmente oceânica, embora também ocorra próximo à costa (Notarbartolo-Di-Sciara, 1987). Apesar de serem animais solitários, em algumas ocasiões formam grupos, principalmente quando próximos de ilhas ou bancos oceânicos, onde costumam se concentrar, alimentando-se de pequenos peixes e crustáceos planctônicos (Notarbartolo-Di-Sciara, 1988). Apesar de serem observadas se alimentando próximo à superfície (Mendonça, 2011), também forrageiam organismos planctônicos em grandes profundidades (Rohner et al., 2017). Em estudos anatômicos de *M. tarapacana*, foi descoberto que a mesma possui um sistema vascular de contra-corrente (*rete mirabile*) nas nadadeiras peitorais e cabeça, indicando uma alta capacidade de termorregulação (Alexander, 1995; Alexander, 1996; Schweitzer & Notarbartolo-di-Sciara, 1986). Em razão desse aparato fisiológico de termorregulação, a espécie consegue realizar mergulhos a grandes profundidades, ultrapassando os 1.000 m de profundidade e tolerando, assim, uma grande amplitude de temperatura e pressão, além de baixas taxas de oxigênio dissolvido (Thorrold et al., 2014)

Atualmente são conhecidas três áreas de agregações da espécie no mundo, duas das quais no Oceano Atlântico, uma localizada no Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP, Brasil), onde são abundantes entre janeiro e junho (período de maior disponibilidade de alimento) (Mendonça et al., 2018a), com evidências de potencial área de cópula (Mendonça et al. 2018b), e outra na região dos Açores, no verão boreal (Sobral & Afonso, 2013), onde há registros de fêmeas prenhes (Sobral, 2013). A terceira área localiza-se nas Ilhas Cocos, no Oceano Pacífico (Pardo et al., 2016). No Atlântico, existe o registro de ocorrência da espécie ainda no mar Caribenho da Venezuela (Notarbartolo & Hillyer, 1989), Suriname (Boer et al. 2015), Cabo Verde, Senegal, Angola, Libéria, Serra Leoa, Guiné Bissau, e Costa do Marfim (Amandè et al. 2010; Amandè et al. 2011). No Brasil, a ocorrência da espécie apenas foi registrada em áreas oceânicas no norte e nordeste, em bancos e ilhas (Gadig & Sampaio, 2002). Um estudo recente mostrou que *M. tarapacana* pode viajar grandes distâncias (3.800 km) em poucos meses em águas oligotróficas (Torrold et al., 2014), caracterizando-a, portanto, como uma espécie altamente migratória.

O monitoramento por satélite tem se constituído em um método bastante eficaz de estudo dos processos migratórios e deslocamentos verticais de diversas espécies marinhas, incluindo os atuns (Block et al., 1998, 2001; Lutcavage et al., 1999; Sibert et al., 2003; Teo et al., 2007), os agulhões (Graves et al., 2002; Kerstetter et al., 2003; Goodyear et al., 2006), os tubarões (Sims et al., 2003; Bonfil et al., 2005; Weng et al., 2005; Stokesbury et al., 2005, Macena, 2016; Tolloti et al., 2015) e as raias (Canese et al. 2011; Croll et al. 2012; Graham et al. 2012; Vêras, 2012; Torrold et al. 2014; Branco-Nunes et al. 2015; Francis & Jones 2017).

Devido às suas características biológicas como uma espécie k-estrategista (crescimento lento, baixa fecundidade e maturação tardia) e ao aumento da sua pesca em anos recentes, em razão do crescimento da demanda no mercado asiático por seus arcos braquiais, motivado pela crença de que seriam medicinais, as populações dessas raias têm sofrido reduções importantes em todo mundo (Heinrichs et al., 2011, Couturier et al., 2012, Croll et al., 2015, O'Malley, et al., 2017). Por essa razão, os mobulídeos foram classificados como vulneráveis na lista vermelha da IUCN (Pardo et al., 2016), tendo sido inseridos, em 2017, no Apêndice 2 da CITES (*Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*). Conhecer os processos migratórios e o uso do habitat pela espécie, portanto, poderá ajudar no seu manejo e conservação. O presente estudo tem como objetivo, portanto, descrever os deslocamentos verticais e horizontais e avaliar o comportamento migratório da espécie, com relação às profundidades e temperaturas experimentadas por espécimes de *Mobula tarapacana* marcadas com transmissores via satélite, a partir de uma área de agregação no oceano Atlântico equatorial (ASPSP).

Material e Métodos

Nove raias manta chilena (7 fêmeas e 2 machos), com largura de disco variando de 2,0 m a 2,8 m, foram marcadas com transmissores PSAT (MK10 e MiniPat), entre Março de 2010 e Maio de 2015 (Tabela I), por meio de mergulho livre (não tendo sido necessária a captura dos espécimes), nas imediações do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) (Fig 1). Para fixação do transmissor foi utilizada uma lança de fibra de carbono de 115 cm de comprimento, com um aplicador em aço inoxidável de 10 cm fixado em uma das extremidades.

Este tipo de transmissor eletrônico (MK10 e Minipat) coleta dados acerca da luminosidade, pressão e temperatura da água adjacente à raia enquanto estiver fixado à mesma.

A marca PSAT foi pré-programada para coletar os dados a cada 1 segundo e para sumarizar os mesmos em intervalos de 4 h, por um prazo de 90, 120, 180, 270 e 365 dias. Alguns transmissores possuíam a função ‘série-temporal’ (time-series) que permite a coleta de dados em alta resolução acerca da profundidade e temperatura a cada 10min (R03, R04, R07, R09), a cada 5min (R8) e a cada 2,5min (R05 e R06). Os dados recebidos pelo sistema Argos de satélites foram decodificados seguindo o protocolo disponibilizado pelo fabricante do transmissor (*Wildlife Computers*, WA, EUA), através do programa WC-DAP.

Análise dos dados

Movimentação vertical

Os dados foram organizados em histogramas de tempo gasto (%) em cada profundidade e temperatura em relação aos diferentes períodos do dia (Dia 6:00am-5:59pm; e noite 6:00pm-5:59am; GMT-2). Os perfis de profundidade e temperatura da água experimentadas pelas raias monitoradas foram sumarizados a cada 4 horas.

Os perfis de deslocamento vertical foram analisados para cada hora (24 horas), a fim de investigar diferenças nos padrões diários de movimentação vertical apenas para as raias que foram marcadas com transmissores que possuíam a função ‘série-temporal’, i.e. que coletam dados sobre temperatura e profundidade em alta resolução (R4, R5, R6, R7, R8 e R9).

Todos os mergulhos superiores a 750m foram considerados profundos e divididos quanto aos períodos circadianos Diurno (6:00am-5:59pm) e Noturno (6:00pm-5:59am). Os mergulhos foram analisados em função do tempo de duração, iniciando na menor profundidade que antecede o mergulho, registrando-se o tempo de descida, de permanência na máxima profundidade alcançada e de subida.

Movimentação horizontal

Para estimar a geolocalização foram utilizados dados de luminosidade calculados inicialmente através do software WC-GPE (www.wildlifecomputers.com). Entretanto, mesmo após este procedimento, as localizações de latitude ainda permanecem com um elevado erro e necessitaram de um refinamento. Para reduzir os erros de latitude foram utilizados modelos *Kalman filter* de estado-espço (*state-space models*), utilizando-se o pacote kftrack (Sibert et al., 2002; Nielsen & Sibert, 2007). Adicionalmente, para corrigir as localizações geográficas estimadas na área continental, foi utilizado um filtro batimétrico que limita as posições baseado na máxima profundidade diária, utilizando o pacote *analyzePsat* (Gaulard et al., 2010). A velocidade de natação, em quilômetros por dia (km/dia) foi calculada a partir da distância, em

linha reta, entre o ponto de marcação e o ponto de soltura do transmissor. Todas as análises foram realizadas no programa R (R Development Core Team, 2008).

Resultados

Movimento vertical

Das nove (9) raias marcadas, apenas uma (R03) não transmitiu nenhum dado por motivo desconhecido. O período de monitoramento variou de 5 a 134 dias. Foram observados mergulhos freqüentes, tanto durante o dia quanto durante a noite, em profundidades que variaram desde a superfície até o máximo de 1.776 m (média= 83,98). Durante o dia, as raias apresentaram um maior número de mergulhos e passaram a maior parte do tempo entre 25 m e 200m de profundidade (37,3%). Já no período noturno, a frequência de mergulhos foi menor, com as raias tendo permanecido a maior parte do tempo acima dos 80m de profundidade (38,3%). As raias apresentaram uma maior preferência por águas com temperaturas entre 25°C e 27°C, permanecendo nessa faixa de temperatura durante 32% do tempo, à noite, e 22% do tempo, durante o dia, apesar de realizarem mergulhos até águas com temperaturas próximas de 4.8°C. O tempo despendido no ambiente mesopelágico (> 200 m) foi de 3.4%, durante a noite, e de 8.6%, durante o dia, enquanto o tempo gasto no ambiente batipelágico (> 1,000 m) foi de 0.1% durante o dia e 0.2% durante a noite (Fig. 2).

Em relação ao ciclo circadiano, as raias realizaram mergulhos mais profundos durante o dia, nos horários mais quentes (entre 8h da manhã e 18h), reduzindo a frequência de mergulho e a amplitude da profundidade a partir das 19h e permanecendo em profundidades menores durante a noite (Fig. 3).

Os mergulhos ao ambiente mesopelágico ocorreram em geral, em dias alternados, com as raias realizando diversos mergulhos em um determinado dia e não mergulhando nessas profundidades no dia seguinte. Esse comportamento se repetiu durante todo o período de monitoramento para todas as raias (Figs. 4, 5, 6 e 7; Sup. 9 e 10). Somente a R6, no final do período de monitoramento, nos meses de agosto e setembro, realizou incursões ao ambiente mesopelágico em dias consecutivos (Figs. 5; Sup. 9). Com exceção das raias R6 e R8, todas as demais raias marcadas (R1, R2, R4, R5, R7 e R9) realizaram incursões ao ambiente batipelágico (Figs. 4, 5, 6 e 7; Sup. 9 e 10). A R9 mostrou um comportamento de mergulho diferente no final do monitoramento, na costa Norte do Brasil (entre os dias 04/07/2015 a 13/07/2015),

permanecendo durante esse período entre as profundidades de 225 m e 268 m, com média de 257,8m. Após esse período houve o desprendimento prematuro da marca (Fig. 7; Sup. 11).

Ao todo foram verificados 13 mergulhos profundos (acima de 750 m), considerando-se todas as raias, sendo oito (8) durante o dia e cinco (5) à noite. A R7 realizou a maior quantidade de mergulhos profundos, três dos quais noturnos, com um deles atingindo a profundidade de 1.397m, e 4 diurnos, com um mergulho atingindo 1.606m de profundidade e 4.8°C de temperatura. A R9 fez dois mergulhos profundos durante a noite, um chegando a 1.169m e outros dois, durante o dia, alcançando 1.517m e 1.158m e temperaturas de 4.8°C. R4 fez apenas um mergulho profundo, durante o dia e próximo ao ASPSP, alcançando a marca de 1.158m, e nenhum durante a noite. R5 fez dois mergulhos profundos durante o dia. Todos os mergulhos profundos foram antecidos por um período de permanência em águas superficiais com temperaturas próximas à 27°C. O tempo de duração dos mergulhos profundos variou de 80 a 220 minutos (média=133 e desv.pad=±42.5) e ao atingirem a profundidade máxima permaneceram de 10 a 30 minutos (média = 20 min, desv.pad=±8.16). O tempo de descida variou de 20 minutos a 90 minutos (média= 47.27 e desv.pad=±20.53) e o de subida entre 40 minutos e 100 minutos (média=56.92 e desv.pad=±16.01) (Fig. 8).. Os mergulhos profundos noturnos ocorreram apenas nas luas crescente e cheia, já os mergulhos profundos diurnos ocorreram em todas as fases da lua.

Movimentação horizontal

A distância entre o ponto de marcação das raias nas proximidades do Arquipélago de São Pedro e São Paulo e o ponto de soltura da marca (pop-up) em linha reta variou de 71,6 km a 2.085,0 km. Das oito raias marcadas que transmitiram sinal, quatro (R5, R6, R7 e R9), todas fêmeas, migraram inicialmente para oeste a partir do ASPSP, em direção à foz do Rio Amazonas. As outras duas fêmeas (R1 e R2) tiveram um período de monitoramento muito curto (20 e 5 dias, respectivamente), com a soltura da marca ocorrendo ainda perto do ASPSP (Fig. 9). A R5, fêmea, teve o ponto de desprendimento a 101 km de distância do ASPSP, após ter viajado até a costa norte do Brasil, próximo ao Amazonas, e retornado em direção ao ASPSP, com todo esse percurso tendo durado 90 dias (Fig. 10, Sup. 16). A R6, de maneira similar, depois de migrar para oeste, também até a proximidade da foz do Amazonas, inverteu o sentido do seu movimento, migrando para leste, até a posição de 3.796° N e -22.2189° W, onde ocorreu a soltura da marca, 122 dias depois da sua fixação ao animal (Fix. 11). A R7, da mesma forma, também se deslocou primeiramente até a foz do Amazonas, invertendo, na sequência, o sentido

do seu movimento em direção ao ASPSP, com a soltura da sua marca tendo ocorrido nos bancos da Cadeia Norte Brasileira, ao norte do Estado do Rio Grande do Norte (Fig. 10). Por fim, a R9 percorreu uma distância de, no mínimo, 2.085km em 41 dias (50.85 km/dia), com a marca tendo se desprendido na proximidade da foz do Amazonas (Fig. 11). A única raia a migrar inicialmente na direção leste foi a R4, com o desprendimento do transmissor tendo ocorrido a 920 km de distância, em linha reta, do ASPSP (Figs. 4 e 11; Tabela 1), próximo do ponto de desprendimento da R6 e do local de soltura do transmissor de uma raia marcada nos Açores, Portugal (Fig. 1).

Discussão

Na região equatorial as raias marcadas mostraram uma preferência por águas quentes, passando a maior parte do tempo em temperaturas entre 25° e 28°C, embora tenham realizado algumas incursões a águas mais frias no ambiente mesopelágico e batipelágico, em temperaturas de até 4.8°C. Mesmo comportamento foi encontrado para *M. tarapacana* marcadas na região dos Açores, no oceano Atlântico Norte, próximo a 40°N (Thorrold et al., 2014). As raias marcadas mostraram uma preferência pela camada de mistura durante a noite, apesar de fazerem incursões na termoclina, que no atlântico equatorial fica entre 80 e 150m de profundidade. Durante o dia utilizaram uma faixa maior de profundidade, oscilando entre a camada de mistura, a termoclina e a camada abaixo da termoclina. O comportamento de permanecer a maior parte do tempo acima da termoclina foi observado para *M. japanica* no oceano Pacífico (Croll et al., 2012) e *M. mobular* no Mar Mediterrâneo (Canese et al., 2011). Já *M. alfredi*, no Mar Vermelho, na Arábia Saudita, passou a maior parte do tempo em águas acima de 50m de profundidade, realizando mergulhos esporádicos no ambiente demersal, mas não ultrapassando os 432m (Braun et al., 2014).

