

**Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da
Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região
Marinha e Costeira Adjacente**

Material Suplementar Ambiente Marinho

Tema: Aves Marinhas

RT- 44/ NOV 23

RSE2023 PMBA/Fest

Vitória,

Novembro de 2023

SUMÁRIO

1	HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL	3
2	RESULTADOS DOS INDICADORES	3
2.1	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E USO DOS RECURSOS ALIMENTARES POR AVES MARINHAS NA ÁREA ATINGIDA PELOS REJEITOS DA BARRAGEM DE FUNDÃO	4
2.2	CONCENTRAÇÕES DE ELEMENTOS-TRAÇO NAS AVES MARINHAS QUE UTILIZAM A FOZ DO RIO DOCE E ADJACÊNCIAS PARA ALIMENTAÇÃO	74
2.3	CONDIÇÕES SANITÁRIAS, DEMOGRÁFICAS E GENÉTICAS DAS AVES MARINHAS QUE UTILIZAM A FOZ DO RIO DOCE E ADJACÊNCIAS PARA ALIMENTAÇÃO	97
3	REFERÊNCIAS	172

1 HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL

O histórico de malha e frequência amostrais do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I (PMBA/Fest) abrange informações de suma importância para o balizamento do presente programa, uma vez que passou por modificações ao longo do tempo, visando melhor atender aos objetivos do PMBA/Fest. Estas alterações foram aprovadas pela Câmara Técnica da Biodiversidade (CTBio) por meio de: (1) ofício SEI nº 1/2020-CTBio/DIBIO/ICMBio, de outubro de 2019 (para o período de transição) e (2) Proposta Técnica de continuidade do monitoramento, apresentadas e aprovadas em 2022, visando o “Novo Ciclo do PMBA/Fest”.

As modificações implementadas se encontram nos seguintes Materiais Suplementares: 1) **MS – Malha e Frequência amostral**, onde as diferentes malhas e frequências amostrais são apresentadas nas abas “Ano 1”, “Transição”, “Novo Ciclo” e “Histórico Frequências” e 2) **MS – Mapas das malhas amostrais**, com a espacialização histórica referente às malhas amostrais dos Ambientes. Como forma de esclarecer os períodos contemplados em cada uma delas, “Ano 1” se refere às estações amostrais coletadas entre setembro de 2018 e setembro de 2019, “Transição” às estações entre outubro de 2019 e julho de 2022 e “Novo Ciclo” referente às estações amostrais coletadas a partir de agosto de 2022, à exceção do grupo da Ecotoxicologia, que iniciou a amostragem referente ao Novo Ciclo em janeiro de 2023.

