

**FELIPE CAMPOS NERY**

**ALTERAÇÕES TEMPORAIS NAS ESTRATÉGIAS DE FORRAGEIO DE  
ATOBÁS-MARRONS *Sula leucogaster* NO ARQUIPÉLAGO DE SÃO PEDRO E  
SÃO PAULO**

Artigo científico apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas – ênfase em Biologia Marinha e Costeira na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Dr. Guilherme Tavares Nunes

**IMBÉ  
2024**

Alterações temporais nas estratégias de forrageio de atobás-marrons *Sula leucogaster* no arquipélago de São Pedro e São Paulo

Nery F. C.<sup>1\*</sup>, Nunes, G. T.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Estudos Costeiros, Limnológicos e Marinhos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Tramandaí, 976, Imbé-RS, CEP 95625-000.

\* Autor correspondente: [felipe-cnery@hotmail.com](mailto:felipe-cnery@hotmail.com)

*Manuscrito preparado para submissão ao periódico Oecologia Australis*

## CIP - Catalogação na Publicação

Nery, Felipe Campos  
ALTERAÇÕES TEMPORAIS NAS ESTRATÉGIAS DE FORRAGEIO  
DE ATOBÁS-MARRONS *Sula leucogaster* NO ARQUIPÉLAGO DE  
SÃO PEDRO E SÃO PAULO / Felipe Campos Nery. -- 2024.  
29 f.  
Orientador: Guilherme Tavares Nunes.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Campus  
Litoral Norte, Curso de Ciências Biológicas: Biologia  
Marinha e Costeira, Tramandaí, BR-RS, 2024.

1. aves. 2. alimentação. 3. comportamento. 4.  
rastreamento. I. Nunes, Guilherme Tavares, orient.  
II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

## Resumo

Compreender as estratégias de alimentação de aves marinhas é essencial para entender sua ecologia, especialmente em ambientes dinâmicos com recursos desigualmente distribuídos. Este estudo analisou variações sazonais no uso do espaço pelos atobás-marrom (*Sula leucogaster*) no arquipélago de São Pedro e São Paulo (AASPSP), registrando viagens de forrageio de maio/junho de 2014, julho de 2015, agosto de 2023 e fevereiro de 2024. Foram utilizados GPS miniaturizados fixados nas aves, com recuperação após 3-5 dias. Métricas avaliadas incluíram duração total da viagem (T), distância total percorrida (D), distância máxima da colônia (Dmax) e sinuosidade da trajetória ( $Sin = D/2Dmax$ ). Os resultados mostraram aumento no número de viagens entre 2014/2015 e 2023/2024, as quais foram mais distantes em relação à colônia, mais duradouras e sinuosas. Além disso, há diferenças significativas no uso do espaço entre o inverno e verão austral. Com isso observamos variações sazonais no uso do espaço. Isso sugere alterações na disponibilidade de presas, reforçando o uso do rastreamento remoto e das aves como indicadores da distribuição de peixes-voadores, principal presa dos atobás-marrons no AASPSP. Além disso, também é possível compreender a distribuição de predadores pelágicos, como atuns, barracudas, tubarões e cetáceos a partir da interação ecológica com as aves. Esses dados são relevantes para a gestão das Unidades de Conservação do ASPSP, visto que tornam possível elucidar as relações ecológicas e tróficas que ocorrem na área de influência do ASPSP, destacando áreas prioritárias para a conservação da comunidade local.

**Palavras-chave:** aves marinhas, comportamento, ecologia, rastreamento remoto.

## **Abstract**

Understanding the foraging strategies of seabirds is essential to comprehend their ecology, particularly in dynamic environments with unevenly distributed resources. This study analyzed seasonal variations in space use by brown boobies (*Sula leucogaster*) in the São Pedro and São Paulo Archipelago (ASPSP), recording foraging trips during May/June 2014, July 2015, August 2023, and February 2024. Miniature GPS devices were attached to the birds and recovered after 3–5 days. Metrics evaluated included total trip duration (T), total distance traveled (D), maximum distance from the colony (Dmax), and trajectory sinuosity ( $Sin = D/2Dmax$ ). Results showed an increase in the number of trips between 2014/2015 and 2023/2024, which were farther from the colony, longer, and more sinuous. Additionally, significant differences in space use were observed between the austral winter and summer. These findings reveal seasonal variations in space use, suggesting changes in prey availability. This underscores the utility of remote tracking and seabirds as indicators of the distribution of flying fish, the primary prey of brown boobies in the ASPSP. Moreover, it provides insights into the distribution of pelagic predators such as tuna, barracudas, sharks, and cetaceans through their ecological interactions with the birds. These data are crucial for the management of ASPSP Conservation Units, as they elucidate the ecological and trophic relationships within the ASPSP's area of influence, highlighting priority areas for the conservation of the local community.

**Keywords:** seabirds, behavior, ecology, remote tracking.

## Introdução

Compreender as estratégias de alimentação de aves marinhas é crucial para entender sua ecologia e dinâmica populacional, em especial para espécies que forrageiam em ambientes dinâmicos onde os recursos se distribuem de forma desigual e em constante movimento (Wakefield *et al.* 2009, Schoombie *et al.* 2024). A capacidade de observar e compreender informações ambientais e sociais (Fagan *et al.* 2013, Aarts *et al.* 2021, Regan *et al.* 2024) e, conseqüentemente, alterar a estratégia de uso do espaço e recursos a partir dessas novas informações é um fator essencial para a sobrevivência nestes ambientes (Croxall & Prince 1980, Furness & Birkhead 1984, Jesmer *et al.* 2018). Nas últimas décadas, os avanços nas técnicas de *biologging* possibilitaram o acesso a dados antes difíceis de serem coletados (Kooyman 2004, Wilson & Vandenabeele 2011, Schoombie *et al.* 2024), permitindo uma revolução no entendimento do uso do espaço pelas aves em seu ambiente natural. Nesse sentido, aves marinhas coloniais que forrageiam em torno de um ponto central (*central-place foragers*) oferecem um grupo de estudo único, uma vez que as viagens de forrageio compartilham do mesmo ponto de início, porém apresentam variação nos caminhos percorridos e locais de alimentação (Carpenter-Kling *et al.* 2020, Schoombie *et al.* 2024). Com isso, é possível verificar alterações no uso do espaço a partir de variações temporais, comportamentais e ecológicas (Phalan *et al.* 2007, Guilford *et al.* 2008, Wakefield *et al.* 2009), além de possibilitar o monitoramento da saúde e composição do ambiente existente no entorno da colônia (Piatt *et al.* 2007, Thaxter *et al.* 2012, Reyes-Arriagada *et al.* 2015).

