

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE

PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA BIOLÓGICA

OCORRÊNCIA SAZONAL RELACIONADA A
FATORES AMBIENTAIS DA RAIA *Manta*
birostris (WALBAUM, 1792) NO COMPLEXO
ESTUARINO DE PARANAGUÁ, SUL DO
BRASIL

ANDRIELLI MARYAN MEDEIROS

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Oceanografia
Biológica da Fundação Universidade
Federal do Rio Grande, como requisito
parcial à obtenção do título de MESTRE.

Orientador: Luciano Dalla Rosa

RIO GRANDE

MAIO 2016

Para as amadas raias *Manta birostris* que tornam este planeta mais lindo, trazem sentido, desafios, aprendizados e muita felicidade para a minha vida e para todos os verdadeiros cientistas, que trabalham com amor a causa de fazer deste mundo um mundo melhor e não a causa do ego, do lattes, da autopromoção ou só para cumprir tabela, que são sensíveis além de racionais e conseguem ver tudo de diversos ângulos com compreensão, que trazem soluções para conflitos, são transformadores, educadores e que conseguem tratar com amor, dedicação, comprometimento e educação seus orientados, alunos, bancas, colegas, natureza e sociedade.

*“Você nunca está só ou desamparado, a força que guia as
estrelas guia você também”*

ShriiShrii Anandamúrtii

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha família (Zoé, Álvaro, Viviane, Evelin e Jenyffer), essencial em todos os momentos da minha vida, que amo tanto e sempre me apoiou neste caminho científico e aventureiro.

Agradeço a todos os amigos, grandes tesouros, que já eram amigos e estavam lá e os que fiz em Rio Grande e Pelotas: as minas Jose, Bah, Mi, Elisa (um agradecimento especial por toda a ajuda), Laura, Jé, Flor, Lumi, Laís, Dédi, tbm as florezitas Gi, Desi, Pri, Déia, Jé, os meninos Odi, Mário, Dennis, Victor, Samuca, o pessoal da pós Milton, Nicole, Cris, Eurico, Thaisa, Felipe, Pedro, Fernando, Pri, Raquel, Mari, Amapôla, Karine, Édgar, Félix, Ramiro, Fernando, Marie, Vanessa e os grandes amigos artistas de Pelotas Tuy, Anabel, Fer, Chico, Ana, Andrews, o pessoal do Sítio Amoreza, do sítio do Jorge Bruxo, do caminho de São Francisco. Todos vocês me acolheram e trouxeram calor humano, sem vocês e o mate eu certamente não teria suportado o frio do sul.

Agradeço a todos os amigos de Pontal do Sul, Curitiba, São Paulo, Matinhos e Uruguay que me apoiaram, ouviram, ajudaram a descontrair nos momentos tensos e nos campos: Sté que contribuiu com os campos de inverno e no trabalho (muito obrigado!), Nina, Dafne, Laiza, Andressa, Cássia, Marcela, Daya, Cami, Nathalie, Dany, Fer, Bia Salvador, Jeny, DunDum, Mi, Jaque, Iury, Gi, Drica, Nena, Nane, Camila, Ayslin, Tunan, Flor, Dany, Maia, Moa, Mariel, Tiziu, Naty, Gui, Didio, Pedro, Peppe, Fer, Eli, Gustavo, Tannishta, Ratna, Digo, Marcella, Analice, Natascha, Bia, Ale, Bonfil, Gandhi, Marina. Bia Rangel, Bia Salvador e Nata pelas contribuições científicas.

A minha família de coração da Ilha das Peças Carmem, André, Suzi, Rodrigo, Letícia, Cau, Jeny, Charles, Evair e Cristiano e a todos os moradores e

pescadores da Ilha das Peças em especial os caroneiros Willian, Leandro, Juninho da Ilha do Mel, Nano. Obrigado a todos por me aceitar, me respeitar e respeitar as raias manta. A todos que me ajudaram enquanto eu estava doente, Rona, Suzi, Carmen, Ciro, André, Doutor Almir, Mi, Lu, Jake, Iury, minha família.

Ao Luciano pela oportunidade. A Camila Domit e ao Laboratório de Ecologia e Conservação (LEC) da Universidade Federal do Paraná por proporcionar a cota para utilizar os barcos e carros do Centro de Estudos do Mar, ceder o GPS, auxiliar no desenho amostral e no trabalho. Ao professor Luiz Mafra Junior por emprestar a garrafa de coleta. Agradeço muito a todos os motoristas Alexandre, Fumaça, Agnaldo, Nenê, e os barqueiros Josias, Abraão, Mota, Felipe e Roney, vocês foram essenciais para a pesquisa. Ao Instituto das Águas do Paraná por disponibilizar os dados de precipitação.

Agradeço ao Programa e a coordenação da Pós Graduação em Oceanografia Biológica, a Universidade Federal de Rio Grande pela oportunidade de conhecimento e crescimento e a CAPES pela bolsa concedida por 24 meses. Agradeço a Vera, secretária da pós, por todo acolhimento, auxílio e dedicação. Ao Paul Kinas por me ajudar nas análises iniciais e finais. Agradeço a banca, Otto Fazzano Gadig e Maria Cristina Oddone que trouxeram contribuições significativas ao texto e a Maria Cristina também por me ensinar muito durante o estágio docência.

Agradeço a Márcia Sequeira Laurino por todo o auxílio, comprometimento e competência.

A todos que buscam se melhorar e tornar este mundo um mundo melhor, mais harmonioso, justo, consciente, tranquilo e feliz.

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS.....	vi
RESUMO	10
ABSTRACT	11
1. INTRODUÇÃO	13
1.2 Objetivo geral	20
1.2.1 Objetivos específicos.....	20
1.2.2 Hipótese.....	21
2. MATERIAL E MÉTODOS	21
2.1 Área de estudo	21
2.2 Coleta de dados.....	24
2.2.1 Observações de ponto fixo	24
2.2.2 Observações em saídas embarcadas.....	25
2.2.3 Identificação da espécie e classificação dos saltos.....	28
2.3 Análise dos dados	29
3. RESULTADOS	32
3.1 Observações de ponto fixo em terra.....	32
3.2 Observações Embarcadas.....	37
3.2.1 Distribuição temporal e espacial dos saltos	37
3.2.2 Modelos Lineares Generalizados	38
4. DISCUSSÃO.....	43
5. CONCLUSÕES	53
6. LITERATURA CITADA.....	53
LISTA DE TABELAS	

Tabela 1. Sumário das variáveis explicativas testadas nos modelos aditivos generalizados, de presença e ausência de <i>Manta birostris</i> no Complexo Estuarino de Paranaguá. Dados referentes as observação em ponto fixo	25
Tabela 2. Sumário das variáveis explicativas testadas nos modelos lineares generalizados, de presença e ausência de <i>Manta birostris</i> , referentes às saídas embarcadasno Complexo Estuarino de Paranaguá.....	27
Tabela 3. Sumário dos dados referentes às observações em ponto fixo. TSM= Temperatura da superfície do Mar, PM= Precipitação mensal.	33
Tabela 4. Sumário dos resultados dos modelos aditivos generalizados binomiais, de uma única variável explicativa. Dados referentes as observações em terra. GLE = Graus de liberdade estimados, TSM= Temperatura da Superfície do Mar, GLE= graus de liberdade estimados.	35
Tabela 5. Modelos aditivos generalizados de presença e ausência de <i>Manta birostris</i> , variáveis selecionadas, respectivos AICs e deviancia explicada. PA= Presença/Ausência, M= Mês, TSM= temperatura da superfície da água, Ilum= % de iluminação da Lua, PM_G = Precipitação mensal. Em negrito está o modelo selecionado pelo melhor ajuste, devido ao menor AIC.	36
Tabela 6. Sumário das variáveis explicativas testadas para modelar a presença e ausência de <i>Manta birostris</i> , a partir de dados de observações embarcadas, no Complexo Estuarino de Paranaguá. SSM= salinidade da superfície do mar, TSM= temperatura da superfície do mar, GLE= graus de liberdade estimados.	39
Tabela 7. Modelos lineares generalizados de presença e ausência de <i>Manta birostris</i> e seus respectivos AICs. PA= Presença/Ausência, SSM= salinidade da superfície da água, lua= fase da lua, maré = maré, beauford = estado do mar, P7D = precipitação acumulada de 7 dias. P3D= precipitação acumulada de 3 dias. Em negrito está o modelo selecionado pelo melhor ajuste, devido ao menor AIC.	43

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. 1a. Complexo Estuarino de Paranaguá, localizado no estado do Paraná, Sul do Brasil. O quadrado pontilhado representa a área b, que foi contemplada pelo estudo. 1b. Desembocadura norte do Complexo Estuarino de Paranaguá. As linhas pontilhadas representam os transectos percorridos pela embarcação. Os pontos brancos com meio preto representam os pontos de coleta de variáveis, e os pontos pretos representam os avistamentos de *Manta birostris* 23
- Figura 2. *Manta birostris* realizando comportamento de salto no entorno da Ilha das Peças, Complexo Estuarino de Paranaguá: (a),(b) Salto para trás; (c),(d) Salto para frente. Adaptado de Medeiros *et al.*, 2015..... 29
- Figura 3. Gráfico da temperatura de superfície da água (TSM) em cada dia de coleta, referentes às observações de ponto fixo no Complexo Estuarino de Paranaguá. A data está em formato mês/dia/ano. Os pontos indicam os dias em que houve avistamento em cada ano, indicado pela cor. Datas que apresentam somente a linha, sem ponto colorido, são dias em que foi realizado campo, mas não houve avistamento 34
- Figura 4. Funções suaves e efeito das variáveis do modelo de múltiplas variáveis de melhor ajuste, selecionadas pelo método *forward*, relacionando a presença e ausência de *Manta birostris* com preditores temporais e ambientais no Complexo Estuarino de Paranaguá. Dados de observações a partir de ponto fixo em terra. As linhas tracejadas representam os intervalos de confiança de 95%. 37
- Figura 5. Ajustes parciais dos modelos lineares generalizados com uma variável explicativa, relacionando a presença e ausência de *Manta birostris* com preditores temporais e ambientais no Complexo Estuarino de Paranaguá, a partir de dados coletados em saídas embarcadas. Os gráficos são referentes somente as variáveis que apresentaram significância ($p\text{-valor} < 0,05$). As linhas tracejadas e barras de erro representam os intervalos de confiança de 95%... 41
- Figura 6 Gráfico da temperatura e salinidade da superfície da água, referentes às observações embarcadas no Complexo Estuarino de Paranaguá. Os valores são resultantes da soma da média das variáveis, de todas as transecções, em

cada dia. Os retângulos em cinza representam os dias em que foram realizados avistamentos de *Manta birostris*..... 42

RESUMO

Fatores abióticos e bióticos podem afetar a distribuição e ocorrência de espécies marinhas, incluindo tubarões e raias. A raia manta, *Manta birostris*, apresenta uma distribuição circunglobal e de grande amplitude latitudinal. A espécie é visitante regular de ilhas oceânicas, montes submarinos e quebras de plataforma, mas também é avistada em estuários. Entretanto, ainda não se sabia se nestas áreas estuarinas a ocorrência da espécie é sazonal, quais fatores influenciam sua presença, e qual a amplitude de salinidade, temperatura e transparência da água que caracteriza a presença da espécie nestes locais. Neste estudo investigou-se a presença (registrada a partir de saltos) de *M. birostris* no Complexo Estuarino de Paranaguá, Sul do Brasil, em relação a variáveis temporais (dia, mês, ano) e ambientais (salinidade e temperatura da superfície do mar, estado do mar na escala Beaufort, estado da maré, transparência da água, precipitação, fase e porcentagem de iluminação da lua. Para isso, foram realizadas observações a partir de ponto fixo em terra durante 129 dias entre 2011 e 2015, e observações a partir de embarcação durante 42 dias entre 2014 e 2015. No total foram observados 387 saltos a partir de ponto fixo e 18 saltos a partir das observações embarcadas. A ocorrência foi confirmada como sazonal devido à presença da espécie saltando na região no verão e outono, e nenhum salto no inverno, e reforçada pelas informações dos pescadores artesanais. *Manta birostris* foi observada em temperaturas entre 22,5 e 32,7°C, em salinidade entre 16 e 30, a precipitação mensal preferencialmente acima de 100mm³ e preferencialmente durante a maré vazante. Utilizando modelos lineares generalizados observou-se que a

salinidade da água e maré foram às variáveis mais significativas para determinar a presença da espécie no CEP entre 2014 e 2015. A partir dos modelos aditivos generalizados de presença e ausência, foi possível verificar que o mês, temperatura, precipitação e porcentagem de iluminação da lua, foram as variáveis que formularam o modelo que mais se ajustou para determinar a presença da espécie no CEP entre os anos de 2011 e 2015. A temperatura e salinidade da superfície da água e a precipitação apresentaram correlações. A combinação entre alta temperatura da água e precipitação moderada gera uma redução na salinidade da água e todos estes fatores podem estar relacionados ao aumento da abundância zooplânctônica na região, que pode estar sendo utilizada pela *M. birostris* para alimentação. O estudo comprovou que a espécie pode habitar salinidades da água moderadas entre 16 e 25, e possivelmente ser considerada uma espécie parcialmente eurihalina. Hipóteses sobre o papel dos saltos para alimentação e aumento do metabolismo foram formuladas.