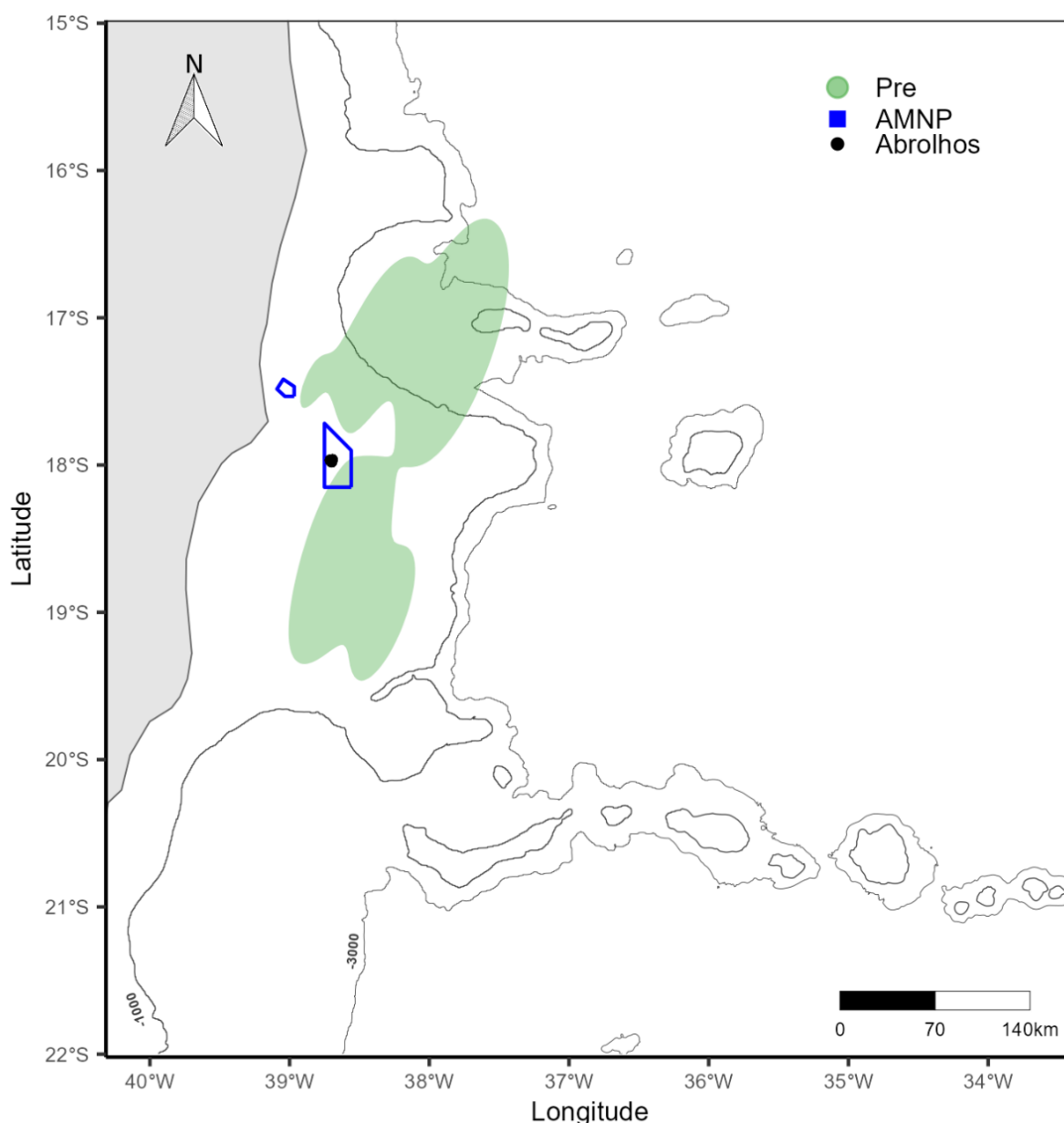
2 RESULTADOS DOS INDICADORES

Nesta seção serão apresentados os resultados dos indicadores de qualidade ambiental e da biodiversidade aquática do Tema, os quais foram desenvolvidos pelo PMBA/Fest e obtidos ao longo do monitoramento (setembro/2018 – março/2023) na área ambiental I. Vale ressaltar que, os indicadores aqui apresentados têm como propósito clarificar e sintetizar a historicidade dos resultados, interpretação e conclusões do monitoramento, promovendo o acompanhamento espaço-temporal da qualidade ambiental e biodiversidade, além de configurarem importantes ferramentas de suporte aos gestores ambientais. A partir destes indicadores, pode-se identificar os impactos com relação direta ou indireta ao rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana (MG).

Os indicadores do PMBA/Fest vêm se consolidando ao longo do monitoramento e, seguindo a proposta estabelecida desde o Relatório Anual de 2022 (RA2022), a apresentação dos resultados será exclusivamente a partir da apresentação dos indicadores, acompanhados de legenda estendida com a explicação de sua variação espaço-temporal de forma mais direta e objetiva como se segue:

2.1 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E USO DOS RECURSOS ALIMENTARES POR AVES MARINHAS NA ÁREA ATINGIDA PELOS REJEITOS DA BARRAGEM DE FUNDÃO