M. tarapacana apresentou um marcante movimento circadiano com menores movimentos verticais durante a noite e uma maior amplitude de movimento durante o dia, frequentando o ambiente mesopelágico. Esse aumento na amplitude pode estar relacionado com a movimentação vertical do zooplâncton (mais profundo durante o dia e mais raso durante a noite). Essa diferença na amplitude de movimentação vertical diária também foi observada para *M. japanica* (Francis & Jones, 2017). Apesar de serem avistadas usualmente se alimentando próximo da superfície no ASPSP (Mendonça et al., 2018a), é provável que esses mergulhos constantes ao ambiente mesopelágico estejam relacionados com a alimentação. Estudos

anatômicos de *M. tarapacana* mostraram que a mesma possui um sistema vascular de contra-corrente nas nadadeiras peitorais e cabeça, o que indica uma capacidade de termorregulação (Schweitzer & Notarbatolo-di-Sciara, 1986; Alexander, 1995; Alexander, 1996), permitindo, conseqüentemente, que a espécie possa realizar mergulhos em águas bem mais profundas, com finalidade trófica, a exemplo de outros grupos taxonômicos que dispõem de aparato fisiológico análogo (escombrídeos, laminídeos, etc.). Apesar de terem essa capacidade, porém, as raias não realizam mergulhos ao ambiente mesopelágico todos os dias, mas em dias alternados. Tal comportamento parece corroborar a hipótese de finalidade trófica do mergulho, estando possivelmente associado à periodicidade alimentar da espécie. Thorrold et al. (2014) também defendem a hipótese de que esses mergulhos profundos tenham fins tróficos, devido à grande velocidade de descida e por ocorrerem em áreas oceânicas, usualmente oligotróficas.

No Oceano Atlântico Norte os mergulhos profundos de *M. tarapacana* apresentaram dois padrões, um com média de 130 minutos de duração e outro com duração acima de 4 horas, podendo chegar até 11h em profundidades acima dos 1.000 m. Já no presente estudo, na região equatorial, as raias manta chilenas marcadas apresentaram apenas o primeiro padrão de mergulho profundo, de menor duração, não tendo sido observados mergulhos profundos ultrapassando 220 minutos. Da mesma forma que no comportamento descrito pelos autores citados, porém, a velocidade de mergulho foi maior do que a de subida (20-90 minutos x 40-100 minutos), possivelmente em razão da redução do metabolismo causada pelo tempo de permanência em águas mais frias.

Além de frequentar o ambiente mesopelágico, as raias também realizaram mergulhos batipelágicos, até aproximadamente 1.200m de profundidade. Esses mergulhos profundos parecem ser uma característica de algumas espécies com hábitos oceânicos da família Mobulidae, conforme observado para *M. mobular*, no Mar Mediterrâneo, que realizou um mergulho de até 700m (Canese et al., 2011), e também para *M. japanica*, que mergulhou a 1.000m, na Nova Zelândia (Francis & Jones, 2017).

Das 7 raias marcadas cujos transmissores enviaram dados de posição geográfica, duas permaneceram na proximidade do Arquipélago, uma migrou para o leste, e quatro migraram inicialmente em direção oeste, a partir do ASPSP, se aproximando da costa norte do Brasil, das quais três realizaram um movimento de retorno em direção ao leste. As raias marcadas percorreram grandes distâncias (acima 2000 km) em poucos dias, comportamento já observado anteriormente por Thorrold et al. (2014), para a mesma espécie, e para outros Mobulídeos

(Crow, et al. 2012; Francis & Jones, 2017). A sincronia entre os movimentos em larga escala de *M. japonica* e a variação sazonal de disponibilidade de alimento foi muito bem explicada tanto no oceano Pacífico leste (Croll et al., 2012) como sudoeste (Francis & Jone, 2017). Para *M. tarapacana* esse comportamento de viajar grandes distâncias pode não estar somente relacionado com a disponibilidade de alimento, mas também ao ciclo reprodutivo da espécie. Além disso, é bem possível que as *M. tarapacana* na região equatorial também tenham o seu padrão de movimentação influenciado pelo sistema equatorial de correntes. Na região equatorial o ambiente pelágico é influenciado pela Corrente Sul Equatorial (CSE), na superfície, que se desloca no sentido leste-oeste, e pela Corrente Equatorial Submersa (CES), no ambiente mesopelágico, até aproximadamente 500m de profundidade, que se desloca no sentido oeste-leste, com origem na corrente norte do Brasil (NBC), nas imediações na foz do Amazonas (Stramma & England, 1999). Da mesma forma que a Contracorrente Norte Equatorial, no sentido oeste-leste, entre 3° e 10°N. Como o período de maior abundância das raias manta chilenas situa-se entre abril e maio, considerando-se o tempo de deslocamento entre o ASPSP e a costa norte do Brasil, a migração de retorno em direção ao leste ocorreria principalmente a partir de junho, quando se intensifica também todo o sistema equatorial de correntes. As raias, assim, estariam utilizando as correntes marinhas no seu deslocamento, como forma de economizar energia em um ambiente reconhecidamente oligotrófico. O deslocamento da R6, por exemplo, até a costa do Brasil deve ter sido facilitada pela Corrente Sul Equatorial, enquanto a sua trajetória de retorno parece coincidir exatamente com o eixo da Contra Corrente Norte Equatorial, entre 3° e 10°N. Já a trajetória de retorno da R5 parece coincidir exatamente com a Corrente Equatorial Submersa, ao longo da linha do equador, passando exatamente em cima do ASPSP.

O comportamento de duas raias (R5, R7) de viajarem até a costa Norte do Brasil e de retornarem em direção leste, rumo ao ASPSP, após um curto período de tempo, indicam que o ASPSP pode exercer uma influência importante no ciclo migratório dessa espécie, constituindo-se em um importante local de agregação. Esse comportamento de retorno ao ASPSP também foi observado para um exemplar de *M. tarapacana* monitorada com transmissores acústicos (Mendonça et al., 2018a), que retornou em duas diferentes oportunidades ao ASPSP, depois da sua marcação, após 10 e 6 meses, respectivamente. Esse comportamento de fidelidade ao ASPSP também já foi observado para outros elasmobrânquios como o tubarão martelo (Bezerra, 2017) e o tubarão lombo-preto (Lana, 2016).

O fato de duas raias marcadas, R4 e R6, terem o seu ponto de pop-up próximo ao local de soltura de uma raia marcada nos Açores, Portugal (Thorrold et al. 2014), aliado ao fato de não existirem barreiras físicas e que o período de agregações nas únicas áreas do oceano Atlântico ocorrem justamente em períodos diferentes (primeiro semestre do ano no ASPSP e agosto e setembro nos Açores), mostra que a espécie em estudo pode pertencer a uma única população que realiza diferentes etapas do seu ciclo de vida em diferentes áreas do Atlântico.

O conhecimento dos padrões espaciais de deslocamento e uso do habitat pela *M. tarapacana*, aqui descritos, é fundamental para o manejo e conservação da espécie, contribuindo, entre outros aspectos, para o desenvolvimento de estratégias capazes de melhor conhecer a condição de suas populações e de reduzir a sua interação com a pesca.

Agradecimentos

Agradecemos à SECIRM e Marinha do Brasil pelo apoio logístico; a CAPES, Save your Seas Foundation e ao CNPq pelo financiamento do projeto e pela bolsa fornecida durante o doutorado de Sibeles A. de Mendonça; a toda a tripulação dos Barcos Transmar I, II e III pelo apoio nos trabalhos de campo.

Referências

- Amandè, M. J., Ariz, J., Chassot, M., Chavance, P., Molina, D., Gaertner, H., Murua, R., Pianet, and Ruiz, J. (2010). By-catch and discards of the European purse seine tuna fishery in the Atlantic Ocean. Estimation and characteristics for the 2003-2007 period. Aquatic Living Resources, Vol. 23, Issue 04, pp.353-362.
- Amandè, M. J., Ariz, J., Chassot, M., Chavance, P., Molina, D. M., Gaertner, D., Murua, H., Pianet, R., Ruiz, J. (2011). By-Catch and Discards of the European Purse Seine Tuna Fishery in the Atlantic Ocean: Estimation and Characteristics For 2008 And 2009.
- Bezerra, N. P. A. (2017). Biologia pesqueira dos tubarões martelo (*Sphyrna* spp.) no oceano atlântico sudoeste e equatorial. Tese de doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, PE, Brasil. 129 p.
- Block, B. A.; Dewar, H.; Farwell, C.; Prince, E.D. 1998. A new satellite technology for tracking the movement of Atlantic bluefin tuna. Proceedings of the National Academy of Science, v. 95: 9384-9389p.
- Block, B.A.; Dewar, H.; Blackwell, S.B.; Williams, T.; Prince, E.; Boustany, A.M.; Farwell, C.; Fudge, D.J.; Seitz, A. 2001. Migratory movements, depth preferences and thermal biology of atlanticbluefin tuna. Science, v. 293: 1310–1314p
- Bonfil, R.; Meyer, M.; Scholl, M.C.; Johnson, R.; O'brien, S.; Oosthuizen, H.; Swanson, S.; Kotze, D.; Paterson, M. 2005. Transoceanic migration, spatial dynamics, and population linkages of white sharks. Science, v. 310: 100-103p

- Boer, M. N., Saulino, J. T. & Notarbartolo-di-Sciara, G. 2015. New records of whale shark (*Rhincodon typus*), giant manta ray (*Manta birostris*) and Chilean devil ray (*Mobula tarapacana*) for Suriname. Marine Biodiversity Records. Vol.8, e10doi:10.1017/S1755267214001432
- Braun, C. D., Skomal, G. B., Thorrold, S. R., Berumen, M. L. 2014. Diving Behavior of the Reef Manta Ray links coral reefs with adjacent deep pelagic habitats. PLoS ONE 9(2): e88170. doi:10.1371/journal.pone.0088170v
- Canese, S., Cardinali, A., Romeo T., Giusti, M., Salvati, E., Angiolillo, M., Greco, S., 2011. Diving behavior of the giant devil ray in the Mediterranean Sea. Endang Species Res 14: 171–176
- Couturier, L. I. E., Marshall, A. D., Jaine, F. R. A., Kashiwagi, T., Pierce, S. J., Towns, K. A., Weeks, J. S., Bennett, M. B. & Richardson, A. J. (2012). Biology, ecology and conservation of the Mobulidae. Journal of Fish Biology, 80: 1075-1119.
- Croll, D. A., Newton, K. M., Weng, K., Galván-Magaña, F., O'sullivan, J., Dewar, H. 2012. Movement and habitat use by the spine-tail devil ray in the Eastern Pacific Ocean. Marine Ecology Progress Series.465: 193–200.
- Croll, D. A., Dewar, H., Dulvy, N. K., Fernando, D., Francis, M. P., Galván-Magaña, F., Hall, M., Heinrichs, S., Marshall, A., Mccauley, D., Newton, K. M., Notarbartolo-Di-Sciara, G., O'Malley, M., O'Sullivan, J., Poortvliet, M., Romam, M., Stevens, G., Tershy, B. R. & White, W. T. (2016). Vulnerabilities and fisheries impacts: the uncertain future of manta and devil rays. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 26(3), 562-575 DOI: 10.1002/aqc.2591
- Francis, M. P., Jones, E. G. 2017. Movement, depth distribution and survival of spinetail devil rays (*Mobula japanica*) tagged and released from purse-seine catches in New Zealand. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems. 27: 219-236.
- Galuardi, B., Royer, F., Golet, W., Logan, J., Nielson, J., and Lutcavage, M. 2010. Complex Migration Routes of Atlantic Bluefin Tuna Question Current Population Structure Paradigm. Can J Fish Aquat Sci 67: 966– 976
- Heinrichs, S., O'Malley, M., Medd, H., Hilton, P. 2011. The global threat to *Manta* and *Mobula* rays. Manta Ray of Hope, Wild Aid, San Francisco, California.
- Lana, F. O. (2016). Morfologia, Identificação Molecular e Movimentação do Tubarão lombo-preto, *Carcharhinus falciformis* (Bribon, 1939), no Atlântico Oeste Tropical. PhD Thesis Universidade Federal Rural de Pernambuco, PE, Brasil.
- Mendonça S. A. (2011). Abundância Relativa, Sazonalidade e Comportamento de *Mobula tarapacana* (Philippi 1892) (Condriichthyes: Mobulidae) no Arquipélago de São Pedro e São Paulo-Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco.
- Mendonça, S. A., Macena, B. C. L., Creio, E., Viana, D. L., Viana, D. F. & Hazin, F. H. V. (2012). Record of a pregnant *Mobula thurstoni* and occurrence of *Manta birostris* (Myliobatiformes: Mobulidae) in the vicinity of Saint Peter and Saint Paul Archipelago (Equatorial Atlantic). Pan-American Journal of Aquatic Sciences 7(1): 21-26
- Mendonça, S. A., Macena, B. C. L., Afonso, A. S. & Hazin, F. H. V. (2018a). Seasonal aggregation and diel activity by the sicklefin devil ray *Mobula tarapacana* (Philippi, 1892) off a small, equatorial outcrop of the mid-Atlantic Ridge.

- Mendonça, S. A., Macena, B. C. L., Araujo, C. B. B., Bezerra, N. A. & Hazin, F. H. V. 2018. Population structure and mating evidences of sicklefin devil ray *M. tarapacana* in Saint Peter and Saint Paul Archipelago, equatorial Atlantic Ocean.
- Nielsen, A., and Sibert, J.R. 2007. State–space model for light-based tracking of marine animals. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 64: 1055–1068. doi: <http://dx.doi.org/10.1139/F07-064>.
- Notarbartolo-Di-Sciara, G., (1987). A revisionary study of the genus *Mobula* Rafinesque, 1810 (Chondrichthyes: Mobulidae) with the description of a new species. *Zool. J. Linn. Soc.* 91(1):1-91.
- Notarbartolo-Di-Sciara, G. (1988). Natural history of the rays of the genus *Mobula* in the Gulf of California. *Fishery Bulletin*, 86, 45-66.
- O'Malley M. P., Townsend, K. A., Hilton, P., Heinrichs, S. & Sterwart, J. D. (2017). Characterization of the trade in manta and devil ray gill plates in China and South-east Asia through trades surveys. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 27:394-413.
- Pardo, S.A., Walls, R.H.L. & Bigman, J. S. (2016). *Mobula tarapacana* (errata version published in 2016). The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T60199A121705844. Downloaded on **21 February 2018** disponível em <<http://www.iucnredlist.org>>
- R Development Core Team (2008). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Sibert, J., Musyl, M. K. and Brill, R.W. (2002). Horizontal movements of bigeye tuna near Hawaii determined by Kalman filter analysis of archival tagging data. *Fish. Oceanogr.*
- Schweitzer & Notarbatolo-di-Sciara, 1986. The rete mirabile cranica in the genus *Mobula*: a comparative study. *J. Morph.* 188, 167–178
- Sobral, A. F. L. (2013). Biology, ecology and conservation of Mobulidae rays in the Azores. Thesis of Master of Science, University of the Azores. 79 p.
- Sobral, A. F. & Afonso, P. (2014). Occurrence of mobulids in the Azores, central North Atlantic. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 94(8), 1671-1675.
- Stramma, L. & England, M. (1999). On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical research*, 104 (9), 20863-20883
- Thorrold, S. R., Afonso, P., Fontes, J., Braun, C. D., Santos, R. S., Skomal, G. B., & Berumen, M. L. (2014). Extreme diving behavior in devil rays links surface waters and the deep ocean. *Nature Communications*, 5.