Os atobás-marrons (*Sula leucogaster*) são aves marinhas coloniais de porte médio (Nelson 2006), e estão presentes em todos oceanos tropicais. Seus movimentos locais são controlados pela disponibilidade de condições e recursos necessários. Forrageiam em torno de suas colônias (*central-place foragers*) em alto mar ou próximo à costa durante o

dia (Smith & Nelson 1980, Schreiber & Norton 2020), capturando presas em baixas profundidades (Nunes *et al.* 2018, Correia *et al.* 2021, Cannell *et al.* 2022, Jacoby *et al.* 2023) através do *plunge-diving*, mergulhando de altitudes de 1 a 15 metros. Há variação intraespecífica na dieta, se alimentando de forma oportunista de acordo com os recursos disponíveis próximos à colônia, visto que a grande distribuição dessa espécie a expõe a diferentes condições e recursos, e portanto, a disponibilidade de diferentes recursos alimentares (Castillo-Guerrero *et al.* 2016, Whiles 2016, Nunes *et al.* 2018, Jacoby *et al.* 2023). Consomem desde peixes e lulas que habitam as camadas superficiais do oceano, como Exocoetidae e Hemiramphidae, até descartes de pesca compostos por peixes demersais (Kushlan & Croxall 1988, Mancini & Bugoni 2014, Nunes *et al.* 2018, Schreiber & Norton 2020, Correia *et al.* 2021, Cannell *et al.* 2022, Jacoby *et al.* 2023). Observa-se que essas aves não fazem buscas aleatórias por presas, mas sim buscam locais e características oceanográficas que levam à concentração de nutrientes na superfície, como zonas de ressurgência e convergências de correntes, levando à disponibilidade de pequenos peixes dos quais se alimentam (Smith & Nelson 1980).

Forrageiam de forma solitária ou, mais comumente, em bandos mistos com espécies como Procellariiformes, trinta-réis e outros atobás, em grupos que podem atingir centenas de animais (Smith & Nelson 1980, Nelson 2006, Dorward 2008, Schreiber & Norton 2020). Por vezes, é possível observar a associação com predadores demersais, como atuns e Carangidae, que encurralam cardumes de pequenos peixes na superfície do oceano, onde se tornam disponíveis aos atobás (Ashmole & Ashmole 1967, Dorward 2008, Castillo-Guerrero *et al.* 2016, Schreiber & Norton 2020, Correia *et al.* 2021, Regan *et al.* 2024).

No arquipélago de São Pedro e São Paulo (a partir de agora, mencionado como ASPSP), localizado a 1010km da costa brasileira, encontram-se colônias de três espécies:

os atobás-marrons, os trinta-réis-escuros (*Anous stolidus*), e os trinta-réis-pretos (*A. minutus*) (Mancini *et al.* 2016). Os atobás do ASPSP apresentam maior tamanho corporal e diferenças genéticas significativas em relação às outras populações de atobás brasileiros (Nunes *et al.* 2018). Acredita-se que, pela heterogeneidade e densidade da colônia, e grande disponibilidade de alimento, o maior tamanho corporal foi favorecido devido à grande disputa por locais de qualidade do ninho (Nunes *et al.* 2018). Além disso, devido à alta disponibilidade de alimentos na proximidade do ASPSP, essa população explora o entorno do ASPSP em viagens curtas e de pouca duração. Apesar da notável diferença de tamanho entre sexos, não há diferença no uso do espaço para o forrageio, com machos e fêmeas utilizando estratégias similares para buscar alimento (Nunes *et al.* 2018).

Nos últimos anos, alterações ambientais em ASPSP podem ter influenciado o uso do espaço por parte dos atobás-marrons. O tubarão-lombo-preto (*Carcharhinus falciformis*) vem apresentando aumento na ocorrência em ASPSP, após mais de uma década sem capturas desses tubarões, graças à implementação de esforços de conservação e restrições a petrechos de pesca que afetam elasmobrânquios nas imediações do ASPSP (Queiroz *et al.* 2021). Esses predadores podem beneficiar as aves, visto que elas pescam em associação com grandes peixes pelágicos (Júnior *et al.* 2003), facilitando a obtenção de alimentos e diminuindo as viagens. Porém, o retorno desses também pode afetar negativamente, atuando diretamente como competidores pelos mesmos recursos (Au & Pitman 1986, Silverman *et al.* 2004, Wakefield *et al.* 2009). Além do ressurgimento de grandes predadores, a variação sazonal na disponibilidade de presas também pode alterar o comportamento observado nas aves. Durante o verão, especialmente entre novembro e março, o peixe-voador holandês (*Cheilopogon cyanopterus*) utiliza o entorno do ASPSP para reprodução, aumentando exponencialmente a biomassa disponível para as aves (Lessa *et al.* 1999), além de se concentrar na superfície, facilitando a sua captura (Júnior

*et al.* 2003). Com isso, é possível que haja diferenças em relação ao uso do espaço e forrageio em relação a outras estações do ano, visto que, em outros períodos, *C. cyanopterus* não é representativo na dieta de *S. leucogaster*, com espécies como *Exocoetus volitans* representando maior importância para a dieta da ave (Nunes *et al.* 2018).

Portanto, o presente estudo buscou testar alterações temporais e sazonais nas estratégias de forrageio dos atobás-marrons (*S. leucogaster*), a partir das alterações de predadores e presas na comunidade que habita o entorno do ASPSP durante a última década e entre diferentes estações anuais. Para isso utilizamos dados obtidos com equipamentos de *biologging* (GPS miniaturizados) em 2014, 2015, 2023 e 2024, durante períodos de inverno e verão. Os resultados obtidos podem auxiliar a compreender a dinâmica de uso do espaço da espécie no AASPSP, a disponibilidade de presas no entorno da colônia, o uso que os atobás-marrons fazem das duas Unidades de Conservação associadas ao ASPSP, e variações potencialmente causadas por mudanças nas composições populacionais em outros predadores de topo e presas que habitam o arquipélago.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Os dados foram coletados no ASPSP (0°55'10''N, 29°20'33''O) localizado a 1010km da costa brasileira, em águas oceânicas com profundidade aproximada de 4000 metros. O ASPSP é formado por 10 ilhas, sendo seis maiores e quatro menores. o ASPSP passou a ser protegido a partir de 2018 através de duas Unidades de Conservação: a Área de Proteção Ambiental do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, compreendendo um raio de 200 milhas náuticas em torno do arquipélago; e o Monumento Natural do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, um polígono com 4.726.318 hectares (APA

AASPSP e MONA AASPSP, respectivamente) (Fig. 1). Uma observação importante é a não inclusão das Ilhas Belmonte, São Pedro, São Paulo, Barão do Tefé e Graça Aranha no polígono Monumento Natural do AASPSP, sendo uma unidade de proteção integral que não integra a totalidade do arquipélago. *S. leucogaster* nidifica no ASPSP durante o ano inteiro, havendo aproximadamente 500 indivíduos reprodutores (Mancini *et al.* 2016).