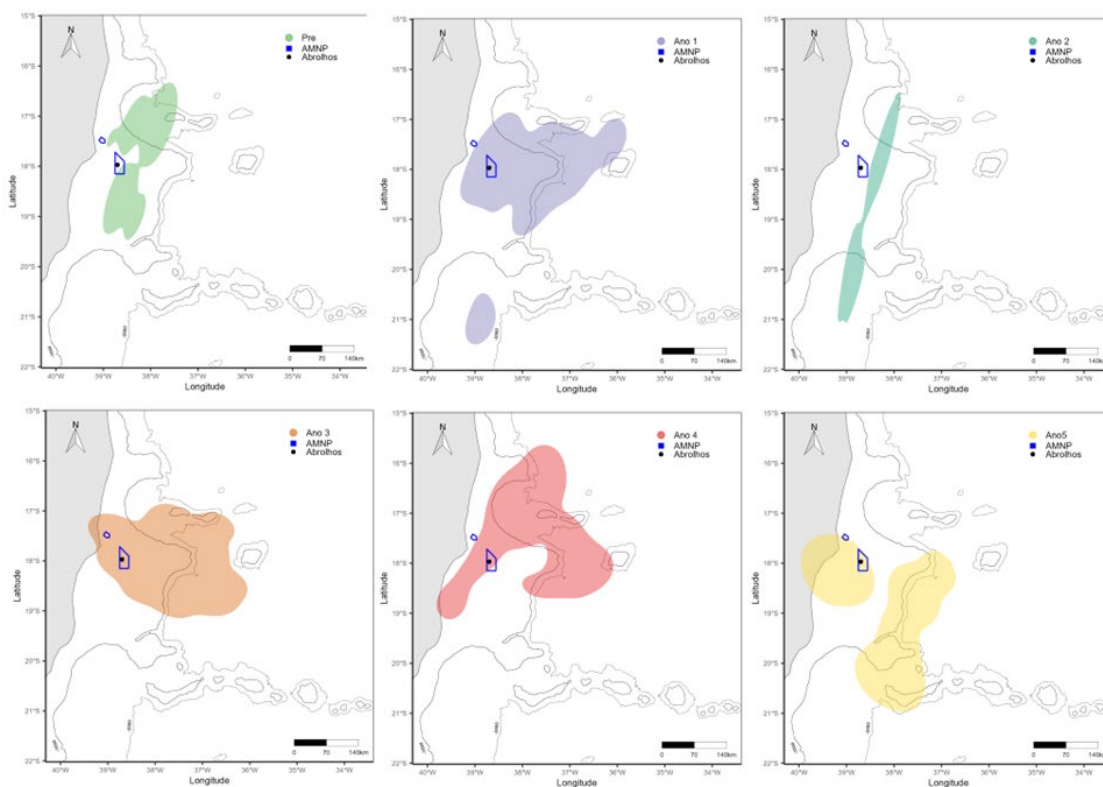
Figura 1: Áreas de forrageio de *Phaethon aethereus* em atividade reprodutiva no arquipélago dos Abrolhos estimadas a partir de dados de rastreamento remoto com sensores miniaturizados. Os dados se referem a viagens de forrageio rastreadas no período pré rompimento da barragem de Fundão. Áreas de kernel contêm 75% dos dados. AMNP = polígono do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos; Abrolhos = arquipélago dos Abrolhos.



Os indivíduos de *P. aethereus* que se reproduzem em Abrolhos foram rastreados no período prévio ao rompimento da barragem de Fundão, no âmbito de projetos de pesquisa desenvolvidos pela equipe do Tema Aves Marinhas do PMBA/Fest. Durante esse período, os dados mostram que a espécie utilizava o entorno do arquipélago para alimentação, como é comum para aves marinhas. A imagem acima é produzida a partir de uma segmentação da trajetória rastreada, através da qual são isolados apenas os pontos no tempo e no espaço nos quais são estimados ocorrer atividade de forrageio. Vale destacar