Tabela 4. Informações das *Mobula tarapacana* marcadas com transmissores Psats no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, sexo (M=macho, F=fêmea), largura de disco (LD), data de marcação, data de soltura, dias monitorados, distância viajada (km), máxima profundidade de mergulho (m)

Raias ID	Sexo	LD (cm)	Data de marcação	Data de soltura	Dias monitorados	*Distância viajada (km)	Máx. profundidade de mergulho (m)
R01	F	2.6	22-03-2010	11-04-2010	20	71.6	1776
R02	F	2.7	30-06-2011	05-07-2011	5	147	350
R03	F	2.7	21-04-2014	NT	NT	NT	NT
R04	M	2.8	26-04-2014	23-08-2014	120	920	1470
R05	F	2.0	25-05-2014	24-08-2014	90	101	1142
R06	F	2.0	01-06-2014	01-10-2014	122	840	406.5
R07	F	2.5	09-05-2015	20-09-2015	134	878	1606.5
R08	M	2.6	11-05-2015	20-05-2015	9	104	455.5
R09	F	2.5	11-05-2015	13-07-2015	41	2085	1517.5

*Distância entre o ponto de marcação e ponto de soltura



Figura 9. Mapa do Oceano Atlântico com a localização do ponto de marcação (ASPSP) e localização do ponto de desprendimento (pop-up) das Psats de todas as raias marcadas (R01, R02, R04, R05, R06, R07, R08, R09); pontos de pop-up de raias marcadas nos Açores (RAço_2, RAço_3, RAço_13) (Thorrold et al. 2014), e pontos em vermelho são registros de ocorrência baseados na literatura.

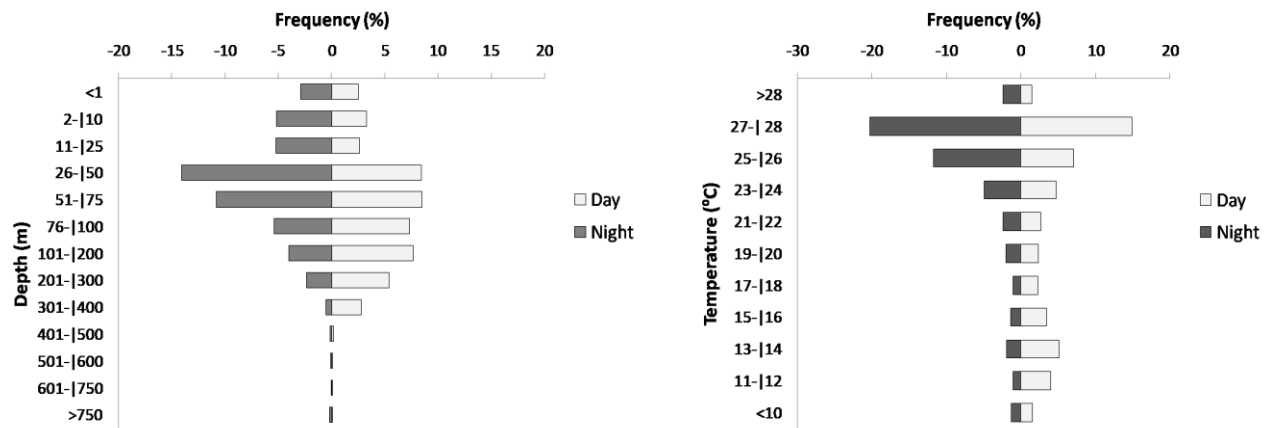


Figura 10. Frequência relativa de tempo (%) em relação às profundidades e temperaturas experimentadas, durante a movimentação vertical pelas *Mobula tarapacana* (n=8) ao longo do dia e da noite no oceano Atlântico equatorial.

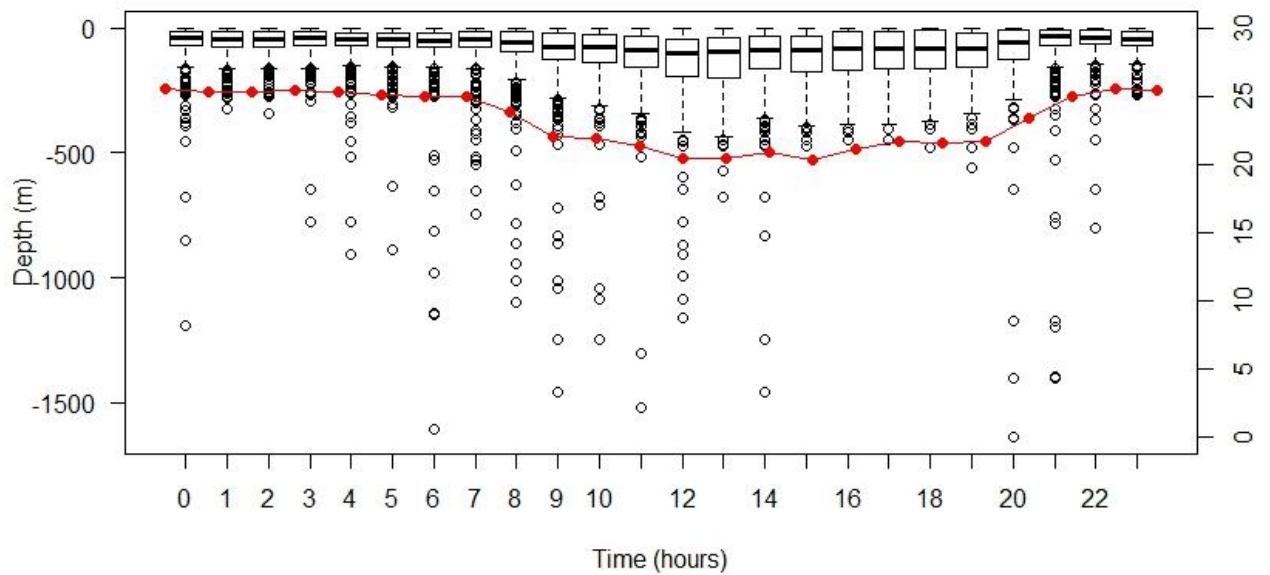


Figura 11. Distribuição de profundidade em relação ao ciclo de 24 horas. A linha vermelha representa a média temperatura experimentada por *Mobula tarapacana* n=6 (R4, R5, R6, R7, R8 e R9) no oceano Atlântico equatorial.

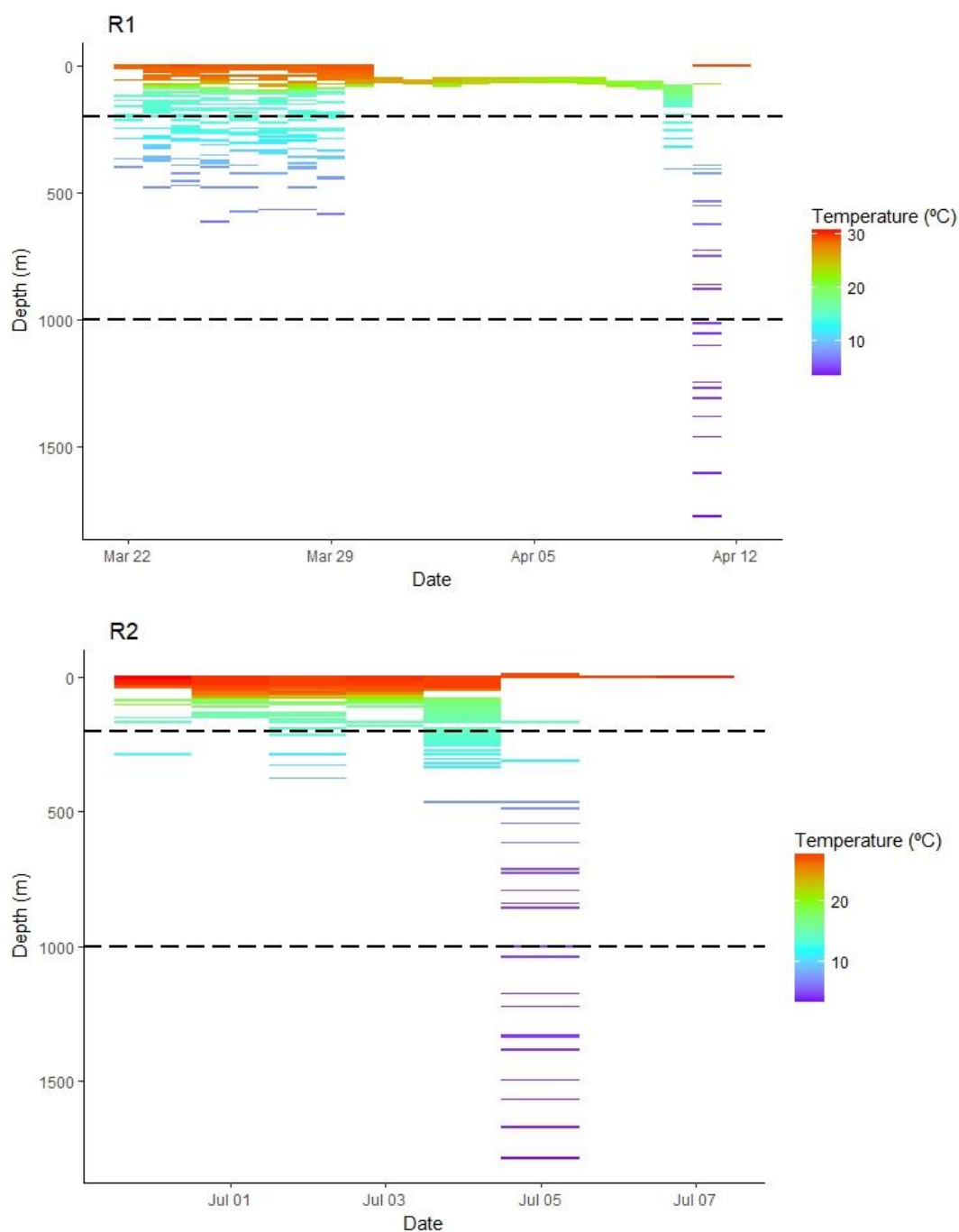


Figura 12. Perfis de profundidades e temperatura da água (a partir de dados sumarizados a cada 4 horas), experimentadas pela R1 em 2010 e R2 em 2011, monitoradas com transmissores eletrônicos (PSATs). As cores representam o gradiente de temperatura da água do mar. A linha tracejada representa as diferentes zonas pelágicas (até 200m epipelágico, de 200m a 1000m mesopelágico e acima de 1000m batipelágico).

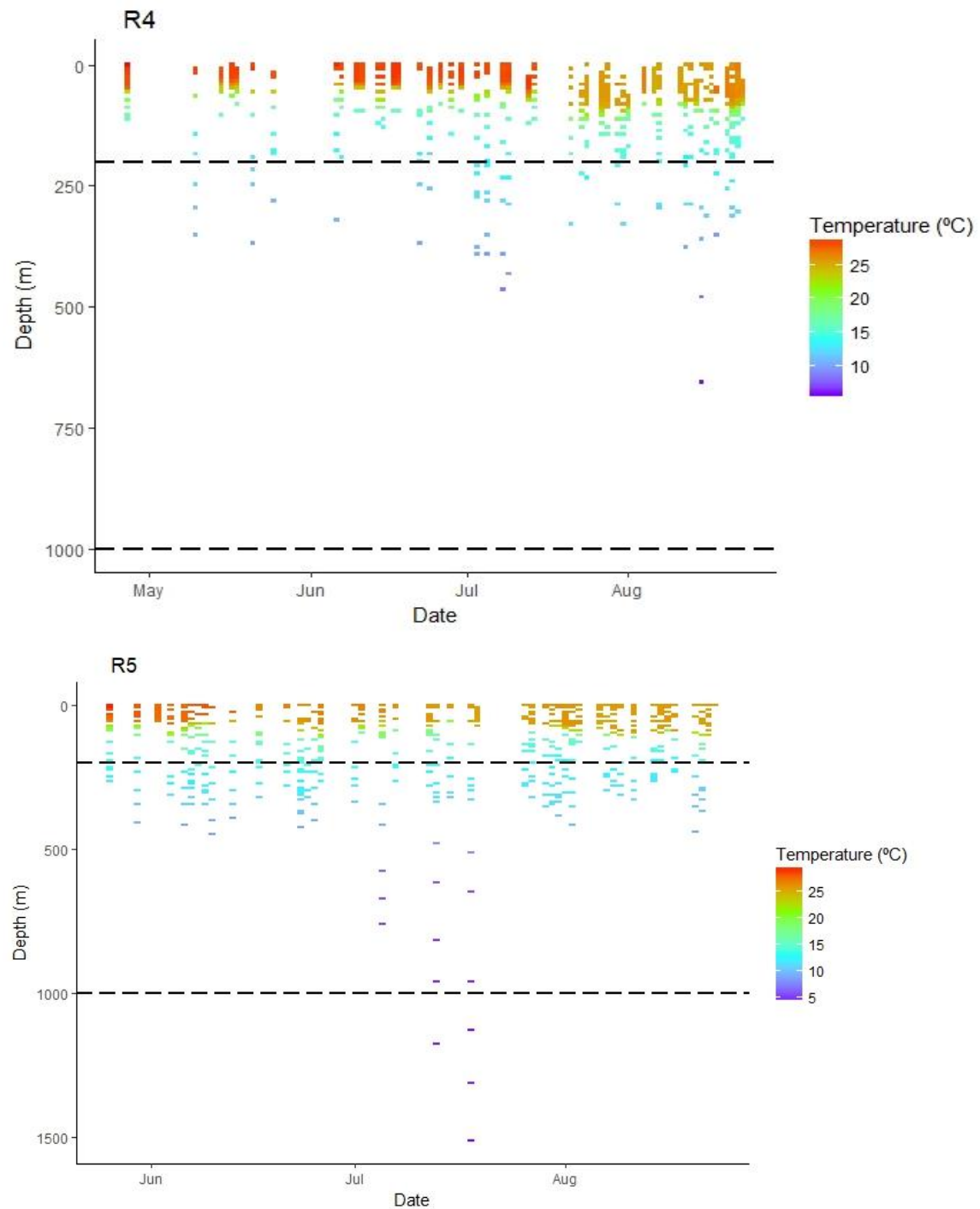


Figura 13. Perfis de profundidades e temperatura da água (a partir de dados sumarizados a cada 4 horas), experimentadas pela R4 e R5 em 2014, monitoradas com transmissores eletrônicos (PSATs). As cores representam o gradiente de temperatura da água do mar. A linha tracejada representa as diferentes zonas pelágicas (até 200m epipelágico, de 200m a 1000m mesopelágico e acima de 1000m batipelágico).