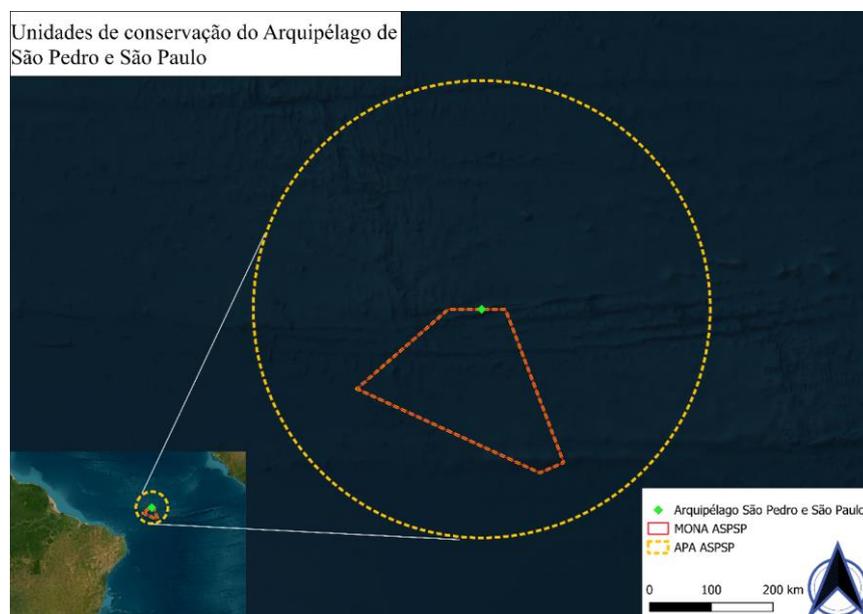


Figura 1 – Área de Proteção Ambiental do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, representada pela circunferência amarela; e o Monumento Natural do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, representado pelo polígono vermelho.

As viagens foram amostradas em maio e junho de 2014, julho de 2015, agosto de 2023 e fevereiro de 2024, durante inverno e verão austrais. Para isso, as aves foram capturadas no ninho, manualmente, ou com auxílio de puçá. Em cada indivíduo, um receptor de GPS (modelo Gipsy em 2014 e 2015, e Axy-Trek Marine em 2023 e 2024, ambos fabricados pela Technosmart, Itália; além do modelo Igot-U 120 em 2023,

fabricado pela Mobile Action) foi fixado nas quatro penas centrais da cauda com fita Tesa® 4651 (Fig. 2). Os equipamentos, com fita, possuíam, aproximadamente, 25g, respeitando o limite de 3% da massa corporal de indivíduos rastreados (Wilson *et al.* 2021). Após a fixação do equipamento, cada indivíduo foi identificado com anilhas metálicas fornecidas pelo Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Aves Silvestres (CEMAVE) e liberado no ninho. Os equipamentos foram recuperados três a cinco dias depois, através da recaptura da ave equipada. As amostragens receberam parecer favorável do Comitê de Ética de Uso Animal da UFRGS (Parecer nº 37905) e Autorização SISBIO nº 64234.



Figura 2. Equipamento receptor de GPS fixado em um Atobá-marrom (*S. leucogaster*). Foto: Mariana Mazzochi.

Os GPS foram configurados para registrar uma posição a cada 20 segundos durante as viagens de alimentação. Estatísticas básicas das viagens foram calculadas a

partir dos dados, sendo elas a duração total da viagem (T), distância total percorrida (D), distância máxima da colônia (Dmax), e sinuosidade da trajetória ( $D/2D_{max}$ ), de acordo com Nunes *et al.* (2018).

Para determinar quais viagens representavam viagens de forrageio, foi considerada a interseção entre as duas primeiras modas de Dmax (Fig. 3) como ponto de corte. O resultado foi um ponto de corte de 4,51 km de distância mínima da colônia para se considerar uma viagem de forrageio verdadeira, visto que as aves podem fazer pequenas viagens no entorno da colônia para manutenção das penas, sobrevoos sobre os ninhos ou fuga pré e pós captura e marcação.

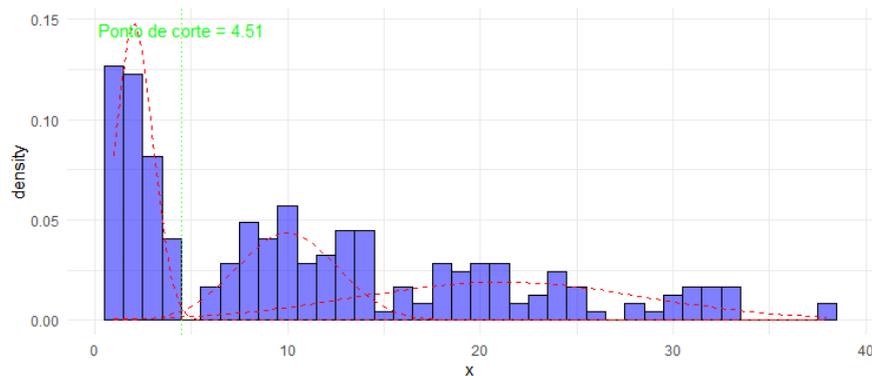


Figura 3. Distribuição multimodal de Dmax. Ponto de corte selecionado a partir da interseção das duas primeiras curvas normais.

Os locais de alimentação foram definidos a partir de pontos com velocidades inferiores à 10km/h registradas no GPS (Weimerskirch *et al.* 2005). Para avaliar diferenças no uso do espaço entre os anos, foram aplicados modelos lineares mistos (LMM), conforme implementado no pacote *glmmTMB* (Brooks *et al.* 2024). Além disso, a sobreposição do uso do espaço foi estimada a partir de estimativas de densidade de Kernel auto correlacionadas (AKDE), com uso do pacote *ctmm* (Calabrese *et al.* 2016). Com isso foi possível espacializar e sobrepor os locais utilizados para forrageio pelos

atobás ao longo dos anos. Todas as análises estatísticas foram feitas no programa R 4.4.1 (R Core Team, 2024).

## RESULTADOS

### Diferenças interanuais

Foram identificadas 583 viagens de forrageio no total (53 em 2014, 167 em 2015, 242 em 2023, e 121 em 2024). As médias e desvios padrões foram calculados para as métricas de cada ano (Tabela 1), sendo elas T, D, Dmax e Sin (Fig. 4).