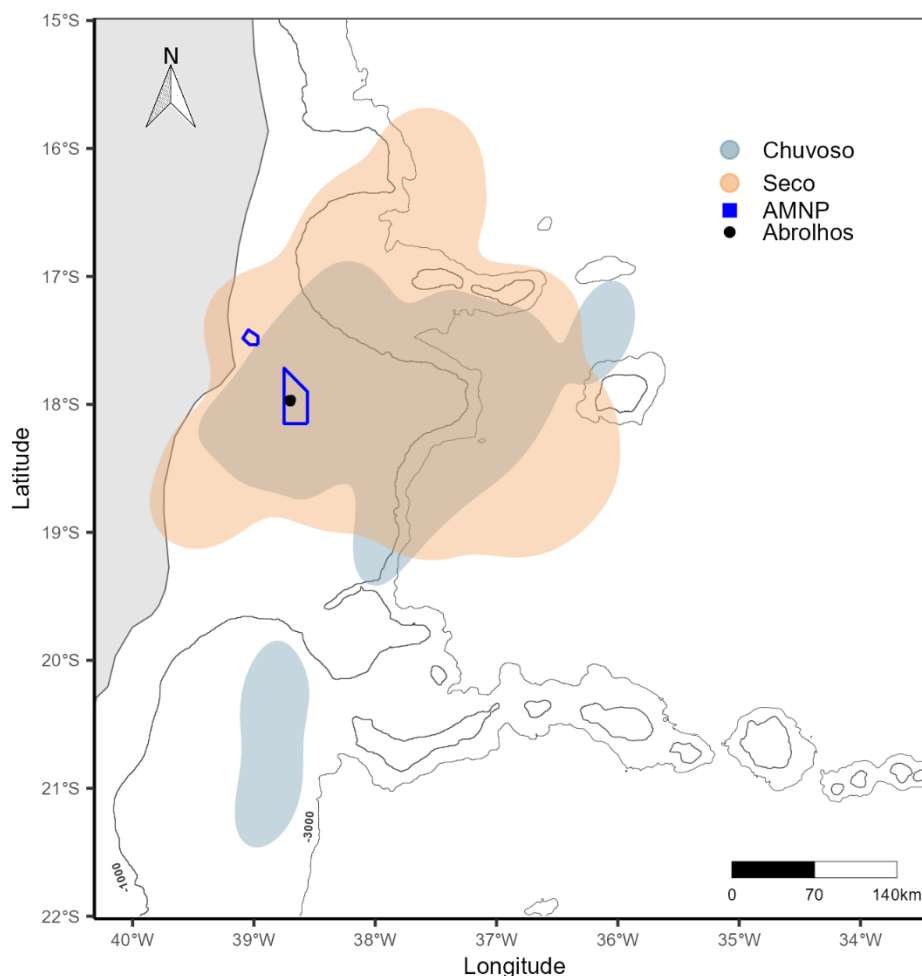
que a espécie se alimenta sobre a plataforma continental, mas também usualmente além do talude, como observado na porção norte da área de alimentação.

Figura 2: Áreas de forrageio de *Phaethon aethereus* em atividade reprodutiva no arquipélago dos Abrolhos estimadas a partir de dados de rastreamento remoto com sensores miniaturizados. Os dados se referem a viagens de forrageio rastreadas em todos os períodos, antes e após o rompimento da barragem de Fundão. Amostragens do Ano 2 foram prejudicadas pela pandemia de Covid-19. Áreas de kernel contêm 75% dos dados. AMNP = polígono do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos; Abrolhos = arquipélago dos Abrolhos.