PALAVRAS-CHAVE

Raia manta – influência ambiental – sazonalidade – modelagem estatística - eurihalino parcial

ABSTRACT

Abiotic and biotic factors can affect the distribution and occurrence of sharks and rays. The manta ray, *Manta birostris* presents a circunglobal and

broad latitudinal distribution. The species is a regular visitor in oceanic islands, seamounts and offshore pinnacles, but is also sighted in estuaries. However, it is uncertain whether in these estuarine areas the occurrence of the species is seasonal, which factors influence its presence, and what is the amplitude of watersalinity, temperature and transparency that characterize the species presence in this site. In this study was investigated *M. birostris* presence (recorded from breachings) in Paranaguá Estuarine Complex, southern Brazil, in relation to temporal (day, month, year) and environmental (salinity and sea surface temperature, Beaufort sea state, tide state, water transparency, precipitation and percentage of moon lighting) variables. For this, observations were made from a fixed point on land for 129 days between 2011 and 2015, and from vessel for 42 days between 2014 and 2015. In total 387 breachings were seen from fixed point and 18 from the vessel. The occurrence of *M. birostris* was confirmed as seasonal due to the presence of the species in the region performing breaches during the summer and autumn, and the absence of breaches in winter, fact reinforced by information from artisanal fishermen. *Manta birostris* was observed at sea surface temperatures between 22.5 and 32.7°C, sea surface salinities between 16 and 30, monthly rainfall preferably above 100mm³ and preferably during ebb tide. Using gGeneralized linear models revealed that the water salinity and tide were the most significant variables in determining the presence of the species in the CEP between 2014 and 2015. From generalized additive models of presence and absence, it was verified that the month, temperature, rainfall and percentage moon lighting were the variables that formulated the model that best fitted the data on the presence of the species in the CEP during 2011 through 2015. Water surface temperature

and salinity showed correlations with precipitation. The combination of high water temperatures and moderate rainfall generates a reduction in water salinity, and all of these factors may be related to the increase in zooplankton abundance in the region, which might be a food source for *M. birostris*. The study showed that the species can inhabit moderate water salinities between 16 and 25, and may possibly be considered a partially euryhaline species. Hypotheses on the role of breachings for feeding and increased metabolism were formulated.

KEY WORDS

Manta ray - environmental influence- seasonality - statistical modeling- partially euryhaline

1. INTRODUÇÃO

Os elasmobrânquios (Chondrichthyes, Elasmobranchii), grupo formado por tubarões e raias, uma das mais antigas e diversas linhagens de vertebrados que surgiram há pelo menos 455 milhões de anos e, rapidamente, irradiaram ocupando vários níveis da cadeia trófica e ambientes (Camhi *et al.*, 1998). São organismos marinhos bem sucedidos devido a vários fatores como radiações adaptativas, especialização progressiva, resiliência e complexidade ecológica, reprodutiva e comportamental (Compagno, 1990). Os elasmobrânquios são capazes de habitar águas profundas e costeiras, doces,

estuarinas e marinhas, e podem ser bentônicos, bento-pelágicos ou pelágicos (Nelson, 2004; Compagno, 2005). Os elasmobrânquios são predominantemente predatórios; no entanto, algumas espécies também são filtradoras zooplanctófagas como as raias manta, tubarões baleia e tubarões frade (Compagno, 2005).

O gênero *Manta* (Rajiformes, Myliobatoidei, Mobulidae) foi recentemente dividido em duas espécies (Marshall *et al.*, 2009): *Manta alfredi* (Krefft 1868), a raia manta recifal e *Manta birostris* (Walbaum 1792), a raia manta gigante. *Manta birostris* é a maior espécie de *Mobulidae* conhecida, alcançando até 7m de largura de disco e 2000 kg de peso corpóreo. As raias do gênero *Manta* são consideradas “Vulneráveis” a extinção pela União Mundial para a Conservação da Natureza (Marshall *et al.*, 2011) devido a sua suscetibilidade à sobrepesca e ao declínio global da espécie, gerado pelas pescarias direcionadas para suprir a demanda de brânquias para consumo humano nos mercados asiáticos (Couturier *et al.*, 2012; Ward-Paige *et al.*, 2013; Dulvy *et al.*, 2014).

Manta spp. são altamente suscetíveis à sobreexploração, devido a suas características biológicas que incluem maturidade tardia, baixa fecundidade, longo tempo de gestação, crescimento lento (Couturier *et al.*, 2012). Apresentam viviparidade histotrófica lipídica protéica, que é caracterizada pela formação de secreções ricas em lipídios, secretadas pela mucosa uterina, que desenvolve trofonemas glandulares que permitem que o embrião tenha um crescimento significativo durante a gestação (Wyffels, 2009; Tomita *et al.*, 2012).

Para *M. birostris*, o tamanho de maturidade sexual varia conforme o local e sexo. Em Moçambique, machos atingem a maturidade com

aproximadamente 4m de largura de disco (LD), e na Indonésia os machos atingem a maturidade com cerca de 3,75 m de LD. Em ambos os locais as fêmeas atingem a maturidade com mais que 4 m de LD (Marshall *et al.*, 2009; White *et al.*, 2006, Marshall *et al.*, 2011). Acredita-se que as fêmeas atingem a maturidade entre 8 a 10 anos de idade e a longevidade estimada é de 40 anos (Marshall *et al.*, 2011).

O conhecimento sobre o desenvolvimento e crescimento dos neonatos da *M. birostris*, assim como a localização das áreas de reprodução, parto e berçário é pouco conhecida (Deakos, 2010; Marshall & Bennett, 2010). Entretanto, relatos de tamanho da ninhada são consistentemente de um único filhote (Coles, 1916; Beebe & T-Van, 1941; Bigelow e Schroeder, 1953; Marshall *et al.*, 2011). Sua congênere *M. alfredi* dá a luz a somente um filhote, após uma gestação de período estimado em um ano (Marshall & Bennett, 2010).

Manta birostris habita águas mornas de todos os oceanos, apresentando uma ocorrência circunglobal e de grande amplitude latitudinal (Marshall *et al.* 2009). A espécie é considerada mais oceânica e migratória que *M. alfredi*, por ser visitante regular de ilhas oceânicas, montes submarinos e quebras de plataforma, mas também é avistada em áreas costeiras (Marshall *et al.* 2009). *Manta birostris* também demonstra fidelidade ao habitat, agregações sazonais e percorre distâncias de meso-escala, realizando migrações de mais de 1000km (Marshall *et al.*, 2009; Luiz *et al.*, 2009; Kashiwagi *et al.*, 2011; Marshall *et al.*, 2014; Girondot *et al.*, 2015). Devido a estes fatos, a espécie foi incluída no apêndice I e II da Convenção de Espécies Migratórias e no apêndice II da Convenção sobre o Comércio Internacional de Espécies Ameaçadas.

No Brasil, do gênero *Manta*, ocorre somente *M. birostris* (Gadig & Sampaio, 2002), a qual foi incluída no Livro Vermelho da *Fauna* Brasileira Ameaçada de Extinção listada como “Vulnerável” em 17 de dezembro de 2014, por meio da Portaria MMA Nº 445 (Brasil, 2014). Além disso, a captura e comercialização de produtos e subprodutos dos *Mobulideos* estão proibidas em águas sobre jurisdição brasileira e território nacional desde 13 de março de 2013, por meio da Instrução Normativa Interministerial MPA/MMA Nº 02 (Brasil, 2013).

Manta birostris já foi registrada no litoral de Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Pernambuco, do Rio Grande do Norte até Amazonas e no Arquipélago de São Pedro e São Paulo (Bigelow & Schroeder, 1953; Mazzoleni & Schwingel, 1999; Luiz Jr. *et al.*, 2009; Lessa *et al.*, 2008; Lessa *et al.*, 2009; Mendonça *et al.*, 2012; Medeiros *et al.*, 2015; Cintra *et al.*, 2015). Mas a ocorrência da espécie é confirmada como sazonal somente na Laje de Santos, no estado de São Paulo (Luiz *et al.*, 2009). A ocorrência de *M. birostris* no Paraná foi reportada anteriormente (Bornatowski *et al.*, 2009; Hackradt & Félix-Hackradt, 2009; Domit, 2006), e Medeiros *et al.* (2015) confirmaram a presença da espécie nas águas estuarinas do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP).

Entretanto, estudos sobre *M. birostris* em estuários são raros. A espécie foi avistada em estuários somente na costa noroeste do Oceano Atlântico Ocidental nos Estados Unidos nos estuários de Cape Lookout e Cape Fear na Carolina do Norte (Coles, 1916; Schwartz, 2000) e em Indian River Lagoon na Florida (Adams & Amesbury, 1998), e no extremo sul da costa sudoeste do Oceano Atlântico, no Rio da Prata, Uruguai (Milessi & Oddone, 2003). No

entanto, estas ocorrências foram consideradas acidentais e de indivíduos errantes (Adams & Amesbury, 1998; Milessi & Oddone, 2003). Ainda não se sabe se a espécie é transiente, residente ou visitante sazonal no CEP, mas informações dos pescadores da região indicam que a espécie ocorre entre Outubro e Maio com um pico de ocorrência nos meses de verão, e sugere-se, a partir de observações comportamentais e informações dos pescadores, que a espécie possa estar utilizando o CEP para parto e berçário (Medeiros *et al.*, 2015).

Investigar a abundância e distribuição das populações de elasmobrânquios pelágicos é um desafio, pois ao contrário dos mamíferos e répteis, eles não têm que vir à superfície para respirar (Nortobartolo di Sciara, *et al.*, 2015). A turbidez da água do CEP não permite visualizar *M. birostris* a partir de mergulhos, mas é possível avistá-las saltando para fora d'água, (Medeiros *et al.*, 2015). *Mobulídeos* parecem ter abandonado a vida no substrato para nadar na coluna d'água, onde realizam movimentos peitorais na natação que as permitem também saltar para fora d'água, dando cambalhotas no ar (Bigelow & Shroeder, 1953).

O comportamento de salto é relativamente comum para o grupo (Rayner, 1986), mas ainda não se sabe quais as motivações para os saltos (Homma *et al.* 1999). Existem somente hipóteses de que este comportamento possa estar relacionado com o parto, remoção de rêmoras (Echeneidae), brincadeiras e comunicação (Homma *et al.*, 1999; Deakos, 2010; Marshall & Bennett, 2010). Em Moçambique, 90% dos saltos de *M. alfredi* ocorreram no período de corte e acasalamento, sugerindo que o salto possa estar relacionado também ao comportamento de corte (Marshall & Bennett, 2010).

Os elasmobrânquios comumente realizam migrações sazonais para alimentação, reprodução e busca de proteção contra predadores (Simpfendorfer & Milward, 1993). *Manta birostris* apresenta um grau de afinidade local e realiza migrações sazonais em várias localidades, como África, México e Nova Zelândia (Duffy & Abbott, 2003; Marshall *et al.* 2011; Graham *et al.*, 2012; Rohner *et al.*, 2013). Picos de ocorrência sazonais da espécie nesses locais foram observados, nos quais as agregações tinham o intuito de alimentação, corte ou limpeza (Marshall *et al.* 2011).

O movimento de tubarões e raias é guiado por fatores abióticos como a temperatura (Schlaff *et al.* 2014). Entender os movimentos de grandes animais migratórios é importante para conservação e manejo das espécies (Wilson *et al.*, 2006). Entretanto, a capacidade de dispersão, ecologia comportamental e uso de habitat por elasmobrânquios planctófagos como as raias manta (*Manta* spp.), e os fatores que influenciam os padrões de ocorrência sazonal ainda não são bem entendidos (Couturier *et al.*, 2012; Jaine *et al.*, 2014).

A maioria dos estudos relacionando *Manta* spp. e variáveis ambientais são voltados para a *M. alfredi*, sendo que a concentração de clorofila-a, maré, vento, lua e correntes parecem influenciar sua distribuição e ocorrência (Dewar *et al.*, 2008; O'Shea *et al.*, 2010; Anderson *et al.* 2011; Jaine *et al.*, 2012; Rohner *et al.*, 2013). Para ocorrência de *M. birostris* foram encontradas relações com a temperatura superficial da água, concentração de clorofila-a, frentes geradas por descarga de rios e iluminação da lua (Luiz *et al.* 2009; Freedman & Sen Roy, 2012; Rohner *et al.*, 2013; Graham *et al.*, 2013; Girondot *et al.*, 2015). A temperatura e a salinidade afetam a distribuição e ocorrência de tubarões e raias que utilizam águas estuarinas (Hopkins & Cech, 2003; Collins

et al., 2008), mas ainda não se sabe quais fatores influenciam a presença de *M. birostris* em estuários. Especificamente para o CEP, não se conhece, por exemplo, os locais onde a espécie ocorre dentro do estuário e a amplitude de salinidade, temperatura e turbidez da água que caracteriza a sua presença.

O único estudo que relata as condições ambientais durante uma ocorrência da espécie em área estuarina foi no Uruguai, no qual um único indivíduo macho de *M. birostris* foi capturado no verão, na foz do Rio da Prata. Condições oceanográficas atípicas estavam em vigor no momento da captura, sendo registrados 32,6 de salinidade, valor muito superior à média de 20,0 para a área nesse período, o que pode ser explicado pela ausência de chuvas na região naquela época. Esse fato resultou em uma diminuição no aporte fluvial do Rio da Prata e no aumento da penetração da água do mar, aumentando a salinidade (Milessi & Oddone, 2003).