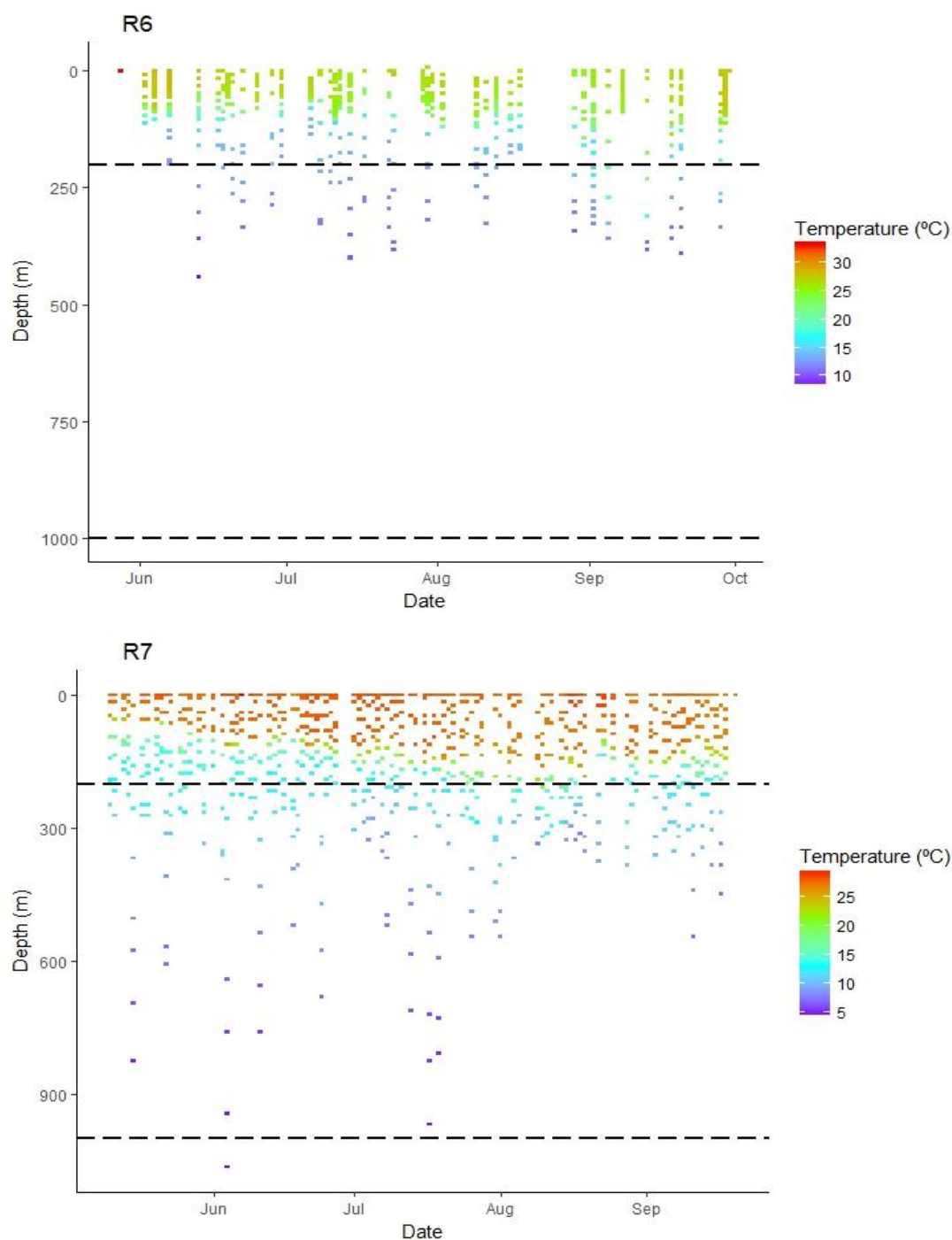


Figura 14. Perfis de profundidades e temperatura da água (a partir de dados sumarizados a cada 4 horas), experimentadas pela R6 em 2014 e R7 em 2015, monitoradas com transmissores eletrônicos (PSATs). As cores representam o gradiente de temperatura da água do mar. A linha tracejada representa as diferentes zonas pelágicas (até 200m epipelágico, de 200m a 1000m mesopelágico e acima de 1000m batipelágico).

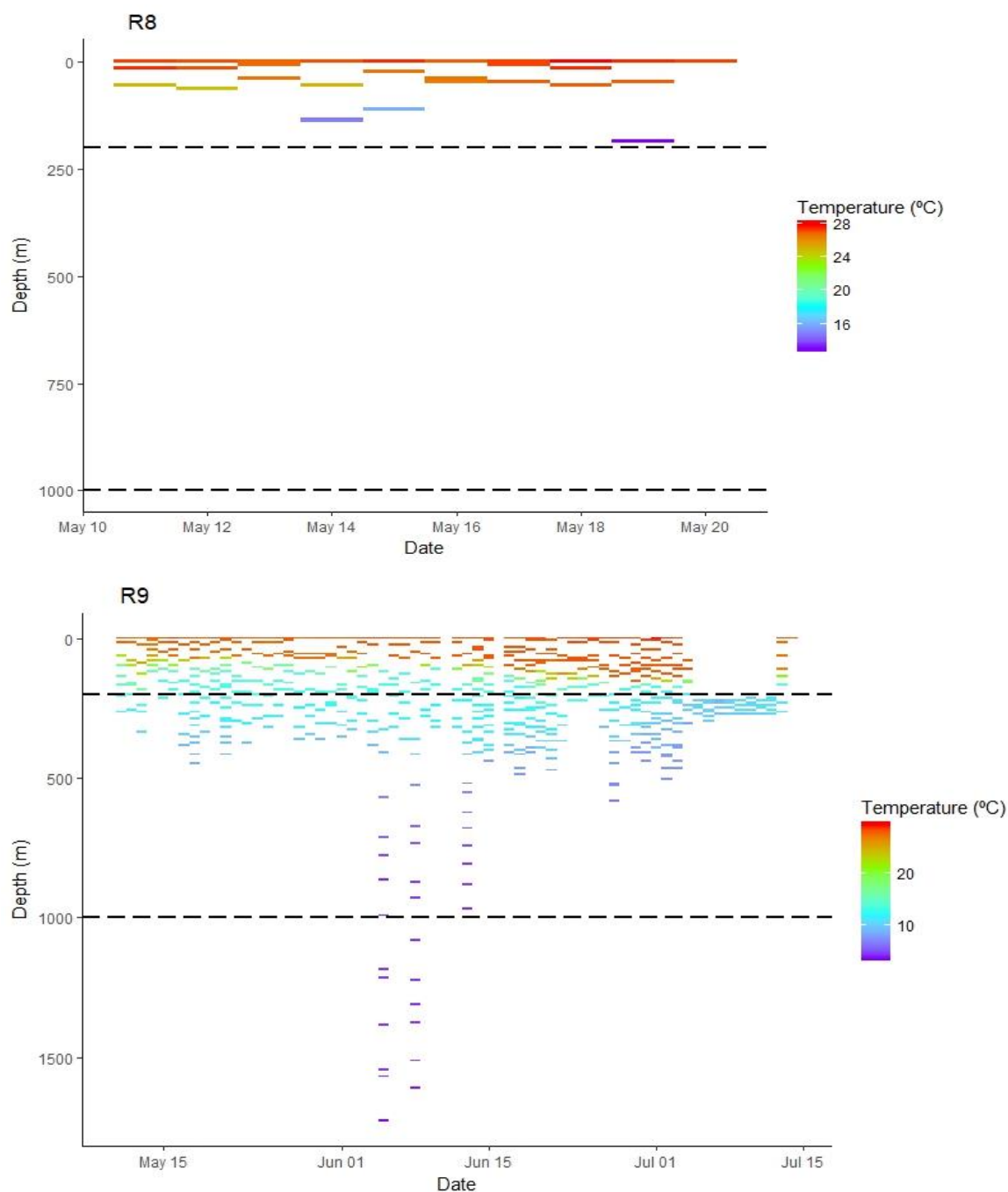


Figura 16. Perfis de profundidades e temperatura da água (a partir de dados sumarizados a cada 4 horas), experimentadas pela R8 e R9 em 2015, monitoradas com transmissores eletrônicos (PSATs). As cores representam o gradiente de temperatura da água do mar. A linha tracejada representa as diferentes zonas pelágicas (até 200m epipelágico, de 200m a 1000m mesopelágico e acima de 1000m batipelágico).

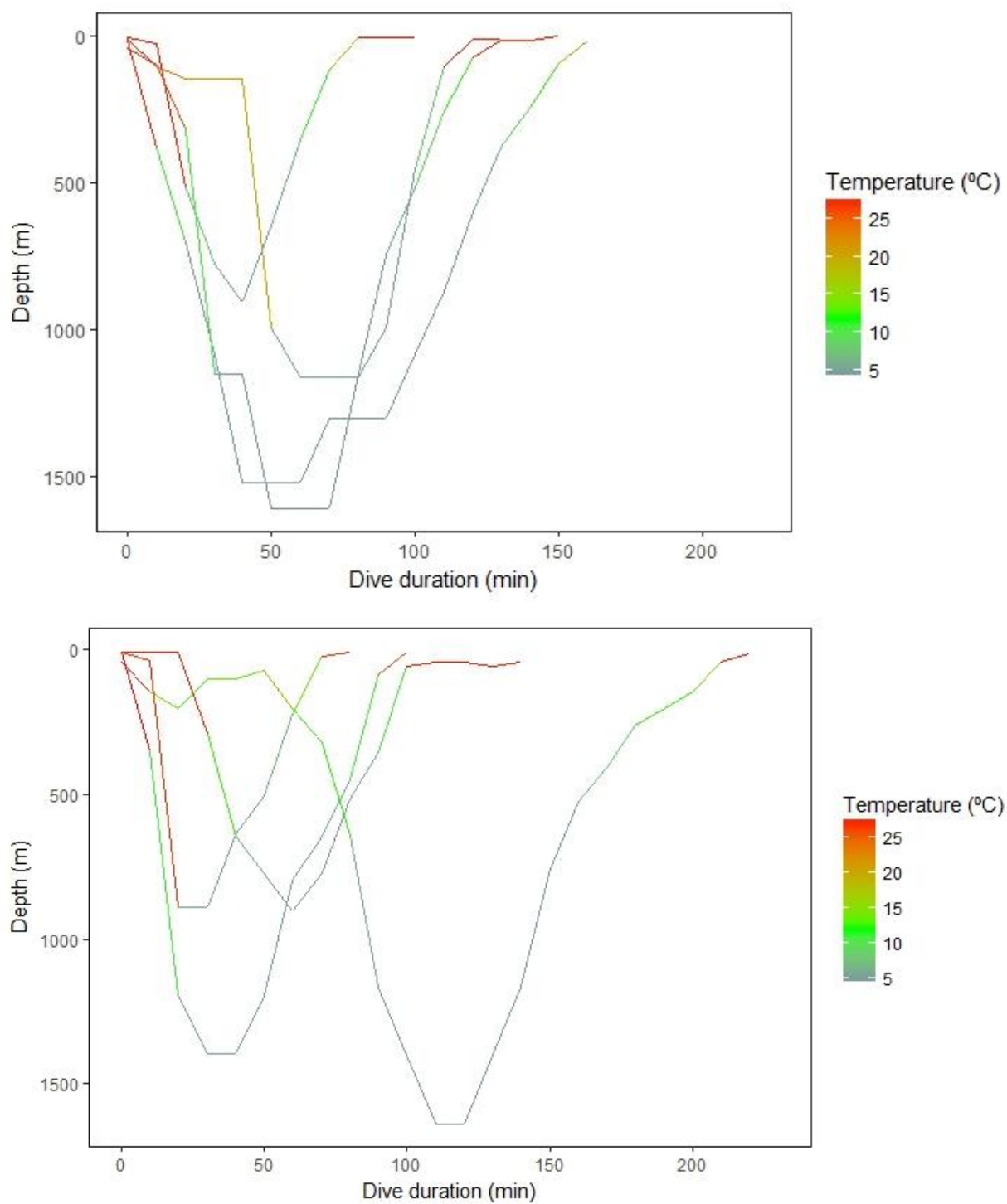


Figura 17. Perfil de mergulho profundo experimentado por *Mobula tarapacana* no oceano Atlântico, profundidade e temperatura por tempo mergulho (min) de dia (a) e de noite (b).

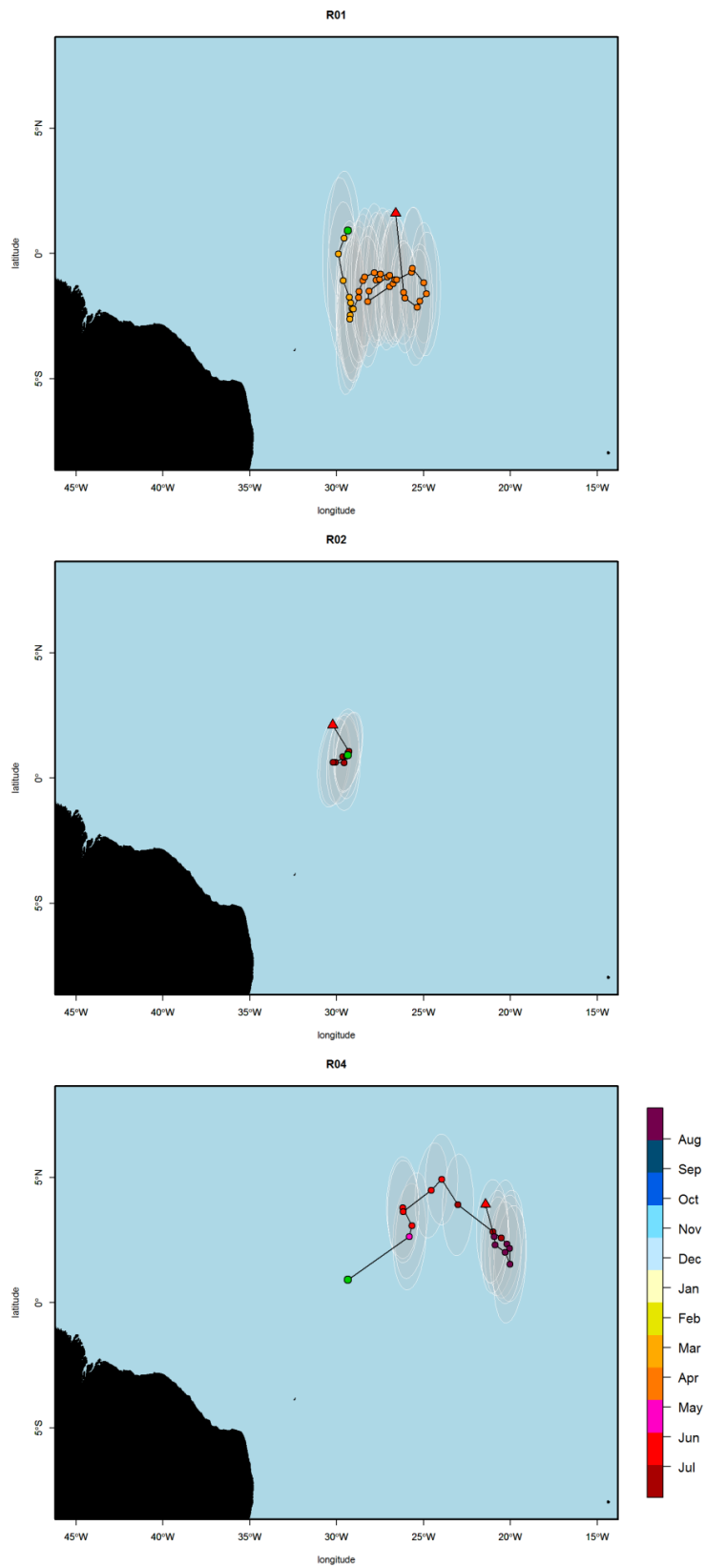


Figura 18. Trajetória de possível rota apresentada por *M. tarapacana* marcadas em ASPSP (ponto de verde início do monitoramento) R1, R2 e R4 no oceano Atlântico equatorial, o triângulo vermelho é o ponto de soltura da marca (pop-up).