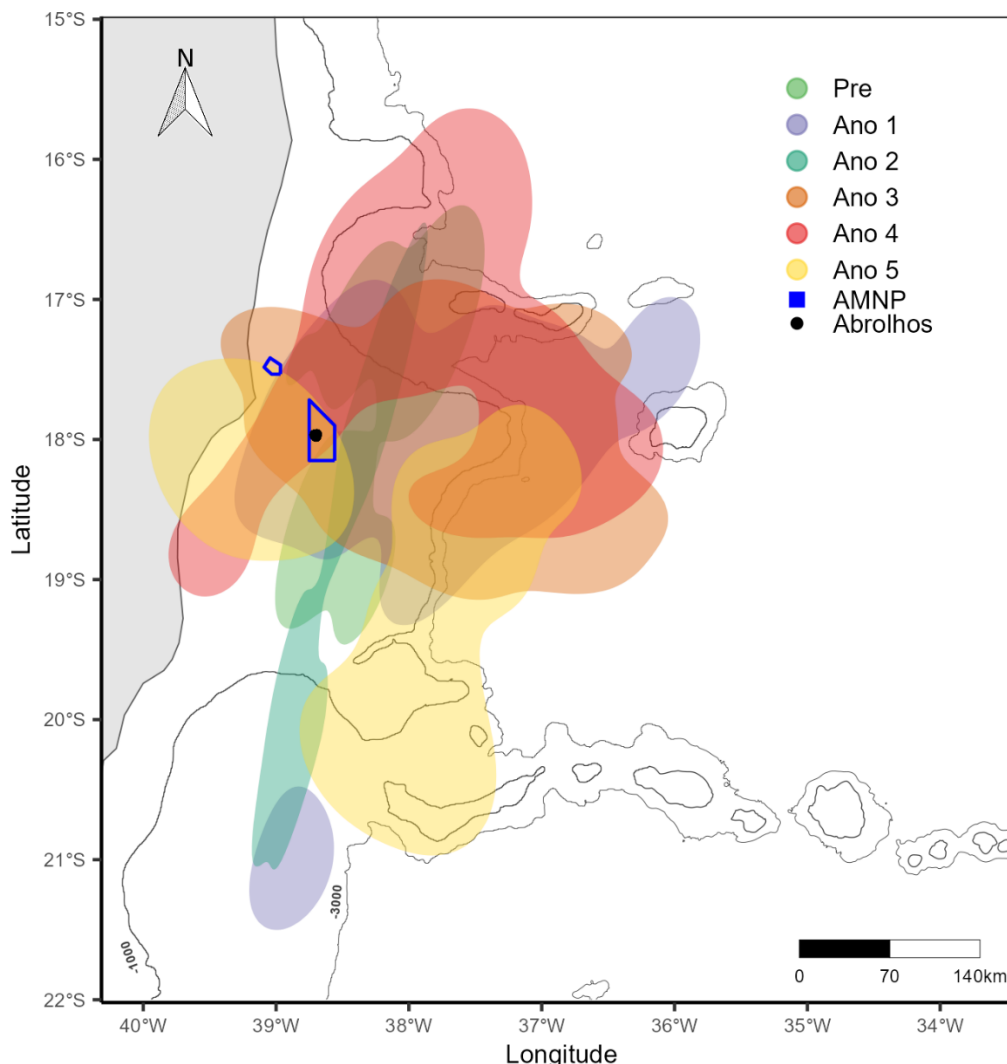
Em todos os anos amostrados após o rompimento da barragem, *P. aethereus* permaneceu utilizando o entorno do arquipélago durante viagens de alimento em período reprodutivo. Existem variações interanuais na utilização do espaço para captura das presas, mas não são substanciais o suficiente para apontar alterações nas áreas de alimentação entre os períodos. De forma similar ao período pré-rompimento da barragem, a espécie permaneceu utilizando a plataforma continental no entorno do arquipélago, bem como o talude e áreas oceânicas ao norte

Figura 3: Áreas de forrageio de *Phaethon aethereus* em atividade reprodutiva no arquipélago dos Abrolhos estimadas a partir de dados de rastreamento remoto com sensores miniaturizados. Os dados se referem a viagens de forrageio rastreadas no período pós rompimento da barragem de Fundão, nos períodos secos e chuvosos desde 2018 a 2023. AMNP = polígono do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos; Abrolhos = arquipélago dos Abrolhos.



Comparação entre os períodos secos e chuvosos durante o período de execução do PMBA/Fest indica uma permanência na região para alimentação durante ambos os períodos. A imagem indica uma forte sobreposição entre as áreas de alimentação dos dois períodos, embora a área de forrageio seja maior para o período seco, sugerindo uma maior área de busca como consequência de presas com distribuição mais difusa no espaço, ou até de um aumento na competição intra e/ou interespecífica no entorno imediato do arquipélago.