Estuários possuem uma alta produtividade, sendo habitat chave para muitas espécies que habitam esta área de hidrodinâmica ativa influenciada por marés e pela drenagem continental, que geram flutuações nos parâmetros da água resultantes da convergência entre água doce e salgada (Able, 2005). Conseqüentemente, a fauna estuarina está freqüentemente sujeita a variações bruscas em variáveis como correntes, temperatura e salinidade (Collins *et al.*, 2008). Estudos que relacionem a distribuição e ocorrência de *M. birostris* com fatores ambientais são, portanto, necessários para melhor entender a ecologia da espécie.

Além disso, elasmobrânquios que habitam água doce ou estuarina são altamente vulneráveis a variabilidade climática, por estarem suscetíveis a

interações de múltiplos fatores que podem afetá-las diretamente, como variações marcantes na temperatura d'água, na entrada de água doce no sistema e na circulação estuarina (Chin *et al.*, 2010). Compreender como os organismos usam estes sistemas estuarinos e a resposta frente a alterações de fatores ambientais é essencial para a gestão adequada e conservação das espécies (Collins *et al.*, 2008).

1.2 Objetivo geral

Investigara distribuição dos saltos da *Manta birostris* e a influência de variáveis oceanográficas e meteorológicas na ocorrência da espécie no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP).

1.2.1 Objetivos específicos

- 1) Registrar a presença e ausência de *Manta birostris* no CEP através dos saltos;
- 2) Avaliar se a presença da espécie no CEP é sazonal;
- 3) Identificar as amplitudes de salinidade, temperatura e transparência da água que caracterizam a presença da espécie no CEP;
- 4) Avaliar a relação entre a presença/ausência da *Manta birostris* no CEP e variáveis temporais (dia, mês) oceanográficas e meteorológicas (estado da maré e do mar; salinidade, temperatura e turbidez da água e, precipitação), a partir de observações durante saídas embarcadas.

- 5) Avaliar a relação entre a presença/ausência da *Manta birostris* no CEP e variáveis temporais (dia, mês e ano) oceanográficas e meteorológicas (estado da maré; temperatura, precipitação), a partir de observações de ponto fixo em terra.

1.2.2 Hipótese

Devido aos hábitos migratórios da *Manta birostris*, o uso do Complexo Estuarino de Paranaguá pela espécie é sazonal e influenciado por fatores oceanográficos e meteorológicos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP, Figura 1a) é um grande sistema estuarino subtropical, localizado no Sul do Brasil, na porção centro-norte do litoral paranaense (25°27'38,4"S; 48°20'07,2"W). O CEP é um dos menos impactados sistemas costeiros do sul do Brasil, possuindo remanescentes da Mata Atlântica preservados, manguezais, restingas e planícies de maré, além de uma grande biodiversidade (Lana *et al.*, 2001). A região é considerada Patrimônio Mundial e Reserva da Biosfera das Nações Unidas desde 1991, e ao redor do CEP está concentrado um mosaico de unidades de conservação.

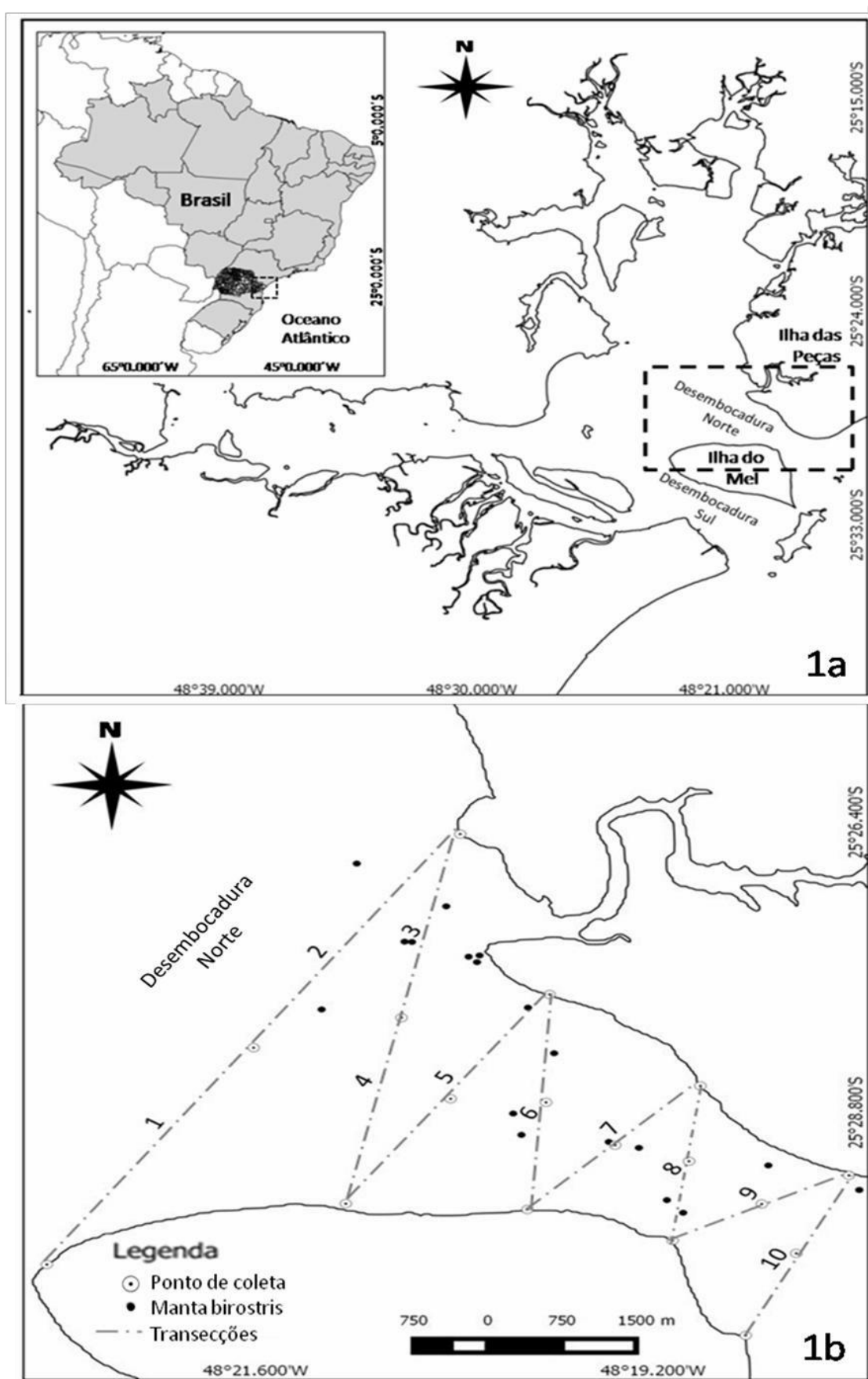


Figura 1. 1a.Complexo Estuarino de Paranaguá, localizado no estado do Paraná, Sul do Brasil. O quadrado pontilhado representa a área b, que foi contemplada pelo estudo. 1b. Desembocadura norte do Complexo Estuarino de Paranaguá. As linhas pontilhadas representam os transectos percorridos pela embarcação. Os pontos brancos com meio preto representam os pontos de coleta de variáveis, e os pontos pretos representam os avistamentos de *Manta birostris*.

Este sistema possui 612 km² e é composto pelas baías de Paranaguá e Antonina (260 km²), no eixo Leste-Oeste, e as baías de Laranjeiras e Pinheiros (200 km²), no eixo Norte-Sul (Lana *et al.*, 2001). O estuário se conecta ao oceano através de duas desembocaduras principais (Norte e Sul), separadas pelo posicionamento da Ilha do Mel, além da ligação pelas barras do Superagüi e do Ararapira. A desembocadura Norte apresenta dois canais (Norte e Sudeste) subdivididos pela Ilha das Palmas. Já a desembocadura Sul é composta pelo Canal da Galheta, que constitui o canal preferencial de maré e acesso navegável. *Manta birostris* habita a desembocadura norte do CEP.

O estuário tem profundidades variadas, sendo a média de 4,7 m e a profundidade máxima de 30 m. O regime de marés é em grande parte responsável pela mistura de propriedades entre o sistema interno e o mar aberto, é semi-diurno (com desigualdades diurnas), com uma altura de até 2,7 m, velocidade de maré enchente de 1,10 ms⁻¹ e 0,85 ms⁻¹ durante a maré vazante (Marone *et al.*, 2005; Marone *et al.*, 2007).

O CEP apresenta homogeneidades laterais, sendo considerado um estuário parcialmente misturado do “tipo b”, onde a salinidade aumenta em direção à jusante (Marone *et al.*, 2007). A coluna d’água possui águas turvas e estrutura vertical essencialmente homogênea, exceto em momentos como no início da maré vazante e em períodos de chuvas intensas, quando se

distinguem duas camadas de densidades diferentes bem marcadas (Marone *et al.*, 2007).

No CEP estão localizados os Portos de Paranaguá e Antonina, cujo acesso se dá pelo Canal da Galheta, na desembocadura sul. O Porto de Paranaguá é atualmente o maior porto graneleiro da América Latina. A pesca na região é essencialmente artesanal e constitui a fonte de renda principal para muitos moradores das vilas do CEP (Andriguetto-Filho, 1998).

2.2 Coleta de dados

2.2.1 Observações de ponto fixo

Foi realizado esforço de busca de saltos de *M. birostris* por um observador, a partir de terra, em horários escolhidos aleatoriamente entre 8 e 18 horas, entre dezembro de 2011 e maio de 2012 a partir de dois pontos fixos: ponto 1 (P1) (25°27'38,4"S e 48°20'07,2"W); ponto 2 (P2) (25°27'32,39"S e 48°20'27,63"W). Entre janeiro e maio de 2013, entre dezembro de 2013 e abril de 2014, e entre dezembro de 2014 e junho de 2015, as observações foram realizadas somente no P1. Foram registrados todos os saltos executados pelos exemplares de *M. birostris* observados em uma área de até 3000 metros de raio de distância do observador.

Variáveis temporais (dia do ano, mês e ano) e ambientais (precipitação mensal e temperatura de superfície da água) foram relacionadas presença e ausência de *M. birostris* (Tabela 1). Valores de precipitação da estação meteorológica "Rio Guaraqueçaba" localizada no município de Guaraqueçaba,

Paraná, foram fornecidos pelo Sistema de Informações Hidrológicas do Instituto das Águas do Paraná (<http://www.aguasparana.pr.gov.br>). Dados de temperatura foram obtidos a partir de imagens semanais de satélite do sensor MODIS-AQUA, com resolução de 4km, pelo banco de dados disponível no site oceancolor.gsfc.nasa.gov e tratados no programa SeaDAS.

Tabela 1. Sumário das variáveis explicativas testadas nos modelos aditivos generalizados, de presença e ausência de *Manta birostris* no Complexo Estuarino de Paranaguá. Dados referentes as observação em ponto fixo.

Variável Explanatória	Nome	Tipo	Amplitude dos dados
Dia do Ano	DA	Discreta	1 - 365
Mês	Mes	Discreta	1 - 6
Ano	Ano	Categórica	2011 – 2015
Precipitação mensal	MP	Contínua	52,2 - 634,3 mm
Temperatura da superfície da água	TSM	Contínua	19 - 30,4 °C

2.2.2 Observações em saídas embarcadas

Dados de presença e ausência de *M. birostris* foram coletados durante saídas embarcadas realizadas de maio a agosto e em dezembro de 2014, e de janeiro a junho de 2015. Não foi possível coletar dados entre setembro e

novembro de 2014, devido a problemas técnicos com a embarcação. Foi realizado um total de 42 expedições na desembocadura norte do CEP, durante boas condições de visibilidade do tempo, utilizando um barco de fibra com motor de 60 hp. O trabalho de campo durava em média 5 horas e era realizado no turno da manhã, sempre que possível entre 8 e 12 horas. Utilizou-se a técnica de transecções em linha não randomizados (Buckland *et al.*, 2001), na qual cada transecção tinha entre 4 e 6 km (Figura 1b) e era percorrida navegando a 15/20 km por hora.

Como o local não possui visibilidade para mergulho, o único modo de realizar os registros é a partir de saltos para fora d'água realizados pela espécie. O esforço de busca de *M. birostris* foi realizado por dois observadores, observando a frente, e de -90 a 90 graus. A posição do barco, rumo e velocidade foram continuamente registradas por um GPS. A localização de cada avistamento foi estimada a partir do rumo e distância radial do avistamento e a verdadeira posição do barco no momento. A posição dos avistamentos e linhas percorridas nas transecções foram importadas para bases de dados SIG no software Quantum GIS 2.8.3 Wien (QGIS Development Team, 2009).

Variáveis consideradas como potencialmente relevantes para a distribuição da *M. birostris* também foram registradas, incluindo a temperatura da superfície do mar, a salinidade da superfície, transparência da água, precipitação, estado do mar, marés, dia do ano e mês (Tabela 2). As variáveis oceanográficas foram coletadas na superfície, em pontos fixos de coleta ao longo das linhas das transecções e no momento do avistamento (Figura 1b). As variáveis foram obtidas a partir de amostras de água de superfície, nas quais a

temperatura da água foi medida por um termômetro de mercúrio calibrado, a salinidade por um refratômetro calibrado e a transparência da água por um disco de Secchi.

O estado de vento e mar foi classificado entre de 0 e 12 de acordo com a escala Beauford. Os dados do estado de maré foram fornecidos pela Marinha do Brasil (www.mar.mil.br). A maré foi categorizada como enchente e vazante, pela previsão da Tábua de Marés da Barra de Paranaguá Canal Sueste. Valores de precipitação da estação meteorológica “Rio Guaraqueçaba” localizada no município de Guaraqueçaba, Paraná, foram fornecidos pelo Sistema de Informações Hidrológicas do Instituto das Águas do Paraná (<http://www.aguasparana.pr.gov.br>).