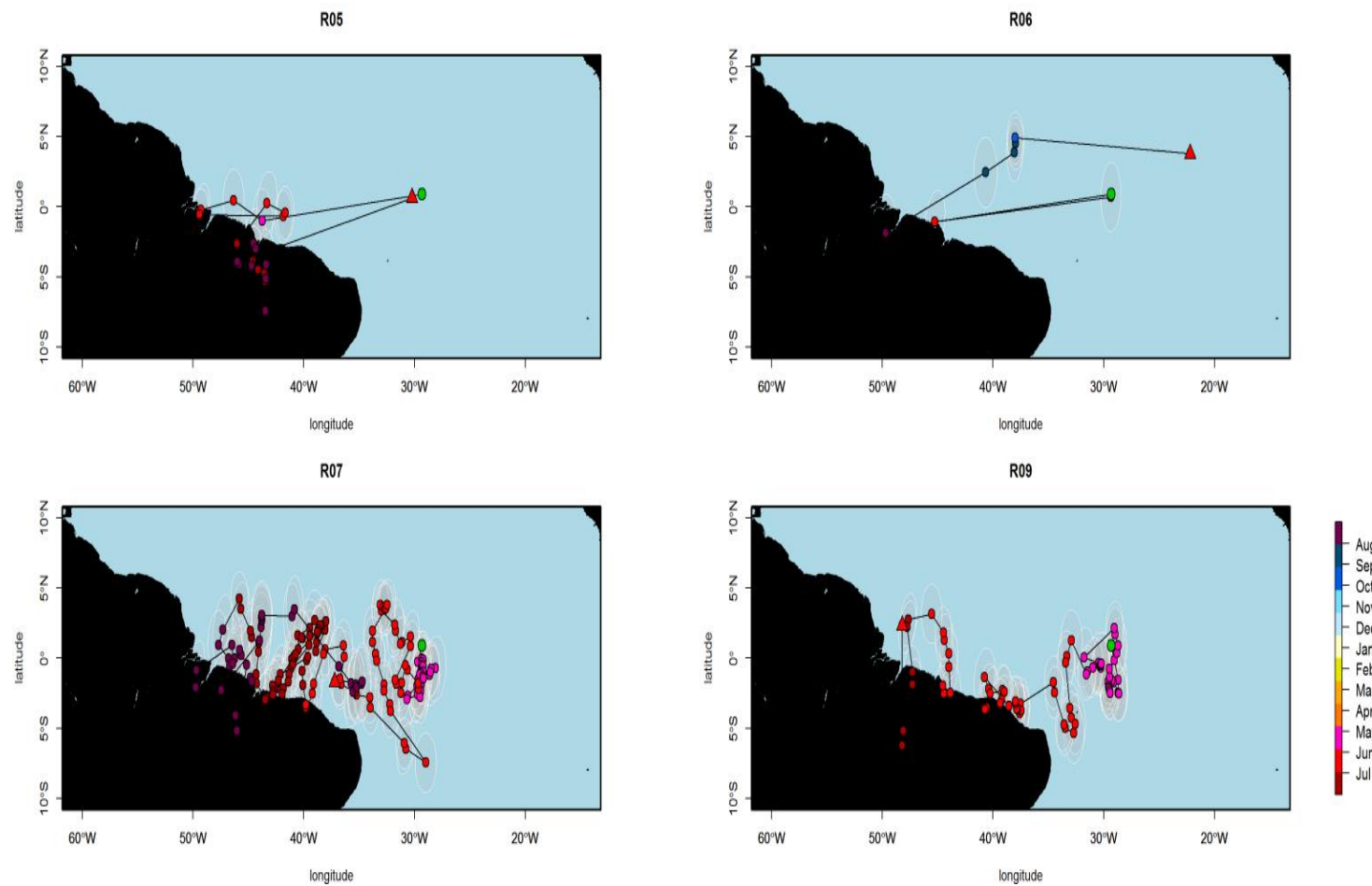


Figura 19. Trajetória de possível rota apresentada por *M. tarapacana* R5, R6, R7 e R9 marcadas em ASPSP (ponto de verde inicio do monitoramento), o triângulo vermelho é o ponto de soltura da marca (pop-p), no oceano Atlântico equatorial

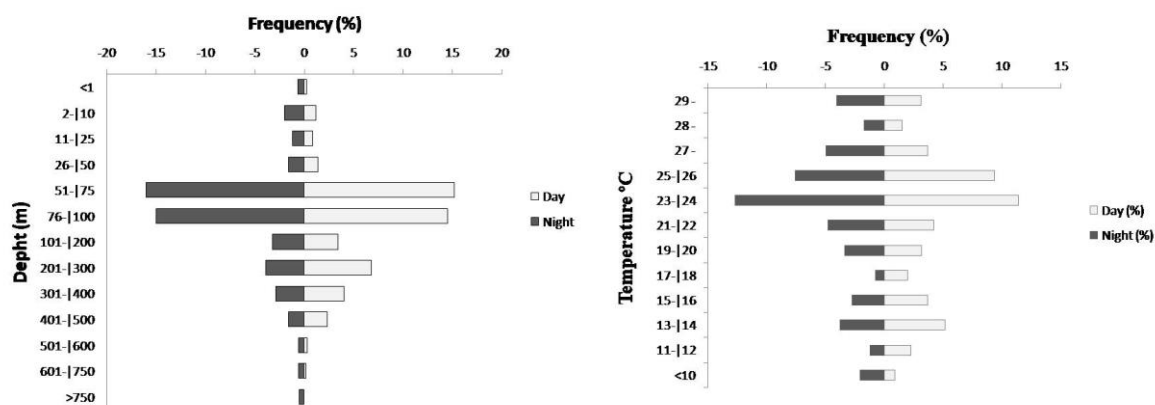


Figura 20 - Frequência relativa de tempo (%) em relação às profundidades e temperaturas experimentadas, durante a movimentação vertical pelas *Mobula tarapacana* (R1) ao longo do dia e da noite no oceano Atlântico equatorial.

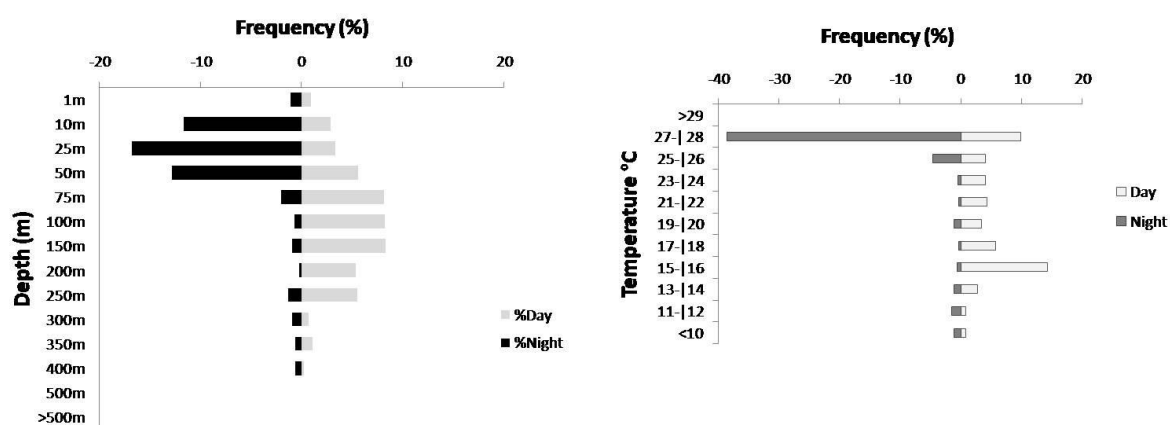


Figura 21 - Frequência relativa de tempo (%) em relação às profundidades e temperaturas experimentadas, durante a movimentação vertical pelas *Mobula tarapacana* (R2) ao longo do dia e da noite no oceano Atlântico equatorial.

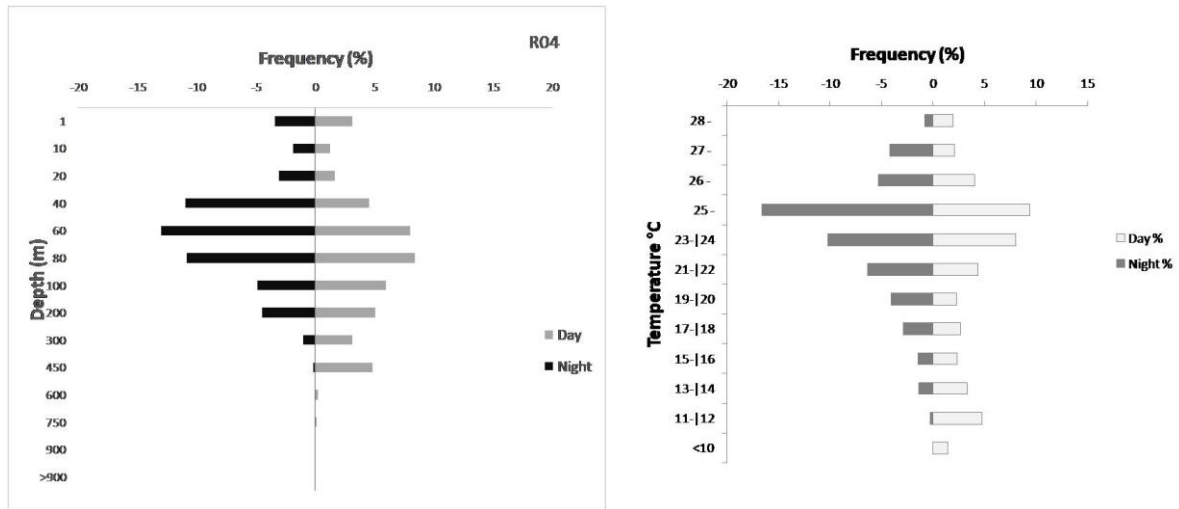


Figura 22 - Frequência relativa de tempo (%) em relação às profundidades e temperaturas experimentadas, durante a movimentação vertical pelas *Mobula tarapacana* (R4) ao longo do dia e da noite no oceano Atlântico equatorial.

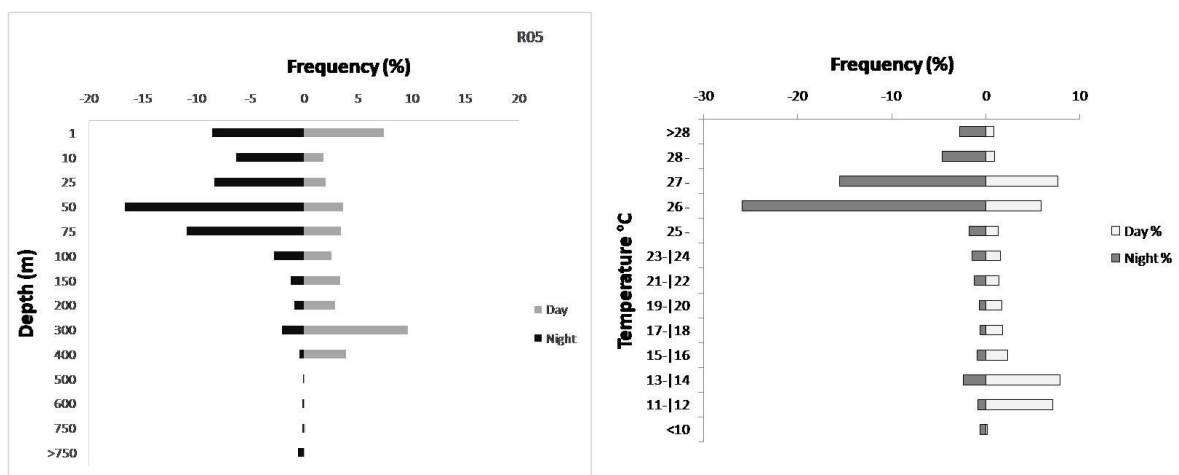


Figura 23 - Frequência relativa de tempo (%) em relação às profundidades e temperaturas experimentadas, durante a movimentação vertical pelas *Mobula tarapacana* (R5) ao longo do dia e da noite no oceano Atlântico equatorial.

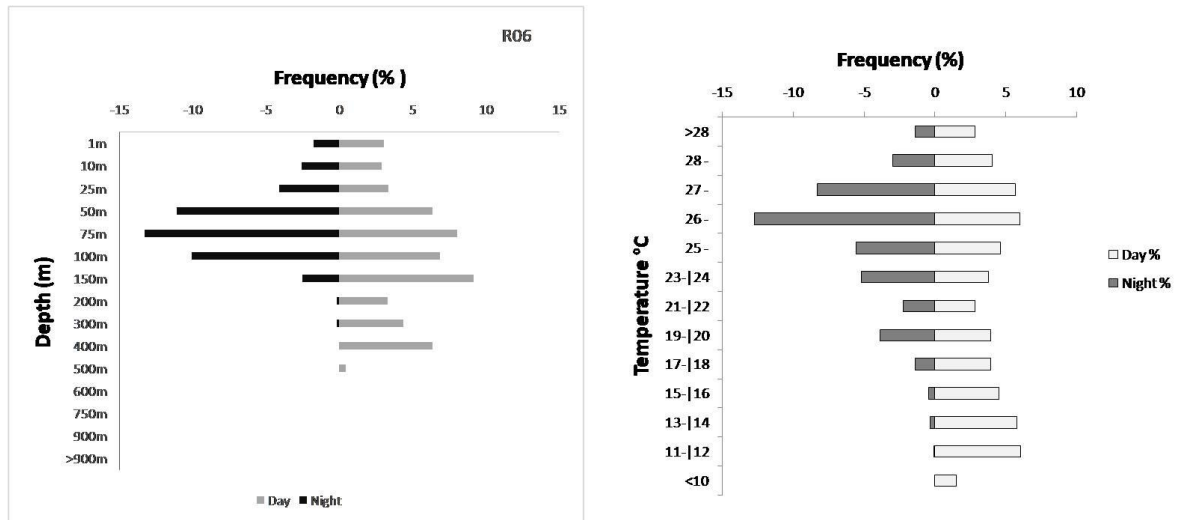


Figura 24 - Frequência relativa de tempo (%) em relação às profundidades e temperaturas experimentadas, durante a movimentação vertical pelas *Mobula tarapacana* (R6) ao longo do dia e da noite no oceano Atlântico equatorial.

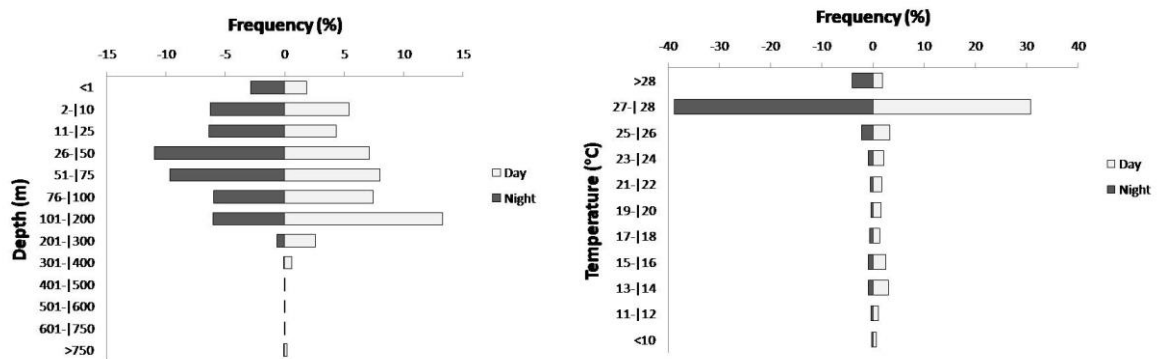


Figura 25 -. Frequência relativa de tempo (%) em relação às profundidades e temperaturas experimentadas, durante a movimentação vertical pelas *Mobula tarapacana* (R7) ao longo do dia e da noite no oceano Atlântico equatorial.