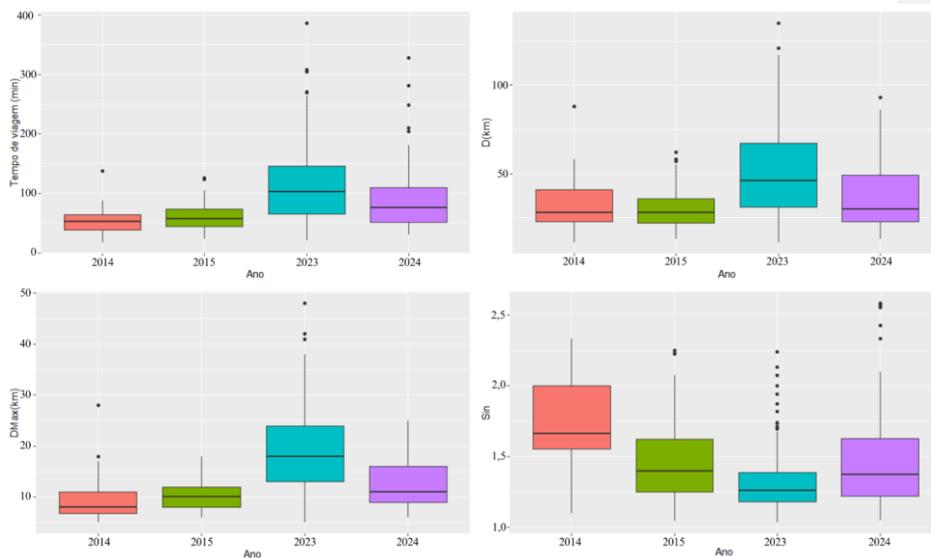


Figura 4. Boxplots demonstrando o tempo total de viagem (T; canto superior esquerdo), distância máxima percorrida (D; canto superior direito), distância total alcançada (Dmax; canto inferior esquerdo) e sinuosidade (Sin; canto inferior direito) das viagens realizadas pelos Atobás-marrom (*S. leucogaster*) rastreados em cada ano.

Tabela 1 – Médias e desvios padrões das métricas calculadas em cada ano. T = tempo de viagem, D = Distância total percorrida, Dmax = Distância máxima atingida em relação à colônia, Sin = Sinuosidade da viagem.

Métrica / amostragem	2014 (n = 53)	2015 (n = 167)	2023 (n = 101)	2024 (n = 128)
<b>T (min)</b>	55,05 ± 26,12	61,33 ± 23,40	11,66 ± 60,33	91,75 ± 54,71
<b>D (km)</b>	33,50 ± 17,15	29,42 ± 10,89	47,5 ± 23,4	20 ± 21,6
<b>Dmax (km)</b>	10,05 ± 5,86	10,04 ± 3,02	18,3 ± 8,8	6,8 ± 5,7
<b>Sin</b>	1,73 ± 0,33	1,46 ± 0,30	1,3 ± 0,2	1,2 ± 0,6

A partir das análises aplicando os LMM, foram observadas diferenças significativas (p-valor < 0,05) nas métricas entre anos destacadas nas matrizes triangulares abaixo (Tabelas 2 e 3). Também se destaca p-valor que ficou muito próximo ao limiar de diferença significativa (p-valor = 0,05). Foram observadas diferenças significativas para D entre os anos de 2015/2023 e 2023/2024. Vale ressaltar que entre 2015 e 2024 não houve diferença significativa o suficiente, porém p-valor ficou extremamente próximo do valor necessário para considerar significância. Para Dmax, observamos diferenças significativas entre 2014/2023, 2015/2023, 2015/2024 e 2023/2024. Para T, observamos diferenças significativas entre 2014/2023, 2015/2023 e 2024, e por fim 2023/2024. Para Sin, foram observadas diferenças significativas apenas entre 2014 e os demais anos de coleta.

Tabela 2. Resultados das análises com LMM contendo p-valores de distância total percorrida (D) em cada ano acima da diagonal e distância máxima atingida (Dmax) em cada ano abaixo da diagonal. Valores significativos (p-valor < 0.05) foram destacados com \* e valores de P-valor próximos a 0.05 foram destacados com \*\*.

<b>2014</b>	<b>2014</b>	0,2384	0,0828	0,9911
<b>2015</b>	0,9794	<b>2015</b>	<0,0001 *	0,0550 **
<b>2023</b>	<0,0001 *	<0,0001 *	<b>2023</b>	0,0001
<b>2024</b>	0,1296	0,0198 *	<0,0001 *	<b>2024</b>

Comentado [GT1]: Substituir por \* e \*\*, pois na versão impressa não terá cor. Substituir ponto por vírgula em todos os valores do artigo

Tabela 3. Resultados das análises com LMM contendo p-valores de duração da viagem (T) em cada ano acima da diagonal e sinuosidade da viagem (Sin) em cada ano abaixo da diagonal. Valores significativos (p-valor < 0.05) foram destacados com \*.

<b>2014</b>	<b>2014</b>	0,9999	0,0001 *	0,0665
<b>2015</b>	0,0012 *	<b>2015</b>	<0,0001 *	0,0008 *
<b>2023</b>	<0,0001 *	0,6515	<b>2023</b>	0,0323 *
<b>2024</b>	0,0080 *	0,9999	0,7838	<b>2024</b>

### Sobreposição das áreas de forrageio

A partir dos AKDE, observamos sobreposições no uso do espaço entre os anos (Fig. 5), com 2014 e 2024 apresentando a maior sobreposição, seguido de 2015/2024, 2023/2024, 2015/2023, 2014/2015 e por fim, 2014/2023, que apresentou a menor sobreposição (Tabela 4).

Tabela 4. Sobreposição do uso do espaço entre os anos de 2014, 2015, 2023 e 2024 utilizando análises de estimativa de densidade auto correlacionadas de kernel (AKDE)

	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2023</b>
<b>2014</b>	1.000		
<b>2015</b>	0.4966	1.0000	
<b>2023</b>	0.3654	0.4972	1.0000
<b>2024</b>	0.6844	0.5671	0.5471