Tabela 2. Sumário das variáveis explicativas testadas nos modelos lineares generalizados, de presença e ausência de *Manta birostris*, referentes às saídas embarcadas no Complexo Estuarino de Paranaguá.

Variável Explanatória	Nome	Tipo	Amplitude dos dados
Temperatura da superfície da água	TSM	Contínua	18 - 30,9°C
Salinidade da superfície da água	SSM	Contínua	16 - 34
Mês	Mes	Discreta	1 - 12
Dia do Ano	DA	Discreta	1 - 365
Ano	Ano	Categórica	2011 – 2015

Maré	Maré	Categórica	Vazante, enchente
Transparência da água	TA	Contínua	0,2 - 3,5 m
Estado do Mar	B	Categórica	0-3
Precipitação mensal	MP	Contínua	67,3 – 643,3 mm
Precipitação acumulada 30 dias	30MP	Contínua	57,6 - 625,3 mm
Precipitação acumulada 15 dias	15MP	Contínua	16,6 - 461,2 mm
Precipitação acumulada 7 dias	7MP	Contínua	0 - 269,1 mm
Precipitação acumulada 3 dias	3MP	Contínua	0 -91,5 mm

2.2.3 Identificação da espécie e classificação dos saltos

A identificação da espécie foi realizada a partir das características segundo Marshall *et al.* (2009): dorso negro com duas machas brancas triangulares que formando um “T” negro em meio às manchas, ventre branco, presença de nadadeiras cefálicas e boca terminal. Os saltos foram classificados conforme Medeiros *et al.* (2015), como “salto para trás” e “salto

para frente” (Figura 2), e saltos únicos (um salto somente) ou sequenciais (um salto é realizado e, em menos de 30 segundos, é repetido uma ou duas vezes).



Figura 2. *Manta birostris* realizando o comportamento de salto no entorno da Ilha das Peças, Complexo Estuarino de Paranaguá: (a),(b) Salto para trás;(c),(d) Salto para frente. Adaptado de Medeiros *et al.*, 2015.

2.3 Análise dos dados

Para os dados registrados a partir de ponto fixo em terra, a relação entre a presença e ausência da *Manta birostris* e variáveis temporais, oceanográficas e meteorológicas foi investigada com modelos aditivos generalizados (GAM - Hastie e Tibshirani, 1990). O GAM permite modelar uma variável resposta como uma função não-linear das variáveis explicativas. O GAM segue uma estrutura de modelo da seguinte forma (Wood, 2006):

$$g(\mu_i) = X_i\theta + f_1(x_{1i}) + f_2(x_{2i}, x_{3i}) + f_3(x_{4i}) + \dots$$

Onde, $\mu_i = E(y_i)$ e y_i é uma família com distribuição exponencial; g é uma função de ligação conhecida, monotonica, duas vezes diferenciável; X_i é a linha de uma matriz modelo para todos os componentes do modelo estritamente paramétricos, com parâmetro vetorial θ ; f_j é uma função suavizadora de x_j co-variáveis.

Para os dados coletados nas observações embarcadas, a presença e ausência da espécie e variáveis temporais, oceanográficas e meteorológicas, foram modeladas como uma função de variáveis ambientais por meio de modelos lineares generalizados (GLM) (McCullagh & Nelder, 1989). Um GLM tem a estrutura básica (Wood, 2006):

$$g(\mu_i) = X_i\beta$$

Onde $\mu_i = E(Y_i)$, g é uma "função de ligação", X_i é a linha da matriz do modelo, X , e β é um vetor de parâmetros desconhecidos. Além disso, um GLM geralmente supõe que a distribuição de Y_i seja independente, e que Y_i depende de uma distribuição de família exponencial.

O GLM e GAM permitem uma distribuição da variável resposta, diferente que a normal. Como os dados são relativos à presença e ausência da espécie, a distribuição binomial com função de ligação "logit", foi utilizada para ajustar os modelos aos dados (Zuur *et al.*, 2007). Para os dados de ponto fixo, a variável resposta foi presença e ausência por dia e para os dados das coletas embarcadas a variável resposta foi à presença e ausência por transecção. As

análises foram realizadas no *software* R (Team R Development Core, 2010) versão 2.13.1, utilizando o pacote *mgcv* (Wood, 2011) que inclui modelos lineares generalizados e aditivos generalizados de estimação penalizados.

Em ambas as análises, primeiramente uma análise exploratória dos dados foi realizada para identificar outliers e outros potenciais problemas nos dados que poderiam afetar o modelo (Zuur *et al.*, 2007). Em seguida foram elaborados modelos com uma única variável explanatória para verificar a contribuição de cada variável explicativa individualmente e selecionar as variáveis com melhor ajuste, que se baseia no critério AIC (Akaike Information Criterion) (Zuur *et al.*, 2009). O AIC é calculado pela seguinte fórmula:

$$AIC = -2\ln(L) + 2q$$

Onde L é valor máximo da função de verossimilhança e q o número de parâmetros do modelo.

Quanto menor o valor AIC, melhor é o ajuste do modelo, o que também ajuda a identificar a variável mais explicativa para aquele conjunto de dados (Cabral *et al.*, 2009). Posteriormente pairplots de todas as variáveis explicativas foram realizados para identificar variáveis correlacionadas. Quando foi encontrada correlação entre duas variáveis ($r \geq 0,55$), a menos significativa foi retirada da análise do modelo de múltiplas variáveis. Esta abordagem evita multicolinearidade, o que poderia gerar problemas no desempenho dos modelos (Zuur *et al.*, 2007). As variáveis selecionadas foram ordenadas pelo

melhor ajuste de AIC, e adicionadas uma a uma pelo método *forward*. O AIC foi comparado em cada modelo, até formular o modelo de múltiplas variáveis com melhor ajuste e parcimônia. A validação do modelo seguiu também a avaliação gráfica dos resíduos padronizados dos modelos (Zuur *et al.*, 2009).

3. RESULTADOS

3.1 Observações de ponto fixo em terra

Um total de 387 saltos foram registrados em 65 dos 129 dias de observação entre 2011 e 2015 (Tabela 3, Figura 3). Do total dos saltos, foram 133 saltos únicos (42,90%), 168 saltos seqüenciais duplos (54,19%) e 9 saltos seqüenciais triplos (2,9%), e destes, 308 (99%) foram “saltos para trás” e somente 2 (1%) “saltos para frente”.

Tabela 3. Sumário dos dados referentes às observações em ponto fixo. TSM= Temperatura da superfície do Mar, PM= Precipitação mensal.

Período de campo	Horas de campo	Dias de observação	Dias de presença	Nº avistamentos	Período de avistamento	Amplitude TSM (°C) presença/ausência	Amplitude TSM (°C) presença	Amplitude PM (mm ³) presença/ausência	Amplitude PM (mm ³) presença
2011- 2012	257	28	19	99	Janeiro a maio de 2012	22,5-29,2	22,5-29,2	144,9-313,4	144,9-313,4
2013	181	28	14	147	Janeiro a maio de 2013	24,8-28,7	24,8-28,7	52,2-361,5	52,2-361,5
2013- 2014	145	29	12	64	Janeiro a abril de 2014	24,0-30,4	26,6-30,4	242-609,8	193,8-609,8
2014 -2015	209	44	20	77	<u>Janeiro a junho de 2015</u>	19,0-30,2	23,2-30,2	67,9-634,3	67,9-634,3
Total	792	129	65	387	-	19,0-30,4	22,5-30,4	52,2-643,3	52,2-634,3

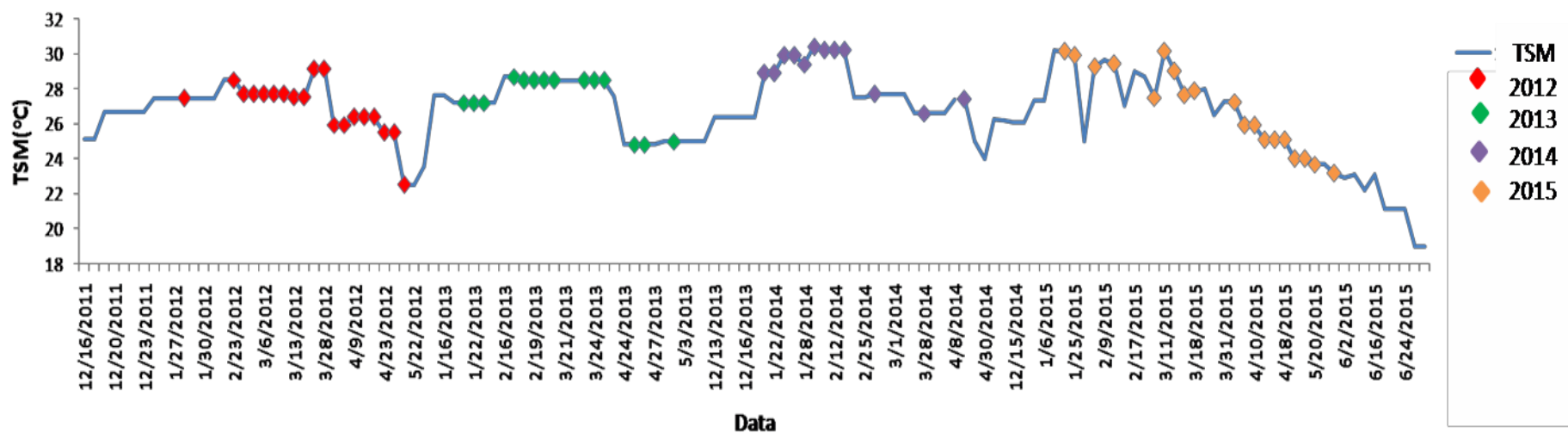


Figura 3. Gráfico da temperatura de superfície da água (TSM) em cada dia de coleta, referentes às observações de ponto fixo no Complexo Estuarino de Paranaguá. A data está em formato mês/dia/ano. Os pontos indicam os dias em que houve avistamento em cada ano, indicado pela cor. Datas que apresentam somente a linha, sem ponto colorido, são dias em que foi realizado campo, mas não houve avistamento.

No modelo de uma variável explicativa, a que obteve melhor ajuste foi mês, seguida em ordem decrescente pelas variáveis TSM, precipitação mensal, iluminação da lua e ano (Tabela 4, Figura 4).

Tabela 4. Sumário dos resultados dos modelos aditivos generalizados binomiais, de uma única variável explicativa. Dados referentes às observações em terra. GLE = Graus de liberdade estimados, TSM= Temperatura da Superfície do Mar, GLE= graus de liberdade estimados.

Variável Explanatória	GLE	AIC	Pr(> z)	Significância	Desvio Explicado
Mês	3.91	159.11	8.35e-05	***	19.1%
TSM	4.45	172.27	0.00553	**	12.6%
Precipitação Mensal	8.23	176.57	0.00958	**	14.4%
% de Iluminação da Lua	4.79	185.76	0.137		5.77%
Ano	2.00	190.90	0.81		0.0294%
Códigos de Significância: 0 „***“ 0.001 „**“ 0.01 „*“ 0.05 „.“ >0.1 „-“					

Como as variáveis não apresentaram correlações entre elas, todas foram testadas no modelo com múltiplas variáveis. No modelo com múltiplas

variáveis, o modelo que obteve o melhor ajuste, apresentando o menor AIC, foi o que inclui as variáveis: mês, TSM, precipitação mensal e porcentagem de iluminação da Lua, (Tabela 5, Figura 5).

Tabela 5. Modelos aditivos generalizados de presença e ausência de *Manta birostris*, variáveis selecionadas, respectivos AICs e desvio explicado. PA= Presença/Ausência, M= Mês, TSM= temperatura da superfície da água, Ilum= % de iluminação da Lua, PM_G = Precipitação mensal. Em negrito está o modelo selecionado pelo melhor ajuste, devido ao menor AIC.