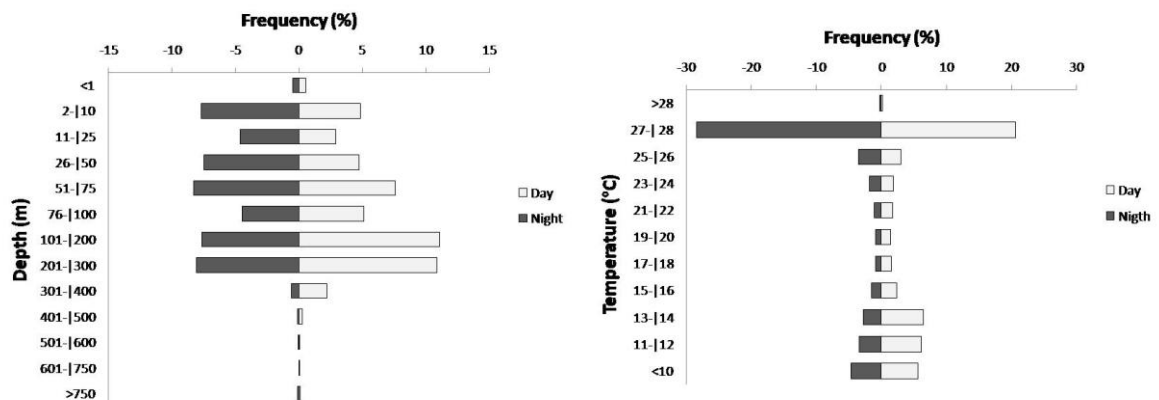


Figura 26 - Frequência relativa de tempo (%) em relação às profundidades e temperaturas experimentadas, durante a movimentação vertical pelas *Mobula tarapacana* (R9) ao longo do dia e da noite no oceano Atlântico equatorial.

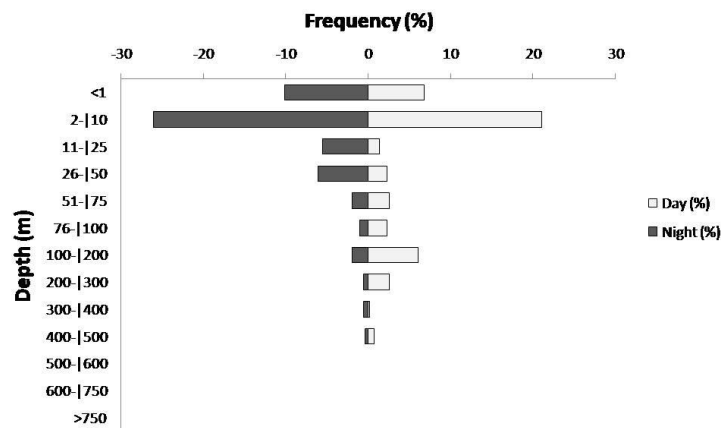


Figura 27 - Frequência relativa de tempo (%) em relação às profundidades experimentadas, durante a movimentação vertical pelas *Mobula tarapacana* (R8) ao longo do dia e da noite no oceano Atlântico equatorial.

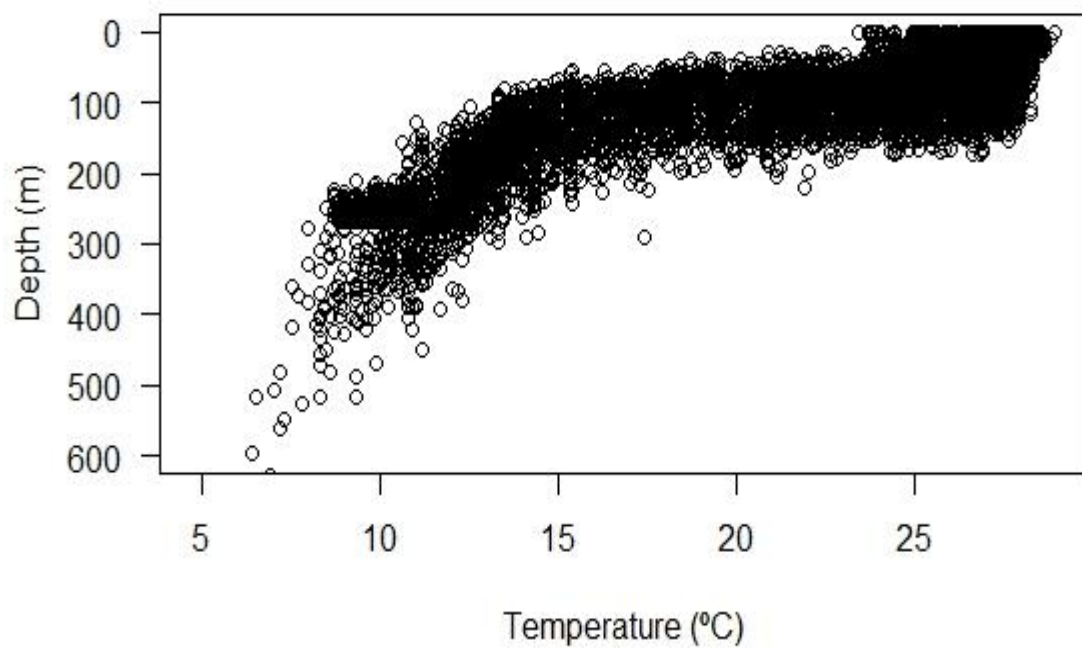


Figura 28 - Distribuição de temperatura (°C) por profundidade (m) da água frequentada por *M. tarapacana* no oceano Atlântico equatorial.

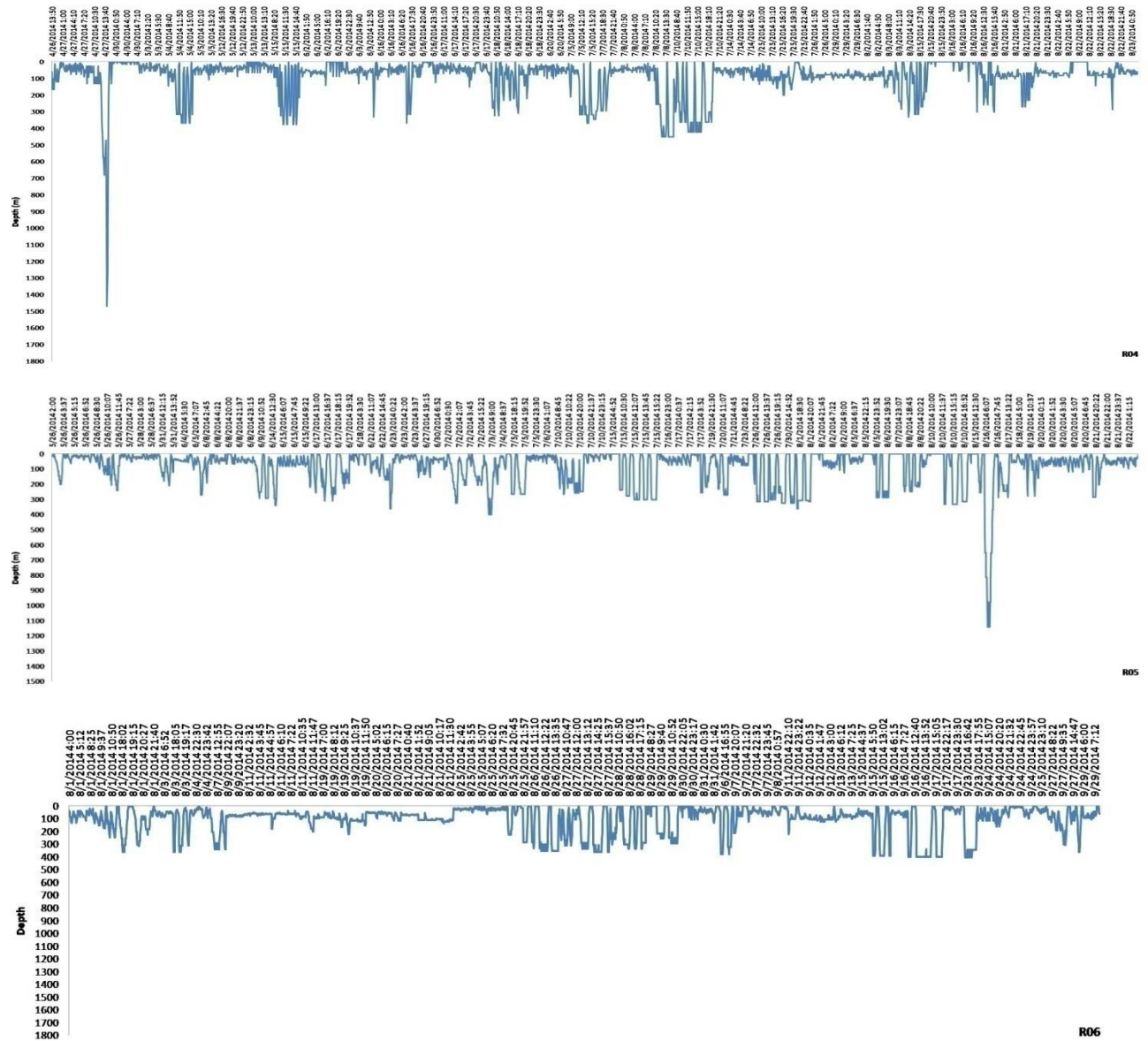


Figura 29 - Perfil de mergulho em alta resolução apresentado pela *M. tarapacana* (R04, R05 e R06) ao longo do tempo no oceano Atlântico equatorial.

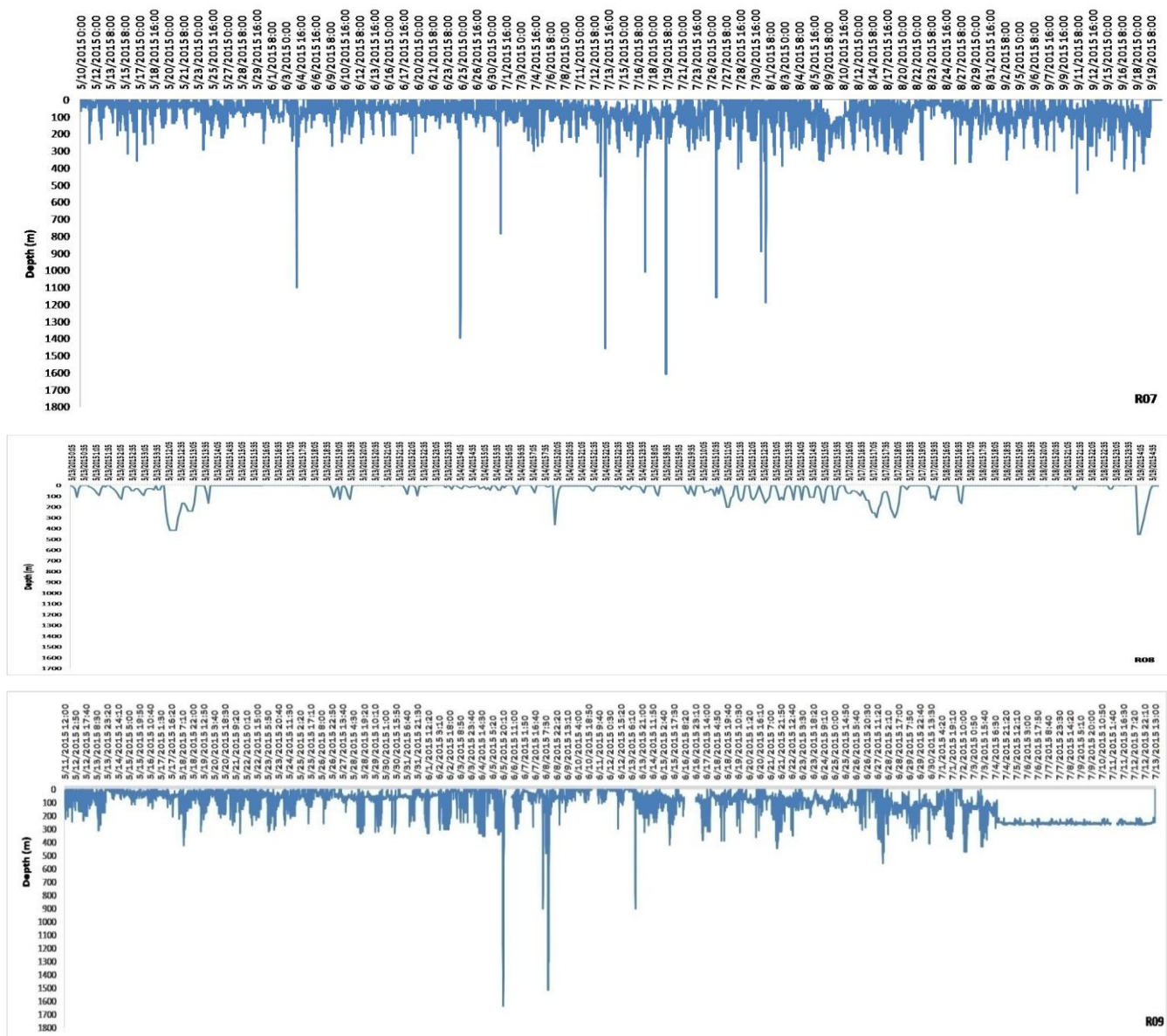


Figura 30 - Perfil de mergulho em alta resolução apresentado pela *M. tarapacana* (R07, R08 e R09) ao longo do tempo no oceano Atlântico equatorial.

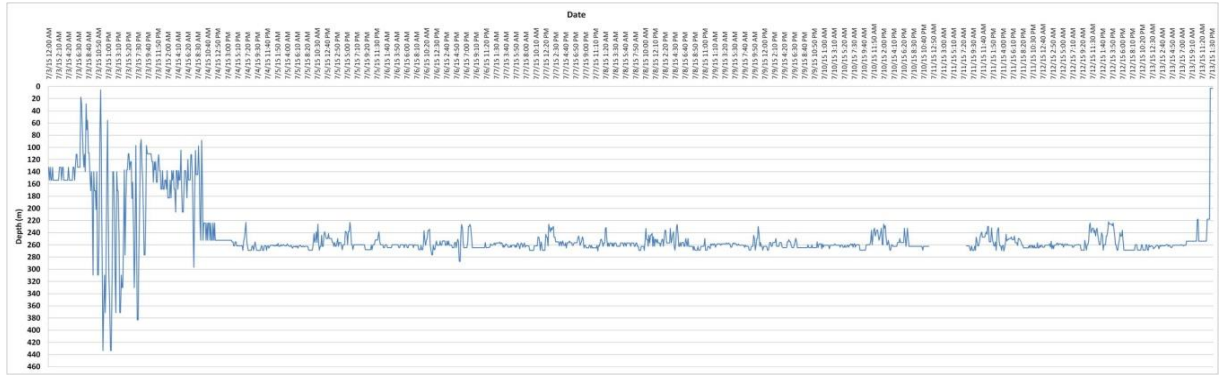


Figura 31 - Perfil de mergulho em alta resolução apresentado pela *M. tarapacana* R09 no final do monitoramento próximo ao ponto de pop-up região do Amazonas ao longo do tempo no oceano Atlântico equatorial.