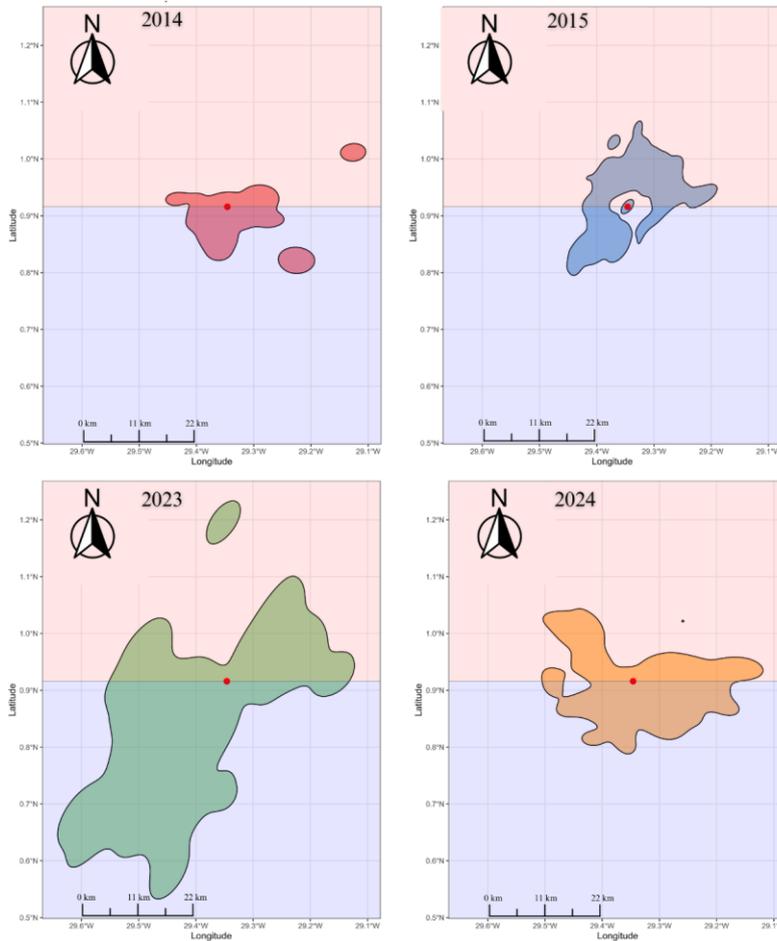


Fig. 5. Áreas de uso para forrageio dos Atobás-marrom em cada ano. Áreas de uso dos atobás em 2014 em vermelho, 2015 em azul, 2023 em verde e 2024 em laranja. Área de proteção Ambiental do Arquipélago de São Pedro e São Paulo em rosa ao norte do ASPSP, Monumento Natural do Arquipélago de São Pedro e São Paulo em azul ao sul do AASPSP. AASPSP identificado pelo ponto vermelho.

## DISCUSSÃO

O presente estudo é pioneiro em testar variações interanuais no uso do espaço pelos atobás-marrons de ASPSP. Foram observadas alterações no comportamento

forrageiro ao longo da década a partir dos dados coletados, como o aumento do número de viagens realizadas, e diferentes estratégias de uso do espaço, com as aves demonstrando adaptações às flutuações na disponibilidade de recursos. Além disso, as áreas de forrageio dos atobás atuam como um proxy para alterações na distribuição e composição da sua comunidade de presas, destacando a diferença sazonal notável, que influenciou diretamente no uso do espaço por parte das aves, com viagens mais curtas e eficientes no verão austral, enquanto no inverno, aves dispõem de um maior esforço de forrageio devido à menor biomassa de presas. Além disso, alterações na comunidade de predadores podem ter influenciado novas dinâmicas comportamentais, uma vez que essas aves tendem a cooperar com grandes predadores pelágicos que forçam as presas para a superfície, onde ficam vulneráveis às aves. Esses avanços elucidam a importância dos atobás de ASPSP como indicadoras ambientais da saúde e características ambientais do arquipélago e sua comunidade associada, permitindo acesso a dados de difícil acesso, como a distribuição da ictiofauna, interações ecológicas e áreas de relevância para a conservação dentro das UCs. Com esses dados, é possível integrar aspectos como sazonalidade, disponibilidade de presas, mudanças na comunidade de predadores e pressão da colônia para elucidar os fatores que moldam o comportamento dessa espécie, permitindo novos olhares e estratégias de conservação da população única de *S. leucogaster* do ASPSP.

Ao longo da década, há um aumento aparente na quantidade de viagens realizadas pelos Atobás, na distância máxima alcançada em relação à colônia, e no tempo gasto forrageando, além da sinuosidade observada, relacionada ao tempo em que as aves passam sobre cardumes. O aumento da distância máxima e duração das viagens podem estar relacionadas a alterações na distribuição de presas, enquanto a redução na sinuosidade pode indicar a presença de cardumes menores na área. Associado a esses

resultados, observou-se um grande influxo na população local de tubarões-lombo-preto (*Carcharhinus falciformis*) e recuperação dos tubarões-de-galápagos (*Carcharhinus galapagensis*), antes considerado extinto localmente (Bezerra *et al.* 2021, Queiroz *et al.* 2021). Esse crescimento populacional trouxe alterações na comunidade de predadores do arquipélago, levando inclusive ao desaparecimento de outros predadores locais, como os golfinhos-nariz-de-garrafa (*Tursiops truncatus*), potencialmente expulsos das imediações do arquipélago devido à predação ou competição direta com os tubarões. Tendo isso em vista, é possível assumir algum grau de interação entre os atobás e a nova comunidade de predadores pelágicos, visto que interações semelhantes são bem descritas em outros locais (Ashmole & Ashmole 1967, Diamond 1978, Santos *et al.* 2010, Naves *et al.* 2013). Com isso, alterações nas estratégias de forrageio podem ter raiz nas alterações na disponibilidade de presas no entorno do arquipélago, não devido à competição com predadores, visto que, no geral, não há uma competição direta por recursos (Júnior *et al.* 2003, Naves *et al.* 2013), mas sim pela facilitação do acesso ao recurso. Isso se dá pois predadores pelágicos tendem a “encurrular” suas presas (neste caso, as mesmas de *S. leucogaster*) na superfície, tornando-as disponíveis às aves (Ashmole & Ashmole 1967, Santos *et al.* 2010, Naves *et al.* 2013). Porém, a maior quantidade de predadores pode exaurir a quantidade de peixes necessária para alimentar ambos os predadores pelágicos quanto os aéreos em um mesmo cardume, obrigando as aves a aumentar o esforço de forrageio para atender suas necessidades alimentares.

Nas amostragens realizadas, Exocoetidae representou a principal família de presas das aves, permitindo inferir que suas áreas de forrageio representam também as áreas de distribuição dos peixes-voadores, encontrados em um raio de aproximadamente 25 km no entorno do arquipélago. Durante o verão, a desova do peixe-voador-holandês (*C. cyanopterus*) aumenta significativamente a disponibilidade de biomassa na região,

beneficiando predadores locais, como peixes pelágicos (Júnior *et al.* 2003) e as aves de ASPSP (Lessa *et al.* 1999, Naves *et al.* 2013, Nunes *et al.* 2018, Jacoby *et al.* 2023). Em contrapartida, durante o inverno austral, em 2023, as aves realizaram viagens mais longas e distantes em comparação com as viagens realizadas no verão austral de 2024, demonstrando maior esforço de forrageio no inverno. Essa variação pode ser observada especialmente no uso do espaço e nas métricas nos rastreamentos entre agosto de 2023 (inverno) e fevereiro de 2024 (verão), em que as viagens são 82% menos duradouras (T); 73,9% mais curtas (D); 64,8% menos distantes em relação à colônia (Dmax), porém 12,2% mais sinuosas, possivelmente devido ao maior uso de tempo forrageando sobre grandes cardumes ao invés de voar em busca dos mesmos. Há também uma diferença significativa na sobreposição de áreas entre 2023 e 2024, demonstrando visualmente como a alta disponibilidade de presas no entorno do arquipélago permite que as aves não se distanciem desse local. Isso pode ser explicado pela predominância de outras espécies de Exocoetidae, como *Exocoetus volitans* (Mancini & Bugoni 2014, Nunes *et al.* 2018), porém, a falta de outros estudos que façam análise de variação sazonal na dieta das aves pode levar a um entendimento incompleto de quais presas apresentam maior importância para sua dieta. Estudos com outros predadores de topo, como *Tunnus albacares*, *Acanthocybium solandri*, *Ruvettus pretiosus* e *Elagatis bipinnulata* (Júnior *et al.* 2003, 2006, Viana *et al.* 2012) indicam uma maior importância de *C. cyanopterus* durante o verão, mostrando a relevância dessa espécie como fonte de alimentos para grandes predadores locais, sendo necessários melhores estudos para avaliar sua importância para *S. leucogaster*. É importante notar que a diferença de tamanho entre as espécies presentes no inverno e no verão podem levar a alterações no uso do espaço. O peixe-voador holandês atinge os 40 cm de comprimento, sendo consideravelmente maior do que *E. volitans* e *Oxyporhamphus micropterus* que atingem no máximo 30 cm e 18,5 cm de