Figura 4: Áreas de forrageio de *Phaethon aethereus* em atividade reprodutiva no arquipélago dos Abrolhos estimadas a partir de dados de rastreamento remoto com sensores miniaturizados. Os dados se referem a todas as viagens de forrageio rastreadas nos períodos pré e pós rompimento da barragem de Fundão. AMNP = polígono do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos; Abrolhos = arquipélago dos Abrolhos.



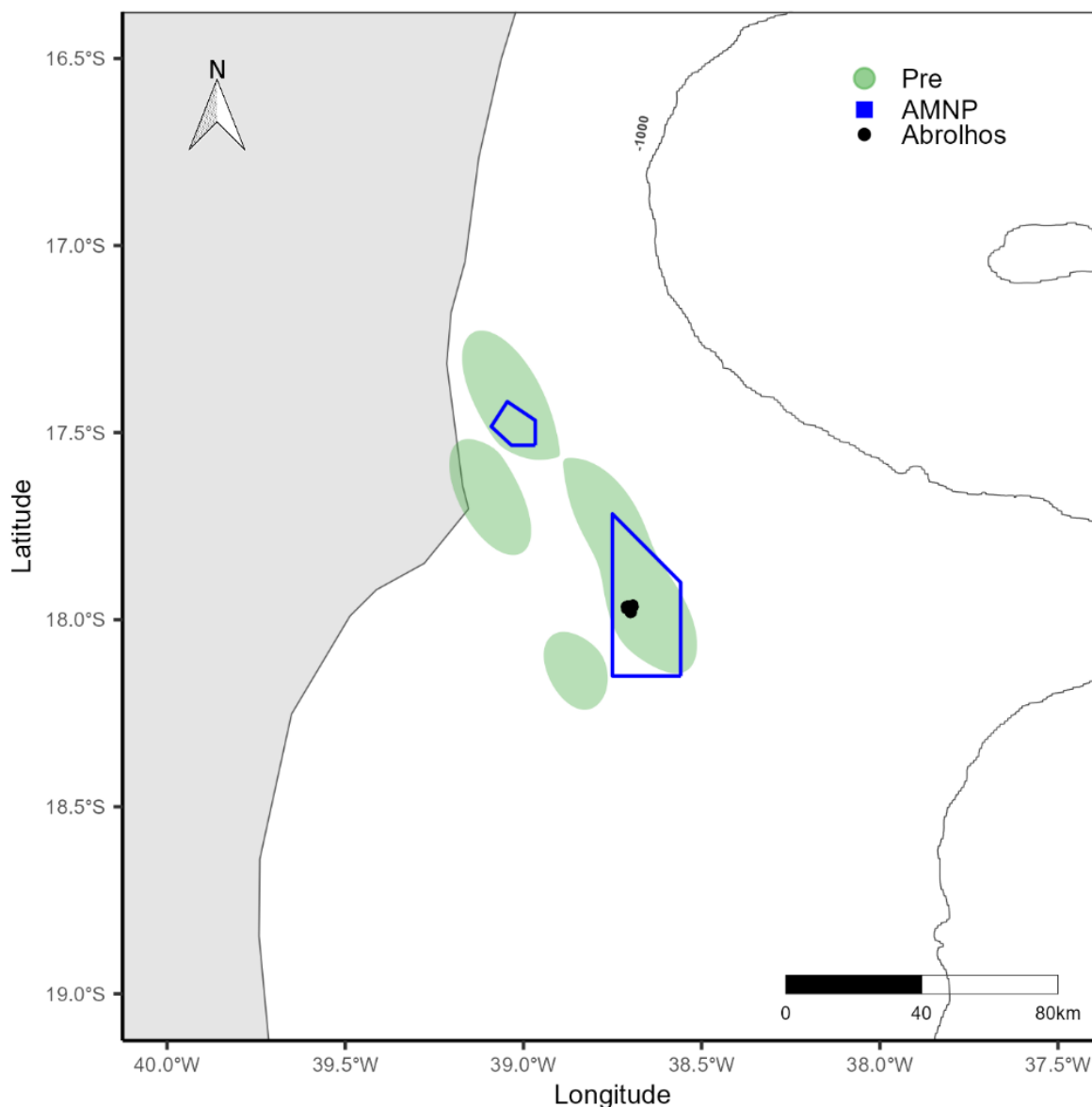
Embora com variações interanuais, a figura composta demonstra uma forte sobreposição entre as áreas de alimentação dos períodos pré e pós rompimento, indicando que *P. aethereus* permanece utilizando, no período pós-rompimento, a plataforma continental ao sul de Abrolhos, bem como o talude e as áreas oceânicas ao norte do arquipélago. As variações interanuais estão, possivelmente, associadas a variações naturais na distribuição das presas, as quais são, em sua maioria, pequenos peixes epipelágicos. Considerando que, especialmente, a região ao sul do arquipélago foi impactada pelo rompimento da barragem, e que há um processo de recontaminação crônica da região, é possível inferir que *P. aethereus* está permanentemente exposta aos contaminantes presentes na coluna d'água durante viagens de alimentação em período reprodutivo, ilustrando o conceito de armadilha ecológica.