Modelo	AIC	Desvio explicado
PA ~ s(M, bs = "ts", k = 5) + s(TSM)	151,92	24.5%
PA ~ s(M, bs = "ts", k = 5) + s(TSM) + s(PM_G)	136.68	41.8%
PA ~ s(M, bs = "ts", k = 5) + s(TSM) + s(PM_G) + s(Ilum)	136.53	42,8%
PA ~ s(M, bs = "ts", k = 5) + s(TSM) + s(PM_G) + s(Ilum) + factor(Ano)	142.25	43,4%

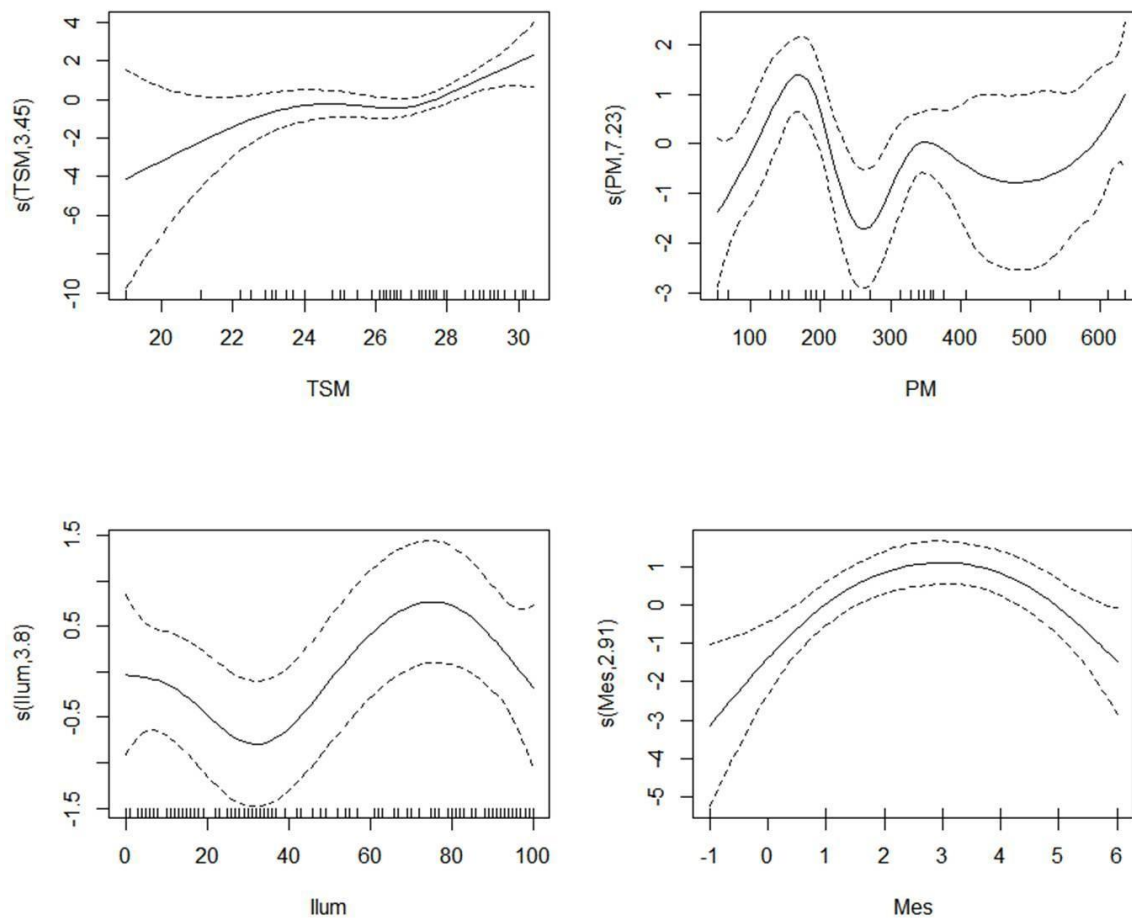


Figura 4. Funções suaves e efeito das variáveis do modelo de múltiplas variáveis de melhor ajuste, selecionadas pelo método *forward*, relacionando a presença e ausência de *Manta birostris* com preditores temporais e ambientais no Complexo Estuarino de Paranaguá. Dados de observações a partir de ponto fixo em terra. As linhas tracejadas representam os intervalos de confiança de 95%.

3.2 Observações Embarcadas

3.2.1 Distribuição temporal e espacial dos saltos

Foi registrado um total de 18 saltos de *Manta birostris* em 12 dias dos 42 dias de acompanhamento, no ano de 2015, entre os meses de janeiro e junho (verão e outono), em temperaturas da água entre 25 e 29,2 °C, salinidades da água entre 16 e 30, transparência da água entre 0,8 e 2,5, e precipitação mensal entre 205,1 e 623,8 mm. Todos os avistamentos foram de “saltos para trás”, únicos (45%) ou sequenciais duplos (55%). Os saltos foram registrados em todas as transecções, exceto na 1 e 4 (Figura 1b), sendo que a maioria ocorreu na transecção 3 (33,3%, n=6), seguido pela transecção 9 (16,6%, n=3), transecções 7, 6 e 9 (todas com 11,11%, n=2) e transecções 2 e 10 com apenas um avistamento (5,55%). A maior porcentagem dos saltos foi durante a maré vazante (61,1%).

3.2.2 Modelos Lineares Generalizados

Nos modelos lineares generalizados (GLM) utilizando uma única variável explicativa, as variáveis que tiveram o melhor ajuste (menor AIC) no modelo de presença e ausência de *M. birostris* foram em ordem decrescente: salinidade, precipitação acumulada de 30 dias, temperatura, mês, dia do ano, precipitação acumulada de 15 dias, precipitação mensal, dia da coleta, transecção, maré, fase da lua, estado do mar, transparência da água e precipitação acumulada de sete e três dias. Quanto à significância, as variáveis significativas (p-valor <0,05) foram em ordem decrescente: salinidade, precipitação acumulada de 30 dias, temperatura, mês, dia do ano, precipitação acumulada de 15 dias, precipitação mensal, dia da coleta, transecção, maré. Não houve influência significativa (p>0,05) da fase da lua, estado do mar, transparência da água e

precipitação acumulada de sete e três dias. Dentre as variáveis significativas, a SSM foi a de maior poder explicativo devido ao menor AIC e p-valor (Tabela 6, Figura 6).

Tabela 6. Sumário das variáveis explicativas testadas para modelar a presença e ausência de *Manta birostris*, a partir de dados de observações embarcadas, no Complexo Estuarino de Paranaguá. SSM= salinidade da superfície do mar, TSM= temperatura da superfície do mar, GLE= graus de liberdade estimados.

Variável Explanatória	GLE	AIC	Pr(> z)	Significância
SSM	2	133.7597	3,84e-05	***
Precipitação acumulada	2	138.5073	0,000399	***
30 dias				
TSM	2	141.6877	0,005625	**
Mês	2	141.8448	0,00436	**
Dia do Ano	2	141.85	0,00428	**
Precipitação acumulada	2	142.6164	0,000861	***
15 dias				
Precipitação Mensal	1	143,39	0,00331	**
Dia da coleta	2	146.9317	0,0233	*
Transecção	10	148.7446	0.081726	.

Maré	2	148.8011	0,0547	.
% de Iluminação da Lua	2	151.40	0.278	-
Precipitação acumulada	2	151.4266	0,252	-
7 dias				
Estado de mar	4	152.5644	0,990	-
Precipitação acumulada	2	152.6034	0,922	-
3 dias				
Transparência da água	2	152.6129	0,988	-
Estado do Mar	4	152.5644	0.990	-

Códigos de Significância: 0 „***“ 0.001 „**“ 0.01 „*“ 0.05 „.“ >0.1 „-“ “

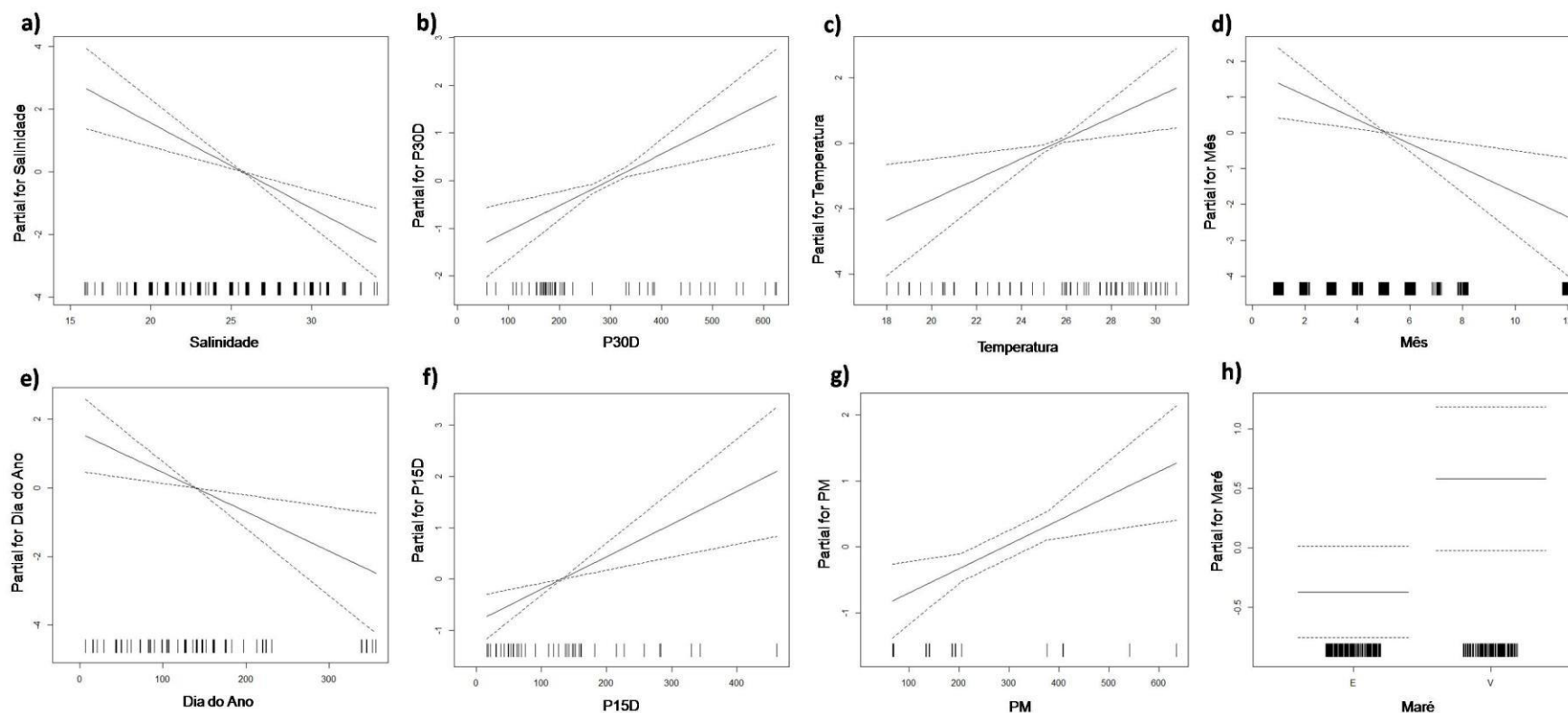


Figura 5. Ajustes parciais dos modelos lineares generalizados com uma variável explicativa, relacionando a presença e ausência de *Manta birostris* com preditores temporais e ambientais no Complexo Estuarino de Paranaguá, a partir de dados coletados em saídas embarcadas. Os gráficos são referentes somente as variáveis que apresentaram significância (p -valor $<0,05$). As linhas tracejadas e barras de erro representam os intervalos de confiança de 95%.

A análise exploratória dos dados indicou que a variável salinidade da água tem correlações com a TSM ($r = 0,55$), 30 e 15 dias de precipitação acumulada ($r = 0,67$ e $r^2 = 0,64$), precipitação mensal ($r = 0,60$) e mês ($r = 0,56$), portanto, estas variáveis não foram incluídas no modelo com múltiplas variáveis, para evitar problemas de colinearidade. Pode-se observar graficamente que de acordo com o aumento da temperatura, ocorre um aumento mensal de precipitação e, por conseguinte, a salinidade da água diminui (Figura 6).

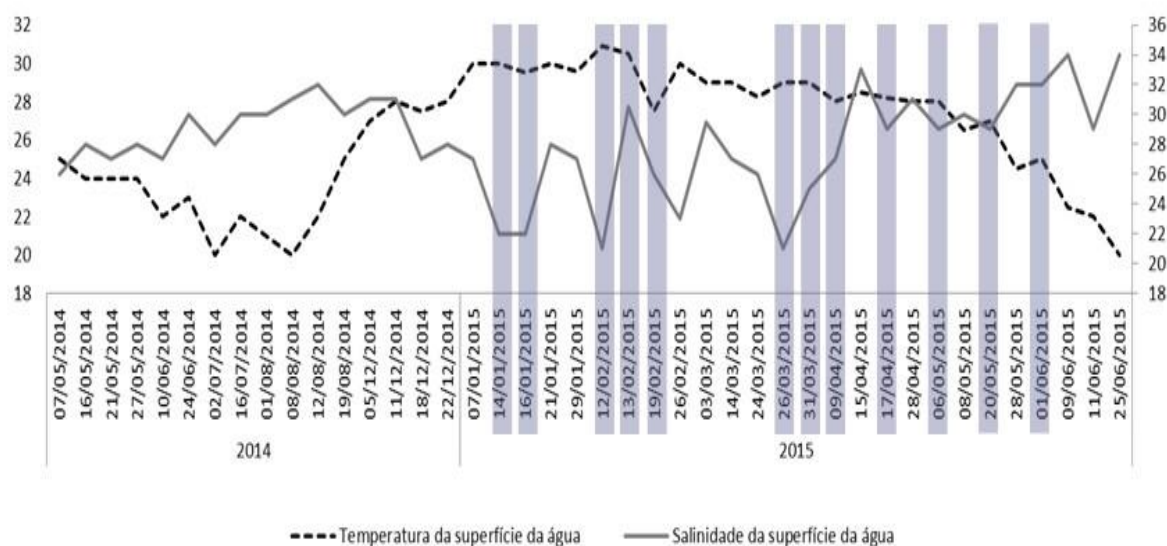


Figura 6. Gráfico da temperatura e salinidade da superfície da água, referentes às observações embarcadas no Complexo Estuarino de Paranaguá. Os valores são resultantes da soma da média das variáveis, de todas as transecções, em cada dia. Os retângulos em cinza representam os dias em que foram realizados avistamentos de *Manta birostris*.

O melhor modelo GLM definido pelo menor AIC foi composto por dois preditores: salinidade da superfície do mar e maré vazante. Devido ao grande número de zeros, modelos de subamostragem de zeros foram testados, mas

os parâmetros estimados para as variáveis que melhor explicam a variação nos dados não diferiram significativamente. Os modelos construídos e o respectivo AIC, estão apresentados na tabela 7.

Tabela 7. Modelos lineares generalizados de presença e ausência de *Manta birostris* e seus respectivos AICs. PA=Presença/Ausência, SSM= salinidade da superfície da água, lua= fase da lua, maré = maré, beauford = estado do mar, P7D = precipitação acumulada de 7 dias. P3D= precipitação acumulada de 3 dias. Em negrito está o modelo selecionado pelo melhor ajuste, devido ao menor AIC.