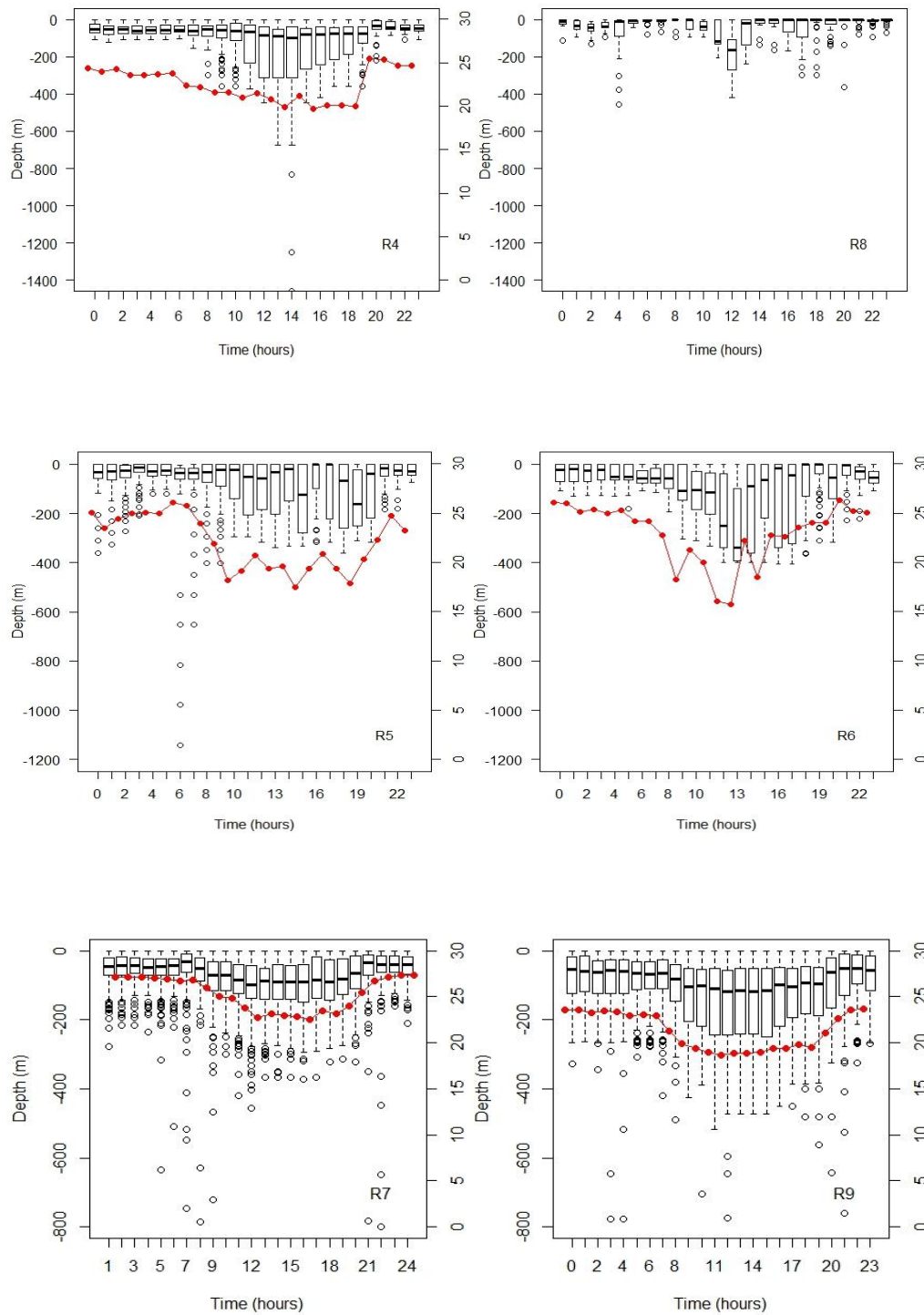


Figura 32 - Distribuição de profundidade em relação ao ciclo de 24 horas, a linha vermelha representa a média temperatura experimentada por *Mobula tarapacana* (R4, R5, R6, R7, R8 e R9) no oceano Atlântico equatorial.

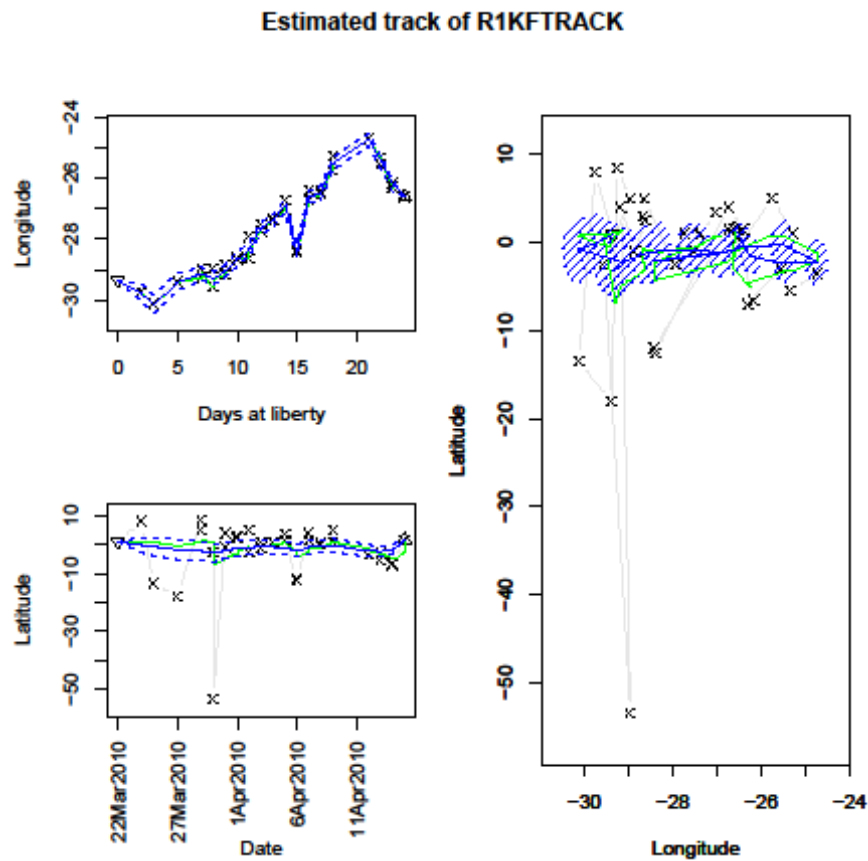


Figura 33 - Modelo de deslocamento horizontal latitude e longitude (KFTRACK) de *Mobula tarapacana* (R1) marcada em 2010, linha azul e linha verde representa as possíveis rotas e a linha tracejada azul significa o intervalo de confiança.

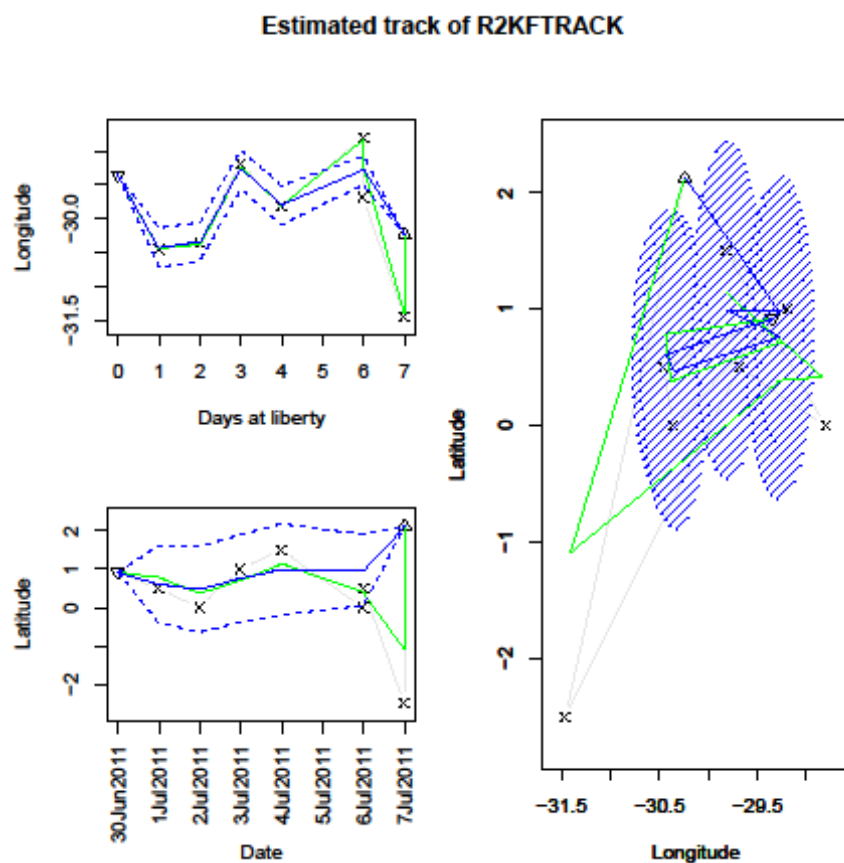


Figura 34 - Modelo de deslocamento horizontal latitude e longitude (KFTRACK) de *Mobula tarapacana* (R2) marcada em 2011, linha azul e linha verde representa as possíveis rotas e a linha tracejada azul significa o intervalo de confiança.

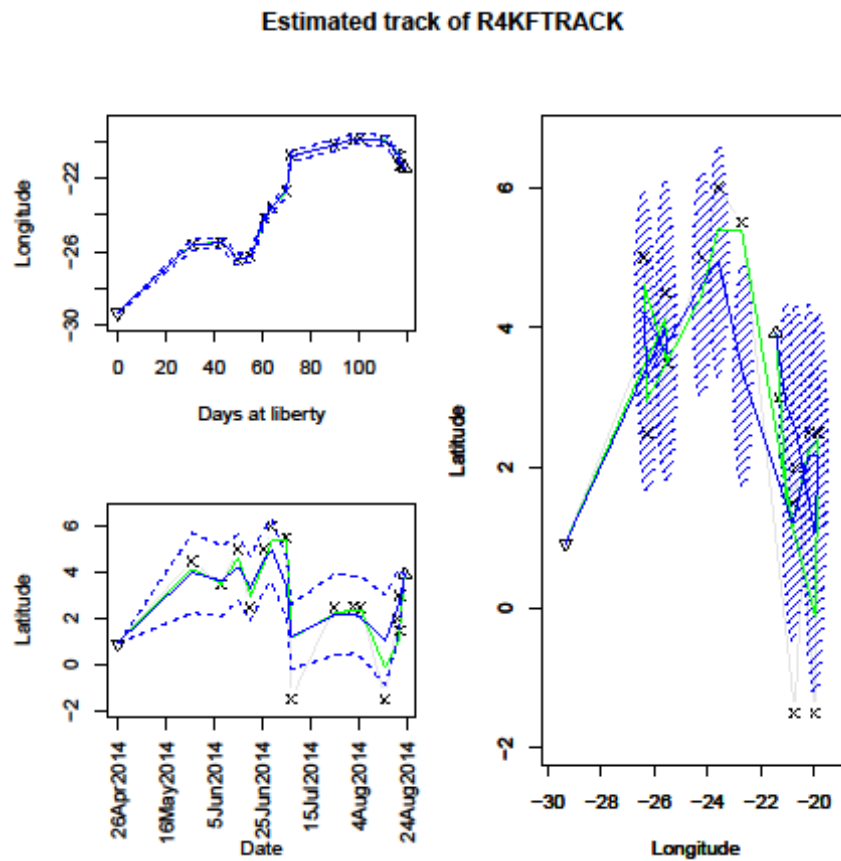


Figura 35 - Modelo de deslocamento horizontal latitude e longitude (KFTRACK) de *Mobula tarapacana* (R4) marcada em 2014, linha azul e linha verde representa as possíveis rotas e a linha tracejada azul significa o intervalo de confiança.

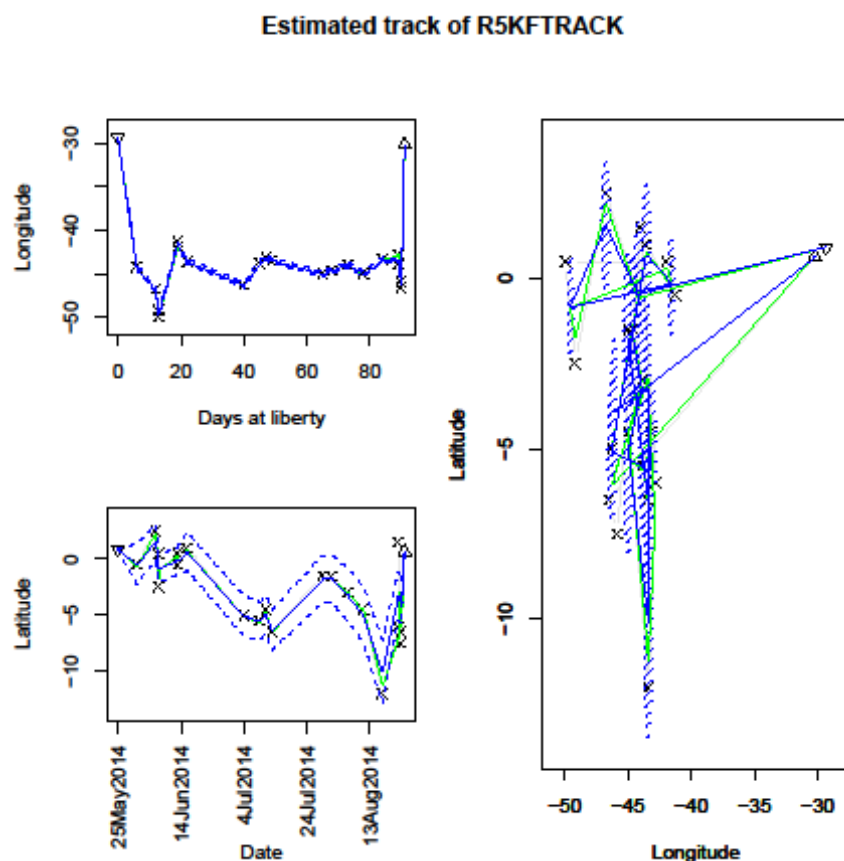


Figura 36 - Modelo de deslocamento horizontal latitude e longitude (KFTRACK) de *Mobula tarapacana* (R5) marcada em 2014, linha azul e linha verde representa as possíveis rotas e a linha tracejada azul significa o intervalo de confiança.

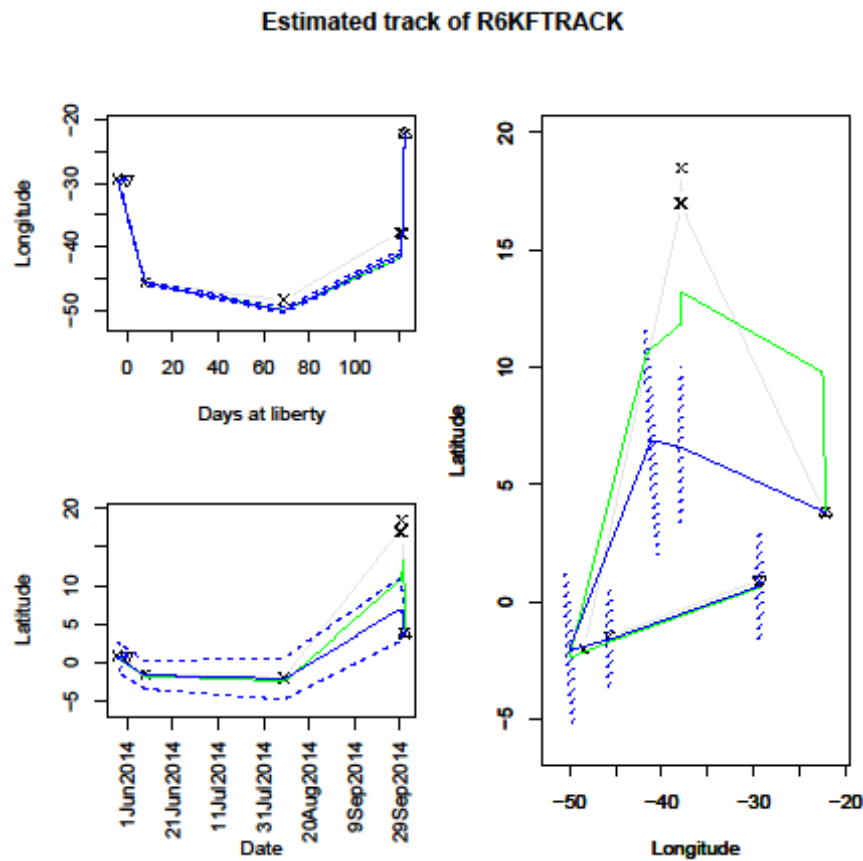


Figura 37 - Modelo de deslocamento horizontal latitude e longitude (KFTRACK) de *Mobula tarapacana* (R6) marcada em 2014, linha azul e linha verde representa as possíveis rotas e a linha tracejada azul significa intervalo de confiança.