Tabela 1: Estatísticas básicas das viagens de forrageio de *Phaethon aethereus* em atividade reprodutiva no arquipélago dos Abrolhos estimadas a partir de dados de rastreamento remoto com sensores miniaturizados. Os dados se referem a valores de média e desvio padrão de todas as viagens de forrageio rastreadas nos períodos pré e pós rompimento da barragem de Fundão. Os valores entre parênteses indicam o número de indivíduos rastreados em cada ano, para os quais foram obtidas viagens completas. Dmax = distância máxima atingida a partir da colônia, expressa em km; D = distância total percorrida, expressa em km; T = duração total das viagens de forrageio, expressas em horas; Sin = sinuosidade das trajetórias, a qual é calculada por $D/2D_{max}$.

	2012 (2)	2019 (23)	2020 (3)	2021 (6)	2022 (9)	2023 (6)
Dmax (km)	112,9 ± 43,1	147,3 ± 97,3	161,7 ± 159,8	181,2 ± 80,2	167 ± 64,5	134,3 ± 95,7
D (km)	285,1 ± 156,3	422,9 ± 344,3	401,2 ± 425,2	404,1 ± 188,3	357 ± 183,5	267,6 ± 156,1
T (h)	27 ± 29,3	58,6 ± 48,7	45 ± 39,9	58,5 ± 27,6	42 ± 28,6	34,2 ± 27,8
Sin	1,22 ± 0,22	1,34 ± 0,39	1,16 ± 0,17	1,17 ± 0,35	1 ± 0,23	1,21 ± 0,47