comprimento respectivamente (Fisher et al. 1990). Com isso, as aves precisam consumir uma maior quantidade de presas no inverno para atingir a mesma quantidade de energia ingerida no verão, logo, sendo necessário investir mais tempo em atividades de forrageio.

Outro ponto importante a ser analisado é o uso comercial de *C. cyanopterus* para a pesca, pois é utilizado como isca para pesca de grandes predadores pelágicos (Júnior *et al.* 2003). Dessa forma, sua maior disponibilidade no verão pode levar à um excedente nas embarcações de pesca e consecutivo descarte, disponibilizando assim, uma fonte de alimento de fácil acesso para o atobá-marrom, que apresenta comportamento forrageiro próximo a embarcações pesqueiras para alimentar-se dos descartes (Jacoby *et al.* 2023).

Um aspecto fundamental que dita o comportamento das aves é a reprodução que ocorre durante o ano todo nessa população, que, além de precisar manter os cuidados parentais com o filhote, precisam defender seu território constantemente devido à alta densidade de ninhos na colônia, por vezes com menos de 1 metros de distância entre eles (Nunes *et al.* 2018). Logo, viagens mais eficientes, mais curtas e menos duradouras conferem uma vantagem estratégica para que essas aves não fiquem muito tempo afastadas de seus ninhos, prevenindo a perda do território ou a predação de seus filhotes por outros indivíduos da colônia (Neves *et al.* 2015).

Quanto ao uso das unidades de conservação, nota-se que ambas são ativamente utilizadas pelas aves, em todos os períodos de amostragem. Além disso, vale lembrar que as aves estão em constante associação com suas presas, como peixes voadores, bem como com predadores pelágicos, como atuns, tubarões, cavalas, barracudas, golfinhos, entre outros, representando também a sua distribuição nas UCs e atuando como sentinelas para a delimitação de áreas importantes para a preservação, em especial para níveis intermediários e superiores da cadeia trófica. A APA e a MONA do ASPSP foram criadas

pelo Decreto n° 9313, de 19 de março de 2018, com objetivo de preservar os recursos naturais e a biodiversidade única desse local. Porém, a APA permite a utilização sustentável desses recursos, enquanto a MONA limita o uso humano direto, afim de assegurar a conservação dos ecossistemas mais sensíveis. O problema é a exclusão do arquipélago da área da MONA, com seu limite sendo encontrado à sul das ilhas, apesar das recomendações feitas de que os limites da MONA formassem um polígono de 13900 ha no entorno do arquipélago, protegendo não apenas as ilhas, mas todo o ecossistema único e as espécies endêmicas associadas ( Francini-Filho *et al*, 2018). A inclusão do arquipélago na APA permite que haja utilização direta dos recursos fundamentais para a manutenção do equilíbrio desse ecossistema. Com isso, fica claro que aspectos de grande importância para a biodiversidade não foram levadas em conta na definição dos limites de ambas UCs, sendo necessário aperfeiçoamentos através de ferramentas legais como zoneamento e/ou estabelecimento de zonas de amortecimento ao redor das UCs levando em consideração as informações disponibilizadas por este e outros estudos quanto à relevância de determinadas áreas utilizadas não só pelas aves, mas pela diversa comunidade que habita o ASPSP.

O comportamento forrageiro de aves marinhas é ditado pela disponibilidade de presas em seu ambiente (Wakefield *et al.* 2009, Fagan *et al.* 2013, Regan *et al.* 2024, Schoombie *et al.* 2024)e, com isto, alterações a partir de mudanças no ambiente à sua volta influenciam diretamente nas adaptações do espaço por parte desses animais (Jacoby *et al.* 2023). Dadas as condições únicas encontradas na população de *S. leucogaster* encontradas no ASPSP, como a grande disponibilidade de peixes-voadores, as alterações na comunidade de predadores pelágicos, a variabilidade sazonal de recursos e a grande competitividade por espaço na colônia, estudos para compreender a relação destes animais com o ambiente à sua volta são fundamentais para identificar os diversos

parâmetros que definem seu comportamento e a importância de cada aspecto para a conservação desta espécie. Além disso, aves marinhas colônias atuam como amostradoras da saúde e características do ambiente no entorno de sua colônia, oferecendo conhecimento de dados e informações de difícil acesso, como a taxonomia e composição da ictiofauna residente em um lugar pouco acessível e inóspito como o ASPSP. Sendo assim esse estudo não busca apenas uma melhor compreensão do uso do espaço por parte dos atobás-marrons residentes ao ASPSP, mas também refinar o conhecimento sobre a ecologia da comunidade e dos esforços necessários para a conservação dessa população de atobás e da comunidade única encontrada associada ao ASPSP a partir do refinamento das áreas de proteção para garantir a segurança dos processos ecológicos que dependem diretamente desse ecossistema único.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a PL Mancini, FP Marques, L Bertolini, J Jacoby, MS Mazzochi e BA Linhares pelo suporte na coleta dos dados, e a F Vilela e G Arnosso pelo auxílio na análise de dados. Adicionalmente, agradecem à Marinha do Brasil pelo suporte logístico para realização das expedições, e à Universidade Federal do Rio Grande e ao *Institut de recherche pour le développement* pelo empréstimo de parte dos rastreadores.

### **Financiamento**

O presente estudo foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico no âmbito do Programa Pró-Arquipélago, através dos processos 405497/2012-1 e 443328/2019-6. FC Nery recebeu bolsa de Iniciação Científica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul através do Programa BIC-UFRGS.

### **Acessibilidade dos dados**

Todos os dados utilizados para a realização do presente estudo, bem como o código de programação na linguagem R, estão disponíveis para download em [https://github.com/SeabirdEcologyUFRGS/NeryBB\\_AASPSP](https://github.com/SeabirdEcologyUFRGS/NeryBB_AASPSP).