Modelo	AIC
PA ~ SSM + maré	122.19
PA ~ SSM + maré + Porclua	122.51
PA ~ SSM + mare + Porclua + beauford	124.50
PA ~ SSM + maré + Porclua + beauford + P7D	126.40
PA ~ SSM + maré + Porclua + beauford + P7D + P3D	127.16

4. DISCUSSÃO

Os saltos de *M. birostris* no CEP foram registrados durante o verão e outono, e nenhum avistamento foi realizado no inverno. Mesmo sem amostragens realizadas entre setembro e novembro de 2014, a ausência da espécie em maio, junho, julho e dezembro de 2014, sugere que a espécie não estava presente na área durante a primavera deste ano. Os pescadores confirmaram em conversas informais a ausência da espécie nestes meses em

2014, mas relataram que já houve anos em que observaram saltos entre outubro e dezembro.

A baixa visibilidade das águas estuarinas do CEP não permite a visualização da espécie embaixo d'água, então havia a possibilidade de que o comportamento de salto fosse sazonal (Medeiros *et al.*, 2015), e a espécie passasse indetectada em determinadas épocas. Entretanto, o conhecimento dos pescadores artesanais da Vila das Peças suporta a hipótese de que não o salto, mas a ocorrência da *M. birostris* na área é sazonal. Como a espécie não tem valor econômico para os pescadores, e a carne não é apreciada por eles, eles restringem o uso de redes de emalhar e espinhéis entre dezembro e maio, de modo a evitar capturas acidentais, que causam danos ao equipamento de pesca que podem ser arrastados pela *M. birostris* (Medeiros *et al.*, 2015).

Os relatos afirmam que elas não estão presentes no CEP durante o inverno, pois, além de não visualizarem saltos, pescam nestas estações sem que aconteça captura acidental de *M. birostris* e nenhum petrecho de pesca seja perdido por possivelmente ter sido arrastado pela espécie (Medeiros *et al.*, 2015). Porém, em outros estuários elas podem estar sendo facilmente capturadas para alimentação e venda, principalmente para os mercados asiáticos (Dulvy *et al.*, 2014).

A migração sazonal tem sido considerada como uma estratégia adaptativa dos organismos, para aumentar o crescimento e sobrevivência, e para maximizar a aptidão, durante a flutuação sazonal dos ambientes (Northcote, 1978). Migrando, os indivíduos podem se beneficiar com aumento da disponibilidade de alimento ou evitando condições bióticas e abióticas

adversas (Brönmark *et al.*, 2008). Estudos apontam que para *M. birostris*, a temperatura é um fator importante de influência para a migração. No CEP, climatologicamente, a temperatura da água varia entre 23 a 30°C durante o verão e 18 a 25°C no inverno (Lana *et al.*, 2001). *Manta birostris* utiliza a área durante o verão e outono, período quente do ano, onde no presente estudo foram encontradas em temperaturas entre 22, 5 e 32,7°C, preferencialmente entre 27 e 30°C.

Na Guiana Francesa, o pico na presença da *M. birostris* é durante as altas temperaturas, no momento em que a descarga do Rio Amazonas se direciona para a região, gerando um aumento de nutrientes e favorecendo o aumento da produtividade local (Girondot *et al.*, 2015). Graham *et al.* (2013) verificaram a relação entre a ocorrência e frentes termais no México, onde *M. birostris* é encontrada forrageando em águas com altas temperaturas da superfície do mar, que variaram entre 25,1 a 30,0°C. Nos Estados Unidos, *M. birostris* habita águas com altas concentrações de clorofila e águas quentes (preferencialmente entre 25 a 29°C), sendo a temperatura o principal fator de orientação na distribuição sazonal, pois elas utilizam águas costeiras no verão e oceânicas no inverno (Freedman & Sen Roy, 2012). Rohner *et al.* (2013) encontraram relações entre *M. birostris* e ano, local, temperatura e iluminação da lua em Moçambique.

Outras raias como a *Rhinoptera bonasus* (Myliobatoidei, Rhinopteridae) realizam migrações sazonais para áreas estuarinas e quentes (Collins *et al.*, 2008). *Mobula Mobular* (Myliobatoidei, Mobulidae) realiza migrações sazonais latitudinais no Mediterrâneo, nas quais se desloca para áreas produtivas ao norte durante o verão e para águas quentes ao sul durante o inverno,

movimentos sazonais que podem estar relacionadas a possíveis vantagens energéticas provenientes de águas quentes, ou à disponibilidade de altas densidades de presas (Nortobartolo di Sciara *et al.*, 2015).

Além disso, a disponibilidade de alimentos pode variar sazonalmente, tornando a migração adaptativa (Alcock, 2011). É comum elasmobrânquios zooplânctófagos realizarem migrações sazonais, deslocando-se para áreas que apresentem recurso em abundância (Acuña-Marrero *et al.*, 2014; Sims *et al.*, 2006). Uma influência significativa para a presença da *M. birostris* que pode estar ligada à disponibilidade de presas, foi a da precipitação. No CEP existe um padrão sazonal de precipitação, onde o período chuvoso inicia-se no final da primavera e permanece durante todo verão, ao passo que o período seco se estende do final do outono até o final do inverno (Lana *et al.*, 2001). Isto, por sua vez, gera um padrão sazonal de abundância zooplânctônica que é maior na estação chuvosa e quente e menor na seca e fria (Montú & Cordeiro *et al.*, 1988; Lopes *et al.*, 1998; Miyashita *et al.*, 2012; Salvador, 2015).

Em outros estuários do mundo acontece esta mesma relação, na qual a estação chuvosa e quente gera uma alta disponibilidade de nutrientes, luz e calor e conseqüentemente alta concentração de organismos fitoplânctônicos e zooplânctônicos (Masundire *et al.*, 1994). Assim, o aumento na abundância de alimento pode ser uma das motivações para a visita sazonal de *M. birostris*, visto que habitam a área durante o período quente, chuvoso e rico em alimento.

Outro fator que influenciou a presença e ausência de *M. birostris* e pode estar relacionado à alimentação é a maré. A maré é um fator conhecido por

influenciar o comportamento de tubarões e raias (Silliman & Gruber, 1999; Cartamil *et al.*, 2003; O'Shea *et al.*, 2010). Os avistamentos dos saltos foram mais freqüentes na maré vazante (61%) do que na enchente (39%). Na Indonésia, o contrário foi observado, onde as visitas das raias manta foram maiores na maré enchente (Dewar *et al.*, 2008). Na Grande Barreira de Corais na Austrália, a maré influenciou significativamente a visita de *M. alfredi* à estação de limpeza e à área de alimentação (O'shea *et al.*, 2010; Jaine *et al.*, 2014).

Nos locais específicos para a alimentação eram observadas altas concentrações de zooplâncton ao longo das correntes de maré, gerando a hipótese de que esta agregação sazonal pode estar correlacionada principalmente com o aumento da quantidade de alimento disponível, pois o maior volume das correntes de maré vazante geraria um aumento na quantidade de nutrientes e alimento na região (Jaine *et al.*, 2012) e os saltos podem ser uma estratégia para favorecer a alimentação. Assim, o maior número de avistamentos na maré vazante pode ser devido ao aumento da produtividade em consequência do aumento de nutrientes gerado pelo aumento no volume da drenagem continental (Marone *et al.*, 2005; Marone *et al.*, 2007).

Dados sobre a relação entre *Manta birostris* e a oferta de zooplâncton são escassos para a maioria dos locais de agregação em torno do globo, e pesquisas detalhadas em relação à dinâmica e abundância zooplânctonica locais são necessárias para facilitar a compreensão da ecologia delas, incluindo a influência do meio ambiente sobre o uso do habitat (Jaine *et al.*, 2012), em particular em águas estuarinas.

A salinidade foi o fator mais significativo na flutuação sazonal. A flutuação na salinidade no CEP é gerada pelo regime de chuvas e varia entre 12-29 no verão e 20-34 no inverno (Lana *et al.*, 2001). A influência da salinidade na presença de *M. birostris*, determinada através de modelos estatísticos, não permite inferir uma relação de causa-e-efeito, mas a salinidade possivelmente está ligada a outros fatores mais diretos, como a própria abundância de alimentos, incrementada pela temperatura da água, precipitação e conseqüente drenagem continental.

A amplitude da salinidade (16 – 30) observada na presença de *Manta birostris* no CEP demonstrou uma tolerância da espécie frente ao gradiente osmótico. Esta informação sugere que *M. birostris* pode ser considerada uma espécie parcialmente eurihalina. Espécies parcialmente eurihalinas são descritas como marinhas, porém, podem utilizar áreas estuarinas salobras, tolerando condições variáveis, mas não de forma extrema (Dowd *et al.*, 2010, Wosnick & Freire, 2013). O grau de tolerância e o tempo de exposição a diferentes salinidades sem custo metabólico prejudicial ainda não foi analisado para *M. birostris*, sendo estes fatores importantes, pois determinam a capacidade fisiológica da espécie frente a variações características de ambientes salobros. *Manta birostris* é classificada como marginal transitória em águas salobras (Martin, 2005). No entanto, o presente estudo sugere a classificação da espécie na região como marginal comum por ocorrer sazonalmente no CEP. Estudos de telemetria por satélite serão importantes, futuramente, para ajudar a descobrir por quanto tempo as raias toleram essas variações, e qual o período de permanência individual no CEP.

Para que habitem ambientes com diferentes salinidades, o ganho metabólico através da alimentação é de extrema importância. As alterações fisiológicas adaptativas para sobrevivência em ambientes de menor salinidade são energeticamente custosas. Assim, para que um animal possa permanecer em ambientes diluído, é necessário que o custo metabólico seja compensado com uma dieta de alto valor energético (Hammerschlag, 2006). O grande porte, combinado ao gasto energético da migração salino-dependente são fatores delimitantes para muitas espécies (Martin, 2005; Jachowski & Singh, 2015).

Porém, se *M. birostris* for capaz de realizar osmorregulação, é possível que a estratégia alimentar de filtração, por possibilitar a ingestão diária de grandes quantidades de alimento (toneladas), permita a manutenção do grande tamanho corporal observado, além de garantir a alta demanda energética necessária para o desafio osmótico constante. Além disso, os saltos podem estar relacionados à tentativa de aumentar o metabolismo em condições fisiologicamente desafiadoras, como o tubarão *Triakis semifasciata*, que aumenta em curto prazo a atividade de natação em baixas salinidades como uma tentativa de aumentar o metabolismo em condições fisiologicamente desafiadoras (Dowd *et al.*, 2010).

Manta birostris ocorre na época de águas menos salinas no CEP, assim como já observado para *Rhinoptera bonasus* (Myliobatoidei, Rhinopteridae) no Golfo do México. Esta espécie evita locais onde a salinidade de superfície da água é alta, possivelmente para se proteger de predadores que não suportam salinidades baixas (Ajemian & Powers, 2015). No caso de *M. birostris* no CEP, não existem informações para testar esta hipótese, inclusive pela ausência de dados da fauna de elasmobrânquios na região, mas o desembarque de uma

fêmea de tubarão tigre (*Galeocerdo Cuvier*) capturada na entrada do estuário, registrado em 2014 e informações de capturas de tubarão tigre e mangona (*Carcharias taurus*) dentro do estuário dos pescadores artesanais (Andrielli M. Medeiros, comunicação pessoal), aponta para a necessidade de se investigar a presença de predadores na região.

A alta temperatura observada nos períodos de permanência da espécie no CEP pode ser um fator que contribui de forma positiva para o processo osmorregulatório da *M. birostris*, se este ocorrer. A capacidade de assimilação energética é maior em ambientes de maior temperatura (Tullis & Baillie, 2005; Reilly *et al.*, 2011), sendo este um importante fator abiótico a ser levado em consideração não apenas pelo ganho metabólico apresentado, permitindo assim o desprendimento energético para regulação osmótica e iônica, mas também pela maior capacidade de natação e movimentação apresentada em maiores temperaturas (Block & Finnerti, 1994). Não apenas a salinidade e a temperatura separadamente parecem influenciar as atividades da espécie na região, mas também a combinação de ambos os fatores no CEP. Mais estudos sobre a ocorrência de *M. birostris* nestas regiões e sobre as adaptações fisiológicas da espécie precisam ser realizados.

Manta birostris entra no verão quando ocorre o aumento da temperatura e precipitação, e a conseqüente diminuição da salinidade, e sai do CEP no final do outono, quando acontece o contrário. A dependência destes fatores que variam entre os anos, sugere que a espécie pode sofrer com alterações climáticas locais e globais, assim como outros elasmobrânquios, visto que espécies que habitam águas estuarinas e costeiras são mais suscetíveis a mudanças climáticas que espécies exclusivamente oceânicas, por estarem

suscetíveis a influência de fatores dinâmicos como a maré e a precipitação (Chin *et al.*, 2010).

O presente estudo sugere que *M. birostris* pode ser capaz de habitar regularmente diversos estuários no mundo, estando vulnerável a impactos antrópicos e climáticos nestas regiões de alta hidrodinâmica, influenciadas por diversos fatores e habitadas por populações humanas (Courrat *et al.*, 2009). Além disso, o presente estudo indica que o CEP pode estar sendo utilizado para alimentação, salientando a importância de ambientes estuarinos para a espécie.