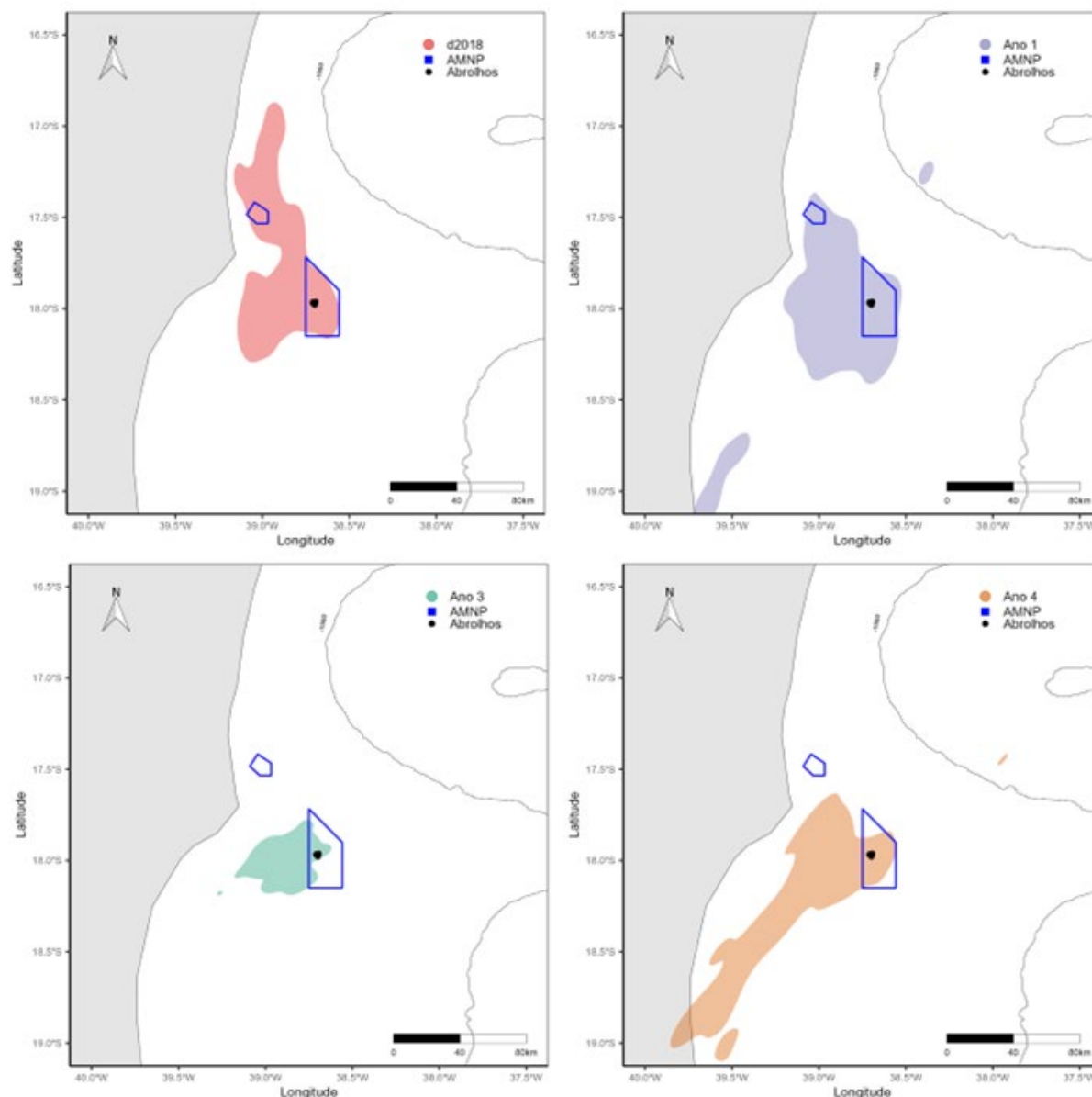
As métricas das viagens vão ao encontro do que foi demonstrado nas figuras, visto que há uma variação interanual nas estatísticas, mas essas estão dentro de um contexto de variação natural na distribuição das presas ao longo dos anos, como é usualmente observado para aves marinhas. O maior tamanho amostral obtido ao longo dos anos do PMBA/Fest aumenta a probabilidade de registrar viagens mais longas, o que explica um aumento nos valores médios no período pós-rompimento.

Figura 5: Áreas de forrageio de *Sula leucogaster* em atividade reprodutiva no arquipélago dos Abrolhos estimadas a partir de dados de rastreamento remoto com sensores miniaturizados. Os dados se referem a viagens de forrageio rastreadas no período pré rompimento da barragem de Fundão. Áreas de kernel contêm 75% dos dados. AMNP = polígono do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos; Abrolhos = arquipélago dos Abrolhos.



Os indivíduos de *S. leucogaster* que se reproduzem em Abrolhos foram rastreados no período prévio ao rompimento da barragem de Fundão, no âmbito de projetos de pesquisa desenvolvidos pela equipe do Tema Aves Marinhas do PMBA/Fest. Durante esse período, os dados mostram que a espécie utilizava o entorno do arquipélago para alimentação, como é comum para aves marinhas, mas sempre com uma tendência de direcionar o voo para o continente. Isso é algo totalmente esperado para esta espécie, pois parte da sua dieta é composta por descartes de pescarias, a exemplo da pesca de arrasto que possui o camarão como grupo-alvo e é desenvolvida em menores profundidades na região. A imagem acima é produzida a partir de uma segmentação da trajetória rastreada, através da qual são isolados apenas os pontos no tempo e no espaço nos quais são estimados ocorrer atividade de forrageio.