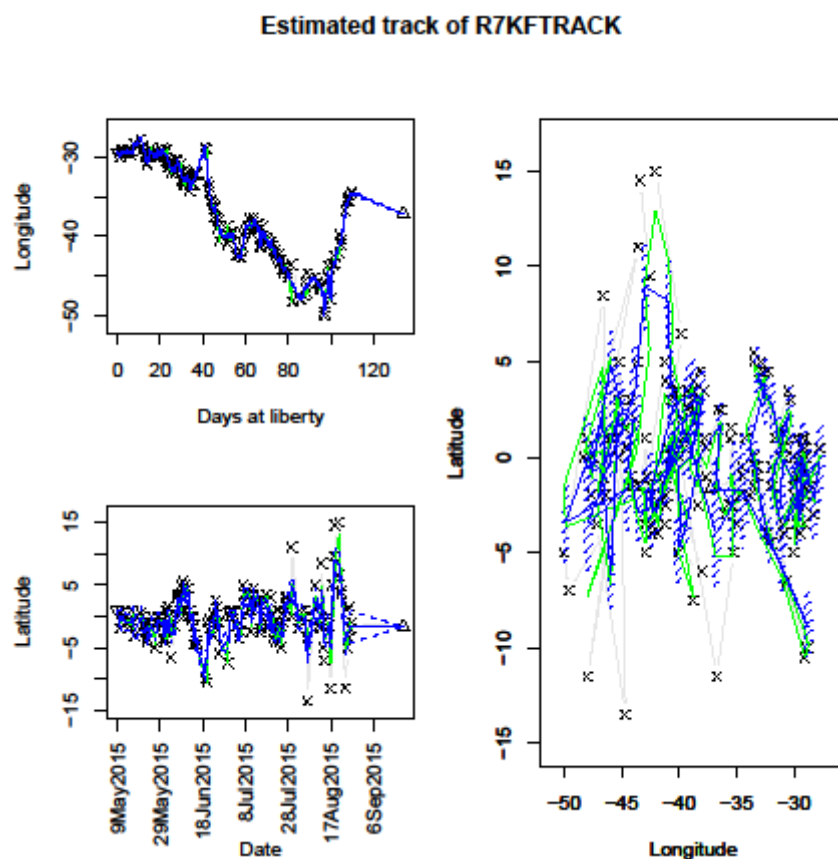


Figura 38 - Modelo de deslocamento horizontal latitude e longitude (KFTRACK) de *Mobula tarapacana* (R7) marcada em 2015, linha azul e linha verde representa as possíveis rotas e a linha tracejada azul significa intervalo de confiança.

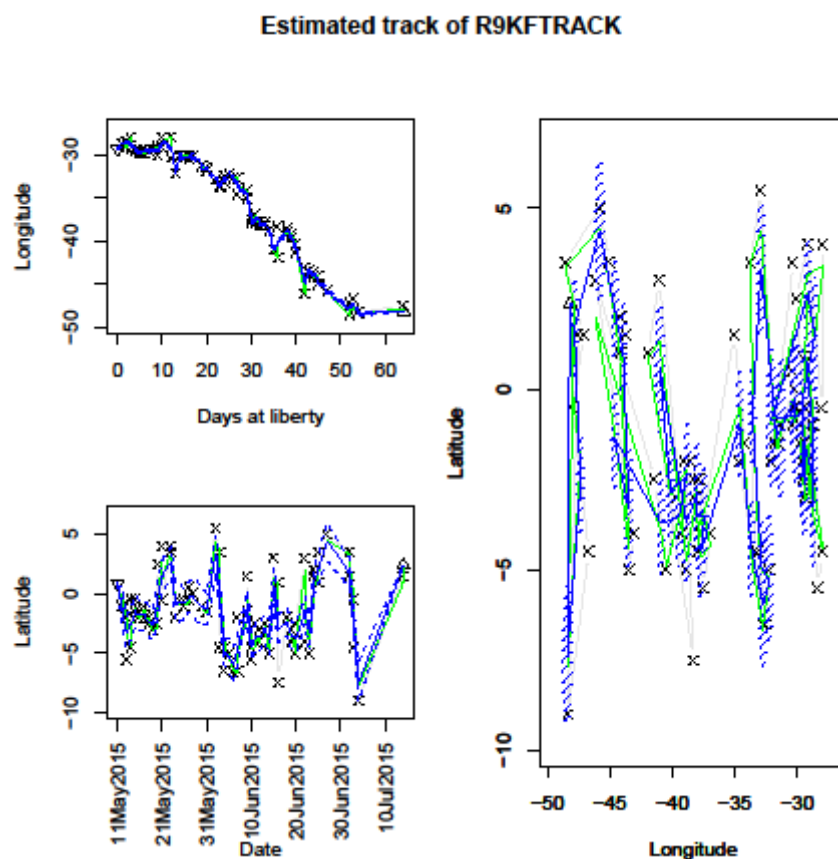


Figura 39 - Modelo de deslocamento horizontal latitude e longitude (KFTRACK) de *Mobula tarapacana* (R9) marcada em 2015, linha azul e linha verde representa as possíveis rotas e a linha tracejada azul significa intervalo de confiança.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da distância e de suas características inóspitas o Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) se mostrou como um importante local para o desenvolvimento de estudos com elasmobrânquios pelágicos oceânicos, principalmente as raias da família Mobulidae.

A ocorrência e abundância de *Mobula tarapacana* nas circunvizinhanças do ASPSP estão intimamente relacionadas com os períodos de maior disponibilidade de alimento, com sua maior abundância no primeiro semestre do ano.

A utilização de marcas convencionais e acústicas associadas com observações por mergulho se mostrou eficaz na compreensão do padrão de utilização do ASPSP por *M. tarapacana* permanecendo alguns dias forrageando no ASPSP, também foi verificado comportamento de fidelidade.

O ASPSP mostrou ser um importante local de agregação para cópula fazendo assim, parte do ciclo reprodutivo da espécie.

Mobula tarapacana mostrou-se ser uma espécie altamente migratória viajando grandes distâncias, também foi observado que a espécie apesar de preferir profundidades menores de 100 m e temperatura entre 25° e 28°, tolera uma grande amplitude de temperatura fazendo mergulhos nos ambientes mesopelágicos e batipelágicos no oceano Atlântico Equatorial.

O conhecimento dos padrões espaciais de deslocamento e uso do habitat pela *M. tarapacana* é fundamental para o manejo e conservação da espécie, contribuindo, entre outros aspectos, para o desenvolvimento de estratégias capazes de melhor conhecer a condição de suas populações e de reduzir a sua interação com a pesca

A presente pesquisa foi pioneira no que diz respeito à coleta, análise de dados biológicos e comportamentais de *M. tarapacana* no Brasil e no Oceano Atlântico Equatorial a partir do ASPSP.

REFERÊNCIAS

- BIGELOW, H. B. & SCHROEDER, W. C. Sawfishes, guitarfishes, skates and rays; chimaeroides. *In: Fishes of the Western North Atlantic*. Memoirs of the Sears Foundation for Marine Research Yale University. New Haven, 1953; 1 (2): 588 pp.
- CASAS, A. L. S., CUNHA, C. M., INTELIZANO, W. & GONZALEZ, M. M. B. Record of a pregnant bentfin devilray, *Mobula thurstoni* (Lloyd) (Elasmobranchii, Mobulidae) caught in Southwestern Brazil. **Pan American Journal of Aquatic Sciences**, 2006, 1 (1): 66-68
- COUTURIER, L. I. E., MARSHALL, A. D., JAINE, F. R. A., KASHIWAGI, T., PIERCE, S. J., TOWNSNED, K. A., WEEKS, J. S., BENNET, M. B. & RICHARDSON, A. J. Biology, ecology and conservation of the Mobulidae. **Journal of Fish Biology**, 2012; 80: 1075-1119.
- CROLL, D. A., DEWAR, H., DULVY, N. K., FERNANDO, D., FRANCIS, M. P., GALVÁN-MAGAÑA, F., HALL, M., HEINRICHS, S., MARSHALL, A., MCCAULEY, D., NEWTON, K. M., NOTARBARTOLO-DI-SCIARA, G., O'MALLEY, M., O'SULLIVAN, J., POORTVLIET, M., ROMAM, M., STEVENS, G., TERSHY, B. R. & WHITE, W. T. Vulnerabilities and fisheries impacts: the uncertain future of manta and devil rays. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, 2016; 26(3), 562-575 DOI: 10.1002/aqc.2591
- DEAKOS, M. H., BAKER, J. D. & BEJDER, L. Characteristics of a manta ray *Manta alfredi* population off Maui, Hawaii, and implications for management. **Marine Ecology Progress Series**, 2011; 429: 245-260. Doi: 10.3354/meps09085
- DEWAR, H., MOUS, P., DOMEIER, M., MULJADI, A., PET, J. & WHITTY, J. Movements and site Fidelity of the giant manta ray, *Manta birostris*, in the Komodo Marine Park, Indonesia. **Marine Biology**, 2008; 155:121–133.
- DOMIT, C., BROADHURST, M. K. & BORNATOWSKI, H. Interactions between *Manta birostris* and *Sotalia guianensis* in a World Heritage listed Brazilian estuary. **Journal Fish Biology**. 2017, 91(4): 1236-1240
- FEITOZA, B. M., ROCHA, L. A., LUIZ-JR, O. J., FLOETER, S. R., GASPARINI, J. L. Reef fishes of St. Paul's Rocks: new records and notes on biology and zoogeography. **Journal Ichthyology and Aquatic Biology**, 2003; 7 (2): 61-82.
- GADIG, O. B. F. & SAMPAIO, C. L. S. Ocorrência de *Mobula japanica* no Atlântico Ocidental e *Mobula tarapacana* em águas Brasileiras, com comentários sobre a diversidade de raias manta (Chondrichthyes: Mobulidae) no Brasil. **Arquivos Ciências Marinhas**, Fortaleza, 2002; 35: 36-37.
- GADIG, O. B. F., NAMORA, R. C. & MOTTA, F. S., Occurrence of the bentfin devil ray, *Mobula thurstoni* (Chondrichthyes: Mobulidae), in the western Atlantic. **J. Mar. Biol. Ass. U.K.**, 2003, 83, 869-870

HAZIN, F. H. V., VASKE-JR, T., OLIVEIRA, P. G., MACENA, B. C. L. & CARVALHO, F. Occurrences of whale shark (*Rhincodon typus* Smith, 1828) in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, 2008; v.68 (2), p.385-389.

HAZIN, F. H. V., VIANA, D., PINHERIRO, P., FISCHER, A., MACENA, B., VÉRAS, D., OLIVEIRA, P. G. V., CARVALHO, F., VASKE-JR., T. & BRANCO, I. Ecologia dos grandes peixes pelágicos no Arquipélago de São Pedro e São Paulo. **In:** Viana, D. L., Hazin, F. H. V. & Souza, M. A. C. (Eds.). 10 anos de Programa Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Brasília, DF: SECIRM, 2009; 306p.

HEINRICHS S, O'MALLEY MP, MEDD H, HILTON P. The global threat to Manta and Mobula Rays. Manta Ray of Hope, Wild Aid, San Francisco, California, 2011.

LESSA, R. & VASKE-JR., T. A ictiofauna com ênfase aos peixes-voadores (Exocoetidae) **In:** Viana, D. L., Hazin, F. H. V. & Souza, M. A. C. (Eds.). 10 anos de Programa Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Brasília, DF: SECIRM, 2009; 306p.

LUIZ-JR, O. J., BALBONI, A. P., KODJA, G., ANDRADE, M. & MARUM, H. Seasonal occurrences of *Manta birostris* (Chondrichthyes: Mobulidae) in southeastern Brazil. **Ichthyology Research**, 2009; 56:96–99

MARSHALL, A. & BENNETT, M. B. Reproductive ecology of the reef manta ray *Manta alfredi* in southern Mozambique. **Journal of Fish Biology**, 2010; 77, 169–190

MEDEIROS, A. M., LUIZ, O. J. DOMIT, C. Occurrence and use of an estuarine habitat by giant manta ray *Manta birostris*. **Journal Fish Biology**. 2015, 86(6): 1830-8

MENDONÇA, S. A., MACENA, B. C. L., CREIO, E., VIANA, D. L., VIANA, D. F. & HAZIN, F. H. V. Record of a pregnant *Mobula thurstoni* and occurrence of *Manta birostris* (Myliobatiformes: Mobulidae) in the vicinity of Saint Peter and Saint Paul Archipelago (Equatorial Atlantic). **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, 2012; 7(1): 21-26

NOTARBARTOLO-DI-SCIARA, G. A revisionary study of the genus *Mobula* Rafinesque, 1810 (Chondrichthyes: Mobulidae) with the description of a new species. **Zoological Journal of the Linnean Society**, 1987; 91(1):1-91.

O'MALLEY M. P., TOWNSEND, K. A., HILTON, P., HEINRICHS, S. & STERWART, J. D. Characterization of the trade in manta and devil ray gill plates in China and South-east Asia through trades surveys. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, 2017; 27:394-413.

PARDO, S. A., WALLS, R. H. L. & BIGMAN, J. S. (2016). *Mobula tarapacana* (errata version published in 2016). The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T60199A121705844. Downloaded on **21 February 2018** disponível em <[http www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>

SOBRAL, A. F. L. Biology, ecology and conservation of Mobulidae rays in the Azores. Thesis of Master of Science, University of the Azores, 2013; 79 p.

SOBRAL, A. F. & AFONSO, P. Occurrence of mobulids in the Azores, central North Atlantic. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, 2014; 94(8), 1671-1675.

THORROLD, S. R., AFONSO, P., FONTES, J., BRAUN, C. D., SANTOS, R. S., SKOMAL, G. B., & BERUMEN, M. L. Extreme diving behavior in devil rays links surface waters and the deep ocean. **Nature Communications**, 2014; 5.

VASKE JR, T., LESSA, R. P., NÓBREGA, M., MONTEALEGRE-QUIJANO, S., MARCANTE-SANTANA, F. & BEZERRA-JR., J. L. A checklist of fishes from Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Brazil. **Journal Applied Ichthyology**, 2005; 21, 75–79.

WHITE, W. T., CORRIGAN, S., YANG, L., HENDERSON, A. C., BAZINET, A. L., SWORFFORD, D. L. & NAYLOR, G. J. P. Phylogeny of the manta and devil rays (Chondrichthyes: Mobulidae), with an update taxonomic arrangement for the family. **Zoological Journal of the Linnean Society**, 2017; XX, 1-26.