Por *M. birostris* ser considerada vulnerável pela IUCN (Marshall *et al.*, 2011), a suscetibilidade observada para águas costeiras como a intensificação da pesca, variações climáticas e poluição podem agravar esta condição da espécie. A destruição do habitat está relacionada ao declínio populacional de muitas espécies animais (Alcock, 2011). A proteção de manguezais e mananciais é essencial para elasmobrânquios que utilizam áreas estuarinas (Chin *et al.*, 2010). Por sorte, o CEP é contemplado por um grande mosaico de unidades de conservação no seu entorno como o Parque Nacional do Superagui, que protege tais áreas. Riscos a conservação, além de capturas acidentais, podem ser gerados pela presença de um grande porto de Paranaguá na desembocadura sul, áreas de produção agrícola que podem levar contaminantes para a água e o grande movimento de embarcações turísticas. A conservação em longo prazo desta espécie de crescimento lento, baixa fecundidade e longos períodos de gestação demanda uma cooperação entre pescadores e pesquisadores (Couturier *et al.*, 2012; Dulvy *et al.*, 2014). Como no CEP *M. birostris* não é alvo de pesca, a comunicação é facilitada, o

conhecimento sobre a espécie está sendo construído em conjunto, e medidas de gestão formuladas em conjunto poderão ser elaboradas, nas quais estas informações serão levadas para a população.

O grande tamanho, padrões previsíveis de ocorrência e características comportamentais de *M. birostris*, combinados com a relativa segurança de interagir com um animal inofensivo, resultaram em uma alta popularidade da espécie com mergulhadores. Malley *et al.* (2013) estimaram que em 23 países são gerados 73 milhões de dólares por ano diretamente com o turismo de mergulho e apnéia para avistar raias mantas, e 140 milhões de dólares indiretamente. A proteção da espécie, a maior em tamanho até agora observada no CEP, é importante para a biodiversidade e pode gerar renda para os moradores locais e pescadores a partir do turismo para avistamento de saltos na região, principalmente agora que a ocorrência foi confirmada como sazonal.

Estudos mais refinados sobre o uso do habitat de *M. birostris* em ambientes costeiros devem ser realizados, particularmente no CEP e em outros estuários do mundo, para melhor entender a ecologia da espécie. Investigar a ocorrência da espécie na costa brasileira e seus deslocamentos através técnicas como a telemetria por satélite é necessário também para que se saiba o tempo de permanência da espécie no CEP e a rota migratória da espécie, afim de um gerenciamento em múltiplas áreas voltado para a conservação eficiente da espécie.

5. CONCLUSÕES

Além de confirmar a ocorrência sazonal da *M. birostris* no CEP, o presente estudo encontrou utilizando modelos estatísticos, variáveis ambientais que influenciam a presença da espécie na região, como a salinidade, temperatura, precipitação, porcentagem de iluminação da lua, variáveis que, por sua vez, podem influenciar a alimentação. Foi também revelada uma maior frequência de saltos na maré vazante, que pode ocorrer devido às correntes de maré, que favorecem a drenagem continental e o adensamento de alimento zooplânctônico. Foram lançadas hipóteses de que os saltos possam estar ligados à alimentação ou ao aumento do metabolismo para favorecer a osmorregulação. Os resultados encontrados trazem novas informações importantes acerca da amplitude de salinidade e temperatura da água tolerada por *M. birostris* no Complexo Estuarino Paranaguá. O estudo sugere que a espécie pode ser parcialmente eurialina, e aponta para necessidade de novas pesquisas focando na ocorrência da espécie em estuários e suas adaptações fisiológicas.

6. LITERATURA CITADA

ABLE, K.W. 2005. A re-examination of fish estuarine dependence: Evidence for connectivity between estuarine and ocean habitats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 64: 5–17.

ACUÑA-MARRERO, D., JIMÉNEZ, J., SMITH, F., DOHERTY P. F. JR, HEARN, A., GREEN, J. R., PAREDES-JARRÍN, J., SALINAS-DE-LEÓN, P. 2014. Whale Shark (*Rhincodon typus*) Seasonal Presence, Residence Time and Habitat Use at Darwin Island, Galapagos Marine Reserve. *PLoS ONE* 9(12): e115946. doi:10.1371/journal.pone.0115946.

ADAMS, D. H. & AMESBURY, E. 1998. Occurrence of the manta ray, *Manta birostris*, in the Indian River Lagoon, Florida. *Florida Scientist*, 61, 7–9.

AJEMIAN, M. J. & POWERS, S. P. 2015. Seasonality and Ontogenetic Habitat Partitioning of Cownose Rays in the Northern Gulf of Mexico. *Estuaries and Coasts*. pp 1-15.

ALCOCK, J. 2011. Comportment Animal: uma abordagem evolutiva. 9ª ed. Artmed.

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, 104–113.

ANDRIGUETTO-FILHO, J. M.; KRÜGER, A. C.; LANGE, M. B. R. 1998. Caça, biodiversidade e gestão ambiental na Área de Proteção Ambiental de Guaraqueçaba, Paraná, Brasil. *Biotemas*, Florianópolis, v. 11, n. 2, p. 133-156.

BEEBE, W. AND TEE-VAN, J. 1941. Rays, mantas, and chimaeras In: Eastern Pacific Expeditions of the New York Zoological Society. XXVIII Fishes from the tropical eastern pacific. *Zoologica*: 245-278.

BIGELOW, H.B. & SCHROEDER, W.C. 1953. Sharks, sawfishes, guitarfishes, skates and rays. Chimaeroids. In: Tee-Van, J., Breder, C.M., Hildebrand, S.F.,

Parr, A.E. and Schroeder, W.e. (eds.). Fishes of the Western North Atlantic. Part 2. Sears Foundation for Marine Research, Yale Univ., New Haven: 1-514

BLOCK, B. A. & FINNERTY J. R. 1994. Endothermy in fishes: a phylogenetic analysis of constraints, predispositions, and selection pressures. *Environmental Biology of Fishes*, 40: 283-302.

BORNATOWSKI, H., ABILHOA, V. & CHARVET-ALMEIDA, P. 2009. Elasmobranchs of the Paraná Coast, southern Brazil, south-western Atlantic. *Marine Biodiversity Records* **2**, e158.

BRASIL. 2013. Instrução Normativa Interministerial MPA/MMA Nº 02, de 13 de março de 2013. Proíbe a pesca direcionada, retenção a bordo, transbordo, desembarque, armazenamento, transporte e comercialização das espécies, produtos e subprodutos de raias da família Mobulidae (conhecidas como raia-manta, raia-diabo, manta-diabo, jamanta-mirim ou diabo-do-mar) em águas jurisdicionais brasileiras e em território nacional. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 mar.

BRASIL. 2014. Portaria MMA Nº 445, de 17 de dezembro de 2014. Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção - Peixes e Invertebrados Aquáticos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 dez. 2014. Seção 01, p. 126.

BRÖNMARK, C., SKOV, C., BRODERSEN, J., NILSSON, P. A., HANSSON, L-A. 2008. Seasonal Migration Determined by a Trade-Off between Predator Avoidance and Growth. *PLoS ONE*, 3(4): e1957.

BUCKLAND, S. T., ANDERSON, D.R., BURNHAM, K. P., LAAKE, J. L., BORCHERS, D. L., THOMAS, L. 2001. Introduction to distance sampling:

estimating abundance of biological populations. *Oxford University Press*, London.

CABRAL, H., ZUUR, A. F., IENO, E. N. & SMITH, G. M. 2007. Analysing presence and absence data for flatfish distribution in the Tagus estuary, Portugal. In *Analyzing Ecological Data* (Zuur, A. F., Ieno, E. N., Smith, G. M.), 672 p. New York. Springer.

CAMHI, M. 1998. Sharks and their relatives: ecology and conservation. No. 20.

CARTAMIL, D. P., J. J. VAUDO, C. G. LOWE, B. M. WETHERBEE & K. N.

HOLLAND. 2003. Diel movement patterns of the Hawaiian stingray, *Dasyatis lata*: implications for ecological interactions between sympatric elasmobranch species. *Marine Biology*, 142: 1-13.

CHIN, A., KYNE, P. M., WALKER, T. I. & MCAULEY, R. B. 2010. An integrated risk assessment for climate change: analysing the vulnerability of sharks and rays on Australia's Great Barrier Reef. *Global Change Biology*, 16, 1936–1953.

CINTRA, I. H. A., DE SÁ PAIVA, K., DE MACEDO KLAUTAU, A. G. C., & de Araújo Silva, K. C. 2015. Da captura incidental de *Manta birostris* (Chondrichthyes, Mobulidae) em pescaria industrial de camarão-rosa na plataforma continental amazônica. *Revista CEPSUL-Biodiversidade e Conservação Marinha*, 4(1), 1-4.

COLES, R. J. 1916. Natural history notes on the devilfish, *Manta birostris* (Walbaum) and *Mobula offersi* (Muller). *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 35, 649–657.

- COLLINS, A. B., HEUPEL, M. R., & SIMPFENDORFER, C. A. 2008. Spatial distribution and long-term movement patterns of cownose rays *Rhinoptera bonasus* within an estuarine river. *Estuaries and Coasts*, 31(6), 1174-1183.
- COMPAGNO, L.J.V. 1990. Alternative life-history of cartilaginous fishes in time and space. *Environmental Biology of Fishes*, 28, 33-75.
- COMPGANO, L. J. V. 2005. Checklist of living Chondrichthyes. In: Hamlett, W.C. (ed.) Reproductive biology and phylogeny of chondrichthyes: sharks, rays and chimaeras, Vol. 3. Endfield, USA: Science Publishers: 503-548.
- COURRAT, A., LOBRY, J., NICOLAS, D., LAFFARGUE, P., AMARA, R., LEPAGE, M., GIRARDIN, M. & LEPAPE, O. 2009. Anthropogenic disturbance on nursery function of estuarine areas for marine species. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 81, 179–190.
- COUTURIER, L. I. E., MARSHALL, A. D., JAINE, F. R. A., KASHIWAGI, T., PIERCE, S. J., TOWNSEND, K.A., WEEKS, S. J., BENNET, M. B., RICHARDSON, A. J. 2012. Biology, ecology and conservation of the Mobulidae. *Journal of Fish Biology*, 80:1075–1119.
- DEAKOS, M. H. 2010. Ecology and social behavior of a resident manta ray (*Manta alfredi*) population off Maui, Hawai'i. PhD Thesis, University of Hawai'i, Manoa, HI, USA.
- 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.

DOMIT, C. 2006. Comportamento de pesca do boto-cinza, *Sotalia guianensis* (Van Bénédén, 1864. Dissertação de Mestrado, Departamento de Zoologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brazil.

DOWD, W. W., HARRIS, B. N. , CECH JR, J. J., KÜLTZ, D. 2010. Proteomic and physiological responses of leopard sharks (*Triakis semifasciata*) to salinity change. *The Journal of Experimental Biology*, 213, 210-224.

DUFFY, C.A.J. & ABBOTT, D. 2003. Sightings of mobulid rays from northern New Zealand, with confirmation of the occurrence of *Manta birostris* in New Zealand waters. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 37: 715-721.

DULVY, N. K., FOWLER, S. L., MUSICK, J. A., CAVANAGH, R. D., KYNE, P. M., HARRISON, L. R., CARLSON, J. K., DAVIDSON, L. N. K., FORDHAM, S.V., FRANCIS, M. P., POLLOCK, C. M., SIMPFENDORFER, C. A., BURGESS, G. H., CARPENTER, K. E., COMPAGNO, L. J. V., EBERT, D. A., GIBSON, C., HEUPEL, M. R., LIVINGSTONE, S. R., SANCIANGCO, J. C., STEVENS, J. D., VALENTI, S. & WHITE, W. T. 2014. Extinction risk and conservation of the world's sharks and rays. *eLife* 3, e00590. doi.org/10.7554/eLife.00590.

FARAWAY, J. J. 2006. Extending the Linear Model with R: Generalized Linear, Mixed Effects and Nonparametric Regression Models. Chapman & Hall/CRC Texts in Statistical Science. 331pp.

FREEDMAN, R. & SEN ROY, S. 2012. Spatial patterning of *Manta birostris* in United States east coast offshore habitat. *Applied Geography*, 32 (2): 652-659.

GADIG, O. B. F., AND SAMPAIO, C. L. 2002. Occurrence of *Mobula japanica* in the western Atlantic Ocean and *Mobula tarapacana* in Brazil, with comments on

the diversity of devil rays (Chondrichthyes: Mobulidae) in Brazil. *Arquivos de Ciências do Mar*, 35, 33–37.

GIRONDOT, M., BÉDEL, S., DELMOITIEZ, L., RUSSO, M., CHEVALIER, J., GUÉRY, L., HASSINE, B. S., FÉON, H., IMED JRIBI, I. 2015. Spatio-temporal distribution of *Manta birostris* in French Guiana waters. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 95(1), 153–160.

GRAHAM RT, WITT MJ, CASTELLANOS DW, REMOLINA F, MAXWELL S, GODLEY BJ, *ET al.* 2012. Satellite Tracking of Manta Rays Highlights Challenges to Their Conservation. *Polson* 7(5): e36834. doi:10.1371/journal.pone.0036834.

GRIMES, C.B., FINUCANE, J. H. 1991. Spatial distribution and abundance of larval and juvenile fish, chlorophyll and macro zooplankton around the Mississippi River discharge plume, and the role of the plume in fish recruitment. *Marine Ecólogo Progresso Series*, 75:109–119.