### **REFERÊNCIAS**

- Aarts, G., Mul, E., Fieberg, J., Brasseur, S., van Gils, J. A., Matthiopoulos, J., & Riotte-Lambert, L. 2021. Individual-level memory is sufficient to create spatial segregation among neighboring colonies of central place foragers. *The American Naturalist*, 198(2), E37–E52. DOI: 10.1086/715014
- Ashmole, N. P. & Ashmole, M. J. 1967. Comparative feeding ecology of sea birds of a tropical oceanic island. *Bulletin of the Peabody Museum of Natural History*, 24.
- Au, D. W. K., & Pitman, R. L. 1986. Seabird interactions with dolphins and tuna in the eastern tropical pacific. *The Condor*, 88(3), 304–317. DOI: 10.2307/1368877
- Brooks M.E., Kristensen K., van Benthem K.J., Magnusson A., Berg C.W., Nielsen A., Skaug H.J., Maechler M., Bolker B.M. 2017. glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. *The R Journal*, 9(2), 378–400. doi:10.32614/RJ-2017-066.
- Calabrese, J. M., Fleming, C. H., & Gurarie, E. 2016. ctmm: an r package for analyzing animal relocation data as a continuous-time stochastic process. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(9), 1124–1132. DOI: 10.1111/2041-210X.12559

- Cannell, B. L., Allen, P. J. D., Wiley, E. M., Radford, B., Surman, C. A., & Ridley, A. R. 2022. Diet of brown boobies at a globally significant breeding ground is influenced by sex, breeding, sub-colony and year. *Marine Ecology Progress Series*, 681, 227–245. DOI: 10.3354/meps13895
- Carpenter-Kling, T., Reisinger, R. R., Orgeret, F., Connan, M., Stevens, K. L., Ryan, P. G., Makhado, A., & Pistorius, P. A. 2020. Foraging in a dynamic environment: Response of four sympatric sub-Antarctic albatross species to interannual environmental variability. *Ecology and Evolution*, 10(20), 11277–11295. DOI: 10.1002/ece3.6766
- Castillo-Guerrero, A., Lerma, M., Mellink, E. & Peñaloza-Padilla, E. 2016. Environmentally-mediated flexible foraging strategies in brown boobies in the Gulf of California. *Ardea*, 104(1), 33-47. 10.5253/arde.v104i1.a3.
- Correia, E., Catry, P., Sinclair, F., dos Santos, Y., Robalo, J. I., Lima, C. S., & Granadeiro, J. P. 2021. Foraging behaviour and diet of Brown boobies *Sula leucogaster* from Tinhosas Islands, Gulf of Guinea. *Marine Biology*, 168(6). DOI: 10.1007/s00227-021-03904-0
- Croxall J. P. & Prince P. A., Food, feeding ecology and ecological segregation of seabirds at South Georgia, *Biological Journal of the Linnean Society*, 14(1), 103–131. DOI: 10.1111/j.1095-8312.1980.tb00101.x
- Queiroz, J. D. G. R., Bezerra, N. P. A., Macena, B. C. L., & Hazin, F. H. V. 2021. Back from the dead? Not really. The tale of the Galapagos shark (*Carcharhinus galapagensis*) in a remote Brazilian archipelago. *Biological Conservation*, 256, 109097. DOI: 10.1016/j.biocon.2021.109097
- Diamond, A. W. 1978. Feeding strategies and population size in tropical seabirds. *The American Naturalist*, 112(983), 215–223.

- Dorward, D. 2008. Comparative Biology of the White Booby and the Brown Booby *Sula* spp. *Ibis*, 103B, 174–220. DOI: 10.1111/j.1474-919X.1962.tb07244.x
- Fagan, W. F., Lewis, M. A., Auger-Méthé, M., Avgar, T., Benhamou, S., Breed, G., LaDage, L., Schlägel, U. E., Tang, W., Papastamatiou, Y. P., Forester, J., & Mueller, T. 2013. Spatial memory and animal movement. *Ecology Letters*, 16(10), 1316–1329. DOI: 10.1111/ele.12165
- Francini-Filho, R. B., Ferreira, C. E. L., Mello, T. J., Prates, A. P. L., & Silva, V. N. 2018. Diagnóstico biológico e sócio-econômico para a proposta de criação de uma Área de Proteção Ambiental (APA) e um Monumento Natural Marinho (MONA) no Arquipélago São Pedro e São Paulo. Disponível em <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/centrais-deconteudo/estudos-cria-c3-a7-c3-a3o-saopedro-saopaulo-pdf>.
- Furness, R. W., & Birkhead, T. R. 1984. Seabird colony distributions suggest competition for food supplies during the breeding season. *Nature*, 311(5987), 655–656. DOI: 10.1038/311655a0
- Guilford, T. C., Meade, J., Freeman, R., Biro, D., Evans, T., Bonadonna, F., Boyle, D., Roberts, S., & Perrins, C. M. 2008. GPS tracking of the foraging movements of Manx Shearwaters *Puffinus puffinus* breeding on Skomer Island, Wales. *Ibis*, 150(3), 462–473. DOI: 10.1111/j.1474-919X.2008.00805.x
- Jacoby, J., Luciano Mancini, P., Bertrand, S. L., Amorim Efe, M., Bugoni, L., & Nunes, G.T. 2023. Biogeographic variation on dietary aspects of a widely distributed seabird. *Marine Biology*, 170(2). DOI: 10.1007/s00227-022-04171-3
- Jesmer, B. R., Merkle, J. A., Goheen, J. R., Aikens, E. O., Beck, J. L., Courtemanch, A. B., Hurley, M. A., McWhirter, D. E., Miyasaki, H. M., Monteith, K. L., & Kauffman, M. J. 2018. Is ungulate migration culturally transmitted? Evidence of

- social learning from translocated animals. *Science*, 361(6406), 1023–1025. DOI: 10.1126/science.aat0985
- Júnior, T. V., Hazin, F. H. V., & Lessa, R. P. 2006. Pesca e hábitos alimentares do peixe-rei, *Elagatis bipinnulata* (Quoy & Gaimard, 1825) (Pisces: Carangidae) no Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Version 1–2. *Arquivos de Ciências do Mar*, 39(1–2), 61–65. DOI: 10.32360/acmar.v39i1-2.6174
- Júnior, T. V., Vooren, C., & Lessa, R. 2003. Estratégia alimentar da albacora-laje (*Thunnus albacares*) e cavala-empinge (*Acanthocybium solandri*) no Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Version 2. *Boletim do Instituto de Pesca*, 29(2), 173–181.
- Kooyman, G.L. 2004. Genesis and evolution of bio-logging devices: 1963–2002. *Memoirs of National Institute of Polar Research.*; (58), 15–22.
- Kushlan, J., & Croxall, J. 1988. Seabirds: Feeding Ecology and Role in Marine Ecosystems. *Colonial Waterbirds*, 11(2), 338-339. DOI: 10.2307/1521021
- Lessa, R., Mafalda, P., Lucchesi, R., Júnior, J., Vaske Júnior, T., & Hellebrandt, D. 1999. Distribution and abundance of ichthyoneuston at seamounts and islands off North-Eastern Brazil. *Archives of Fishery and Marine Research*, 47(2/3), 133–146.
- Mancini, P. L., & Bugoni, L. 2014. Resources partitioning by seabirds and their relationship with other consumers at and around a small tropical archipelago. *ICES Journal of Marine Science*, 71(9), 2599–2607. DOI: 10.1093/icesjms/fsu105
- Mancini, P. L., Serafini, P. P., & Bugoni, L. 2016. Breeding seabird populations in Brazilian oceanic islands: historical review, update and a call for census