HACKRADT, C. W. & FÉLIX-HACKRADT, F. C. 2009. Assembléia de peixes associados a ambientes consolidados no litoral do Paraná, Brasil: uma análise qualitativa com notas sobre sua bioecologia. *Papéis Avulsos de Zoologia (São Paulo)* **49**, 389–403.

HAMMERSCHLAG, N. 2006. Osmoregulation in elasmobranchs: a review for fish biologists, behaviourists and ecologists. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 39:3, 209-228.

HASTIE, T. J., & TIBSHIRANI, R. J. 1990. *Generalized additive models* (Vol. 43). CRC Press.

- HOMMA, K., MARUYAMA, T., ITOH, T., ISHIHARA, H. & UCHIDA, S. 1999. Biology of the manta ray, *Manta birostris* (Walbaum), in the Indo-Pacific. In *5th Indo-Pacific Fish Conference* (Seret, B. & Sire, J. Y., eds), pp. 209–216. Noumea: Ichthyological Society of France.
- HOPKINS, T. E. & CECH, J. J. 2003. The influence of environmental variables on the distribution and abundance of three elasmobranchs in Tomales Bay, California. *Environmental Biology of Fishes*, 66 (3): 279–291.
- JACHOWSKI, D. S. & SINGH, N. J. 2015. Themed Issue Article: Conservation Physiology of Animal Migrations Toward a mechanistic understanding of animal migration: incorporating physiological measurements in the study of animal movement. Volume 3.
- JAINE, F. R., COUTURIER, L. I., 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, e46170. doi:10.1371/journal.pone.0046170.
- JAINE, F. R. A., ROHNER, C. A., WEEKS, S. J. COUTURIER, L. I. E., BENNETT, M. B., TOWNSEND, K. A., RICHARDSON, A. J. 2014. Movements and habitat use of reef manta rays off eastern Australia: offshore excursions, deep diving and eddy affinity revealed by satellite telemetry. Vol. 510: 73–86.
- JIRIK, K. E. & LOWE, C. G. 2012. An elasmobranch maternity ward: female round stingrays *Urobatis halleri* use warm, restored estuarine habitat during gestation. *Journal of Fish Biology*. Volume 80, Issue 5, 1227–1245.

KASHAWAGI, T., MARSHALL, A. D., BENNETT, M. B. & OVENDEN, J. R.

2011. Habitat segregation and mosaic sympatry of the two species of manta ray in the Indian and Pacific Oceans, *Manta alfredi* and *M. birostris*. *Marine Biodiversity Records* 4, e53.doi.org/10.1017/S1755267211000479.

LANA, P. C.; MARONE, E.; LOPES, R. M.; MACHADO, E. C. 2001. The subtropical estuarine complex of Paranaguá Bay, Brazil. In: Seeliger, U.; Lacerda, L.D. & Kjerfve, B. (Ed.), Coastal Marine Ecosystems of Latin America. Basel: Springer Verlag, 2000. p. 131-145.

LESSA, R. P., BARRETO, R. R., QUAGGIO, A. L. C., VALENÇA, L. R., SANTANA, F., YOKOTA, L., & GIANETI, M. 2008. Levantamento das espécies de elasmobrânquios capturados por aparelhos-de-pesca que atuam no berçário de Caiçara do Norte (RN). *Arquivo de Ciências do Mar, Fortaleza*, 41(2), 58-64.

LESSA, R. P., SANTANA, F. M., RINCÓN, G., GADIG, O. B. F., & EL-DEIR, A.C.A. 1999. Biodiversidade de Elasmobrânquios do Brasil. Relatório para o Programa Nacional de Diversidade Biológica (PRONABIO) - Necton – Elasmobrânquios. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Recife. 119 pp.

LOPES, R. M.; VALE, R.; BRANDINI, F. P. 1998. Composição, abundância e distribuição espacial do zooplâncton no complexo estuarino de Paranaguá durante o inverno de 1993 e o verão de 1994. *Revista Brasileira de Oceanografia*, v. 46, n. 2, p. 195-211.

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

MARONE, E., MACHADO, E. C., LOPES, R. M. & SILVA, E. T. 2005. Land-ocean fluxes in the Paranaguá Bay estuarine system, Southern Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography* 53, 169–181.

MARONE, E.; NOERNBERG, M.; LAUTERT, L. F.; SANTOS, I.; FILL, H. D. BUBA, H.; MARENDIA, A. 2007. Medições de Correntes e Curva Vazão-Maré na baía de Paranaguá, PR. *Boletim Paranaense de Geociências*, n. 60-61, p. 55-64.

MARSHALL, A. D., COMPAGNO, L. J. V. & BENNETT, M. B. 2009. Redescription of genus *Manta* with resurrection of *Manta alfredi* (Krefft, 1868) (Chondrichthyes; Myliobatoidei; Mobulidae). *Zootaxa*, 2301, 1–28.

MARSHALL, A., BENNETT, M. B., KODJA, G., HINOJOSA-ALVAREZ, S., GALVAN-MAGANA, F., ET AL. 2011. *Manta birostris*. In: IUCN 2011. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.2. Available: www.iucnredlist.org. Accessed: 25 October 2015. <http://www.iucnredlist.org/apps/redlist/details/198921/0>.

MARSHALL, A. D., & BENNETT, M. B. 2010. Reproductive ecology of the reef manta ray *Manta alfredi* in southern Mozambique. *Journal of Fish biology*, 77(1), 169-190.

MARSHALL, A. D. & PIERCE, S. J. & ROHNER, C. A. & DUDGEON, C. L. & JAINE, F. R. A. & BRUNNSCHWEILER, J. M. 2014. Giants without boundaries - Results from the first global satellite tracking study on *Manta birostris* and the implications for conservation in Mozambique. Abstract. In: Programm and Abstracts of Shark International, Durban 2014: 128.

MARTIN, A. R. Conservation of freshwater and euryhaline elasmobranchs: a review. 2005. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 85, Issue 05, pp 1049-1073.

MASUNDIRE, M. H. 1994. Seasonal trends in zooplankton densities in Sanyati basin, Lake Kariba: multivariate analysis. *Hydrobiologia*, 272: 211-230. In: H. J. Dumont, J. Green & H. Masundire (eds). *Studies on the Ecology of Tropical Zooplankton*. Kluwer Academic Publishers.

MATERN, S. A., CECH, J. C. JR., HOPKINS, T. E. 2000. Diel movements of bat rays, *Myliobatis californica*, in Tomales Bay, California: evidence for behavioral thermoregulation? *Environmental Biology of Fishes*, 58: 173–182.

MAZZOLENI, R.C. & P.R. SCHWINGEL. 1999. Elasmobranch species landed in Itajaí harbor, Southern Brazil. *Notas técnicas Facimar*, 3: 111-118.

MCCULLAGH, P. & NELDER, J.A. 1989. *Generalized Linear Models*, 2nd Ed. Chapman & Hall, London.

MEDEIROS, A. M., O. J. LUIZ, O. Jr., DOMIT, C. 2015. Occurrence and use of an estuarine habitat by giant manta ray *Manta birostris*. *Journal of Fish Biology*, v. 86, Issue 6, pp. 1830–1838.

SIBELE A. MENDONÇA, S. A, BRUNO C. L. MACENA, L. C. B., EMMANUELLY CREIO, E., VIANA, D. L., VIANA, D. F., & HAZIN, F. H. 2012. Scientific Note 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.

MILESSI, A. C. & ODDONE, M. C. 2003. Primer registro de *Manta birostris* (Donndorff 1798) (Batoidea: Mobulidae) em el Rio de La Plata, Uruguay. *Gayana (Concepción)*, 67, 126–129.

MIYASHITA, L. K.; BRANDINI, F. P.; MARTINELLI-FILHO, J. E.; FERNANDES, L. F.; LOPES, R. M. 2012. Comparison of zooplankton community structure between impacted and non-impacted áreas of Paranaguá Bay Estuarine Complex, South Brazil. *Journal of Natural History*, v. 46, p. 1557-1571.

MONTÚ, M.; CORDEIRO, T. A. 1998. Zooplâncton del complejo estuarial de la Bahía de Paranaguá I: Composición, dinámica de las especies, ritmos reproductivos y acción de los factores ambientales sobre la comunidad. *Nerítica, Pontal do Sul*, v. 3, n. 1, p. 61-83.

NORTHCOTE, T. G. 1978. Migration strategies and production of freshwater fish. *Freshwater Fish Ecology Production*. Gerking, S. D. Ed Oxford in London-Edinburgh-Melbourne, *Blackwell Publications Scientific*. 326-359.

NOTARBARTOLO DI SCIARA G., LAURIANO G., PIERANTONIO N., CAÑADAS A., DONOVAN G., PANIGADA S. 2015. The Devil We Don't Know: Investigating Habitat and Abundance of Endangered Giant Devil Rays in the North-Western Mediterranean Sea. *PLoS ONE* 10(11): e0141189. doi:10.1371/journal.pone.0141189.

O'SHEA, O. R., KINGSFORD, M. J. & SEYMOUR, J. 2010. Tide-related periodicity of manta rays and sharks to cleaning stations on a coral reef. *Marine and Freshwater Research*, 61, 65–73.

QGIS Development Team. 2009. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. URL <http://qgis.osgeo.org>

R Development Core Team. 2011. 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/>.

RAYNER, J. (1986). Pleuston: animals which move in water and air. *Endeavour* 10, 58–64.

ROHNER, C. A., PIERCE, S. J., MARSHALL, A. D., WEEKS, S. J., BENNETT, M. B. & RICHARDSON, A.J. 2013. Trends in sightings and environmental influences on a coastal aggregation of manta rays and whale sharks. *Marine Ecology Progress Series*, 482, 153–168.

SALVADOR, B. 2015. Variação zooplancônica no Complexo Estuarino de Paranaguá – Brasil durante os anos de 2012 e 2013. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos, Universidade Federal do Paraná.

SCHLAFF, A. M., HEUPEL, M. R., SIMPFENDORFER, C. A. 2014. Influence of environmental factors on shark and ray movement, behaviour and habitat use: a review. *Rev. Fish Biol. Fisheries*, 24:1089–1103.

SCHWARTZ, F. J. 2000. Elasmobranchs of the Cape Fear River, North Carolina. *Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society*, 116, 206–224.

SILLIMAN, W. R. & S. H. GRUBER. 1999. Behavior biology of the spotted eagle ray, *Aetobatus narinari* (Euphrasen, 1790) in Bimini, Bahamas; an interim report. *Bahamas Journal of Science*, 7: 13-20.

- SIMPFENDORFER, C. A., MILWARD, N. E. 1993. Utilisation of a tropical bay as a nursery area by sharks of the families Carcharhinidae and Sphyrnidae. *Environmental Biology of Fishes*. Volume 37, Issue 4, pp 337-345.
- SIMS, D. W., WITT, M. J., RICHARDSON, A. J., SOUTHALL, E. J., METCALFE, J. D. 2006a. Encounter success of free-ranging marine predator movements across a dynamic prey landscape. *Proceedings of the Royal Society B: Biological sciences*, 273:1195–1201. DOI 10.1098/rspb.2005.3444.
- TOMITA, T., TODA, M., UEDA, K., UCHIDA, S. & NAKAYA, K. (2012). Live-bearing manta ray: how the embryo acquires oxygen without placenta and umbilical cord. *Biology Letters*, 8, 721–724.
- TULLIS, A. & BAILLIE, M. 2005. The metabolic and biochemical responses of tropical white spotted bamboo shark *Chiloscyllium plagiosum* to alterations in environmental temperature. *Journal of Fish Biology*, 67 (4): 950-968.
- VIANNA G.M.S., MEEKAN, M.G., MEEUWIG, J.J., SPEED, C.W. 2013. Environmental Influences on Patterns of Vertical Movement and Site Fidelity of Grey Reef Sharks (*Carcharhinus amblyrhynchos*) at Aggregation Sites. *Plos One*, Volume 8, Issue 4, e60331.
- WARD-PAIGE, C. A., DAVIS, B., WORM, B. 2013. Global Population Trends and Human Use Patterns of *Manta* and *Mobula* Rays. *PLoS ONE* 8(9):e74835.
- WHITE, W. T., GILES, J., & POTTER, I. C. 2006. Data on the bycatch fishery and reproductive biology of mobulid rays (Myliobatiformes) in Indonesia. *Fisheries Research*, 82(1), 65-73.
- WILSON, S. G., POLOVINA, J. J., STEWART, B. S., MEEKAN, M. G. 2006. Movements of whale sharks (*Rhincodontypus*) tagged at Ningaloo Reef, Western Australia. *Marine Biology*. Volume 148, Issue 5, pp 1157-1166.

- WOSNICK, N., FREIRE, C. A. 2013. Some euryhalinity may be more common than expected in marine elasmobranchs: The example of the South American skate *Zapteryx brevirostris* (Elasmobranchii, Rajiformes, Rhinobatidae). *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*. 166, 36–43.
- WOOD, S.N. 2000. Modelling and smoothing parameter estimation with multiple quadratic penalties. *Journal of the Royal Statistical Society (B)* 62(2):413-428.
- WYFFELS, J. T. 2009. Embryonic development of chondrichthyan fishes – a review. In *Development of Non-Teleost Fishes* (Kunz, Y., Kapoor, B. G. & Luer, C. A., eds), pp. 1–103. Enfield, NH: Science Publishers Inc.
- ZUUR, A. F., IENO, E. N., SMITH, G. M. 2007. *Analyzing Ecological Data*. New York. Springer. 672 p.
- ZUUR, A. F., IENO, E. N., WALKER, N., SABELIEV, A. A., SMITH, G. M. 2009. *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. Springer, New York. 574p.