- standardization. *Revista Brasileira de Ornitologia - Brazilian Journal of Ornithology*, 24(2), 94–115. DOI: 10.1007/BF03544338
- Naves, L. C., Brusque, L. F., & Vooren, C. M. 2013. Feeding ecology of *Sula leucogaster*, *Anous stolidus* and *Anous minutus* at Saint Peter and Saint Paul's Rocks, Brazil. Version 16. *Revista Brasileira de Ornitologia - Brazilian Journal of Ornithology*, 10(16), 10.
- Nelson, J. B. 2006. *Pelicans, Cormorants, and Their Relatives: The Pelecaniformes*. *Integrative and Comparative Biology*, 46(6), 1206–1207 Oxford, New York: Oxford University Press: p. 680.
- Neves, F. M., Mancini, P. L., Marques, F. P., Nunes, G. T., & Bugoni, L. 2015. Cannibalism by Brown Booby (*Sula leucogaster*) at a small tropical archipelago. *Revista Brasileira de Ornitologia*, 23(3), 299–304. DOI: 10.1007/BF03544295
- Nunes, G. T., Bertrand, S., & Bugoni, L. 2018. Seabirds fighting for land: phenotypic consequences of breeding area constraints at a small remote archipelago. Version 1. *Scientific Reports*, 8(1), 665. DOI: 10.1038/s41598-017-18808-7
- Phalan, B., Phillips, R., Silk, J., Afanasyev, V., Fukuda, A., Fox, J., Catry, P., Higuchi, H., & Croxall, J. 2007. Foraging behavior of four albatross species by night and day. *Marine Ecology-Progress Series*, 340, 271–286. DOI: 10.3354/meps340271
- Piatt J.F., Harding A.M.A., Shultz M., Speckman S.G., van Pelt T.I., Drew G.S. Kettle A.B. 2007. Seabirds as indicators of marine food supplies: Cairns revisited. *Marine Ecology-Progress Series*, 352, 221-234. DOI: 10.3354/meps07078
- R Core Team (2024). *\_R: A Language and Environment for Statistical Computing\_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.

- Regan, C. E., Bogdanova, M. I., Newell, M., Gunn, C., Wanless, S., Harris, M. P., Lopez, S. L., Benninghaus, E., Bolton, M., Daunt, F., & Searle, K. R. 2024. Seabirds show foraging site and route fidelity but demonstrate flexibility in response to local information. *Movement Ecology*, 12(1), 46. DOI: 10.1186/s40462-024-00467-9
- Reyes-Arriagada, R., Schlatter, R., Hodum, P., & Rozzi, R. 2015. Seabirds and island communities: Biodiversity awareness as a tool for the conservation of insular species. 1, 23–44. .
- Santos, M. C. O., Oshima, J. E. F., Pacífico, E. S., & Silva, E. 2010. Feeding associations between Guiana dolphins, *Sotalia guianensis* (Van Bénèden, 1864) and seabirds in the Lagamar estuary, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 70, 9–17. DOI: 10.1590/S1519-69842010000100004
- Schoombie, S., Wilson, R. P., Ropert-Coudert, Y., Dilley, B. J., & Ryan, P. G. 2024. The efficiency of detecting seabird behaviour from movement patterns: the effect of sampling frequency on inferring movement metrics in Procellariiformes. *Movement Ecology*, 12(1), 59. DOI: 10.1186/s40462-024-00499-1
- Schreiber, E. A., & Norton, R. L. 2020. Brown Booby (*Sula leucogaster*), version 1.0. Birds of the World. DOI:10.2173/bow.brnboo.01species\_shared.bow.project\_name
- Silverman, E., Veit, R., & Nevitt, G. 2004. Nearest neighbors as foraging cues: Information transfer in a patchy environment. *Marine Ecology-Progress Series - Marine Ecology-Progress Series*, 277, 25–36. DOI: 10.3354/meps277025
- Smith, W. J., & Nelson, J. 1980. The Sulidae: Gannets and Boobies. *Bioscience*, 30. DOI: 10.2307/1308071

- Thaxter, C. B., Lascelles, B., Sugar, K., Cook, A. S. C. P., Roos, S., Bolton, M.,  
Langston, R. H. W., & Burton, N. H. K. 2012. Seabird foraging ranges as a  
preliminary tool for identifying candidate Marine Protected Areas. *Biological  
Conservation*, 156, 53–61. DOI: 10.1016/j.biocon.2011.12.009
- Viana, D. de L., Tolotti, M. T., Porto, M., Araújo, R. J. V. de, Vaske Júnior, T., & Hazin,  
F. H. V. 2012. Diet of the oilfish *Ruvettus pretiosus* (Perciformes: Gempylidae)  
in the Saint Peter and Saint Paul archipelago, Brazil. *Brazilian Journal of  
Oceanography*, 60, 181–188.
- Wakefield, E. D., Phillips, R. A., & Matthiopoulos, J. 2009. Quantifying habitat use and  
preferences of pelagic seabirds using individual movement data: a review.  
*Marine Ecology Progress Series*, 391, 165–182. DOI: 10.3354/meps08203
- Weimerskirch, H., Le Corre, M., Ropert-Coudert, Y., Kato, A., & Marsac, F. 2005. The  
three-dimensional flight of red-footed boobies: adaptations to foraging in a  
tropical environment? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*,  
272(1558), 53–61. DOI: 10.1098/rspb.2004.2918
- Whiles, M. & Garvey, J.E. 2016. *Trophic Ecology*. Boca Raton: CRC Press: p. 393.  
DOI: 10.1201/9781315367804
- Wilson, R. P., Rose, K. A., Gunner, R., Holton, M. D., Marks, N. J., Bennett, N. C., Bell,  
S. H., Twining, J. P., Hesketh, J., Duarte, C. M., Bezodis, N., Jezek, M., Painter,  
M., Silovsky, V., Crofoot, M. C., Harel, R., Arnould, J. P. Y., Allan, B. M.,  
Whisson, D. A., Alagaili, A., & Scantlebury, D. M. 2021. Animal lifestyle affects  
acceptable mass limits for attached tags. *Proceedings of the Royal Society B:  
Biological Sciences*, 288(1961), 20212005. DOI: 10.1098/rspb.2021.2005

Wilson, R., & Vandenabeele, S. 2011. Technological innovation in archival tags used in seabird research. *Marine Ecology Progress Series*, 451, 245–262. DOI: 10.3354/meps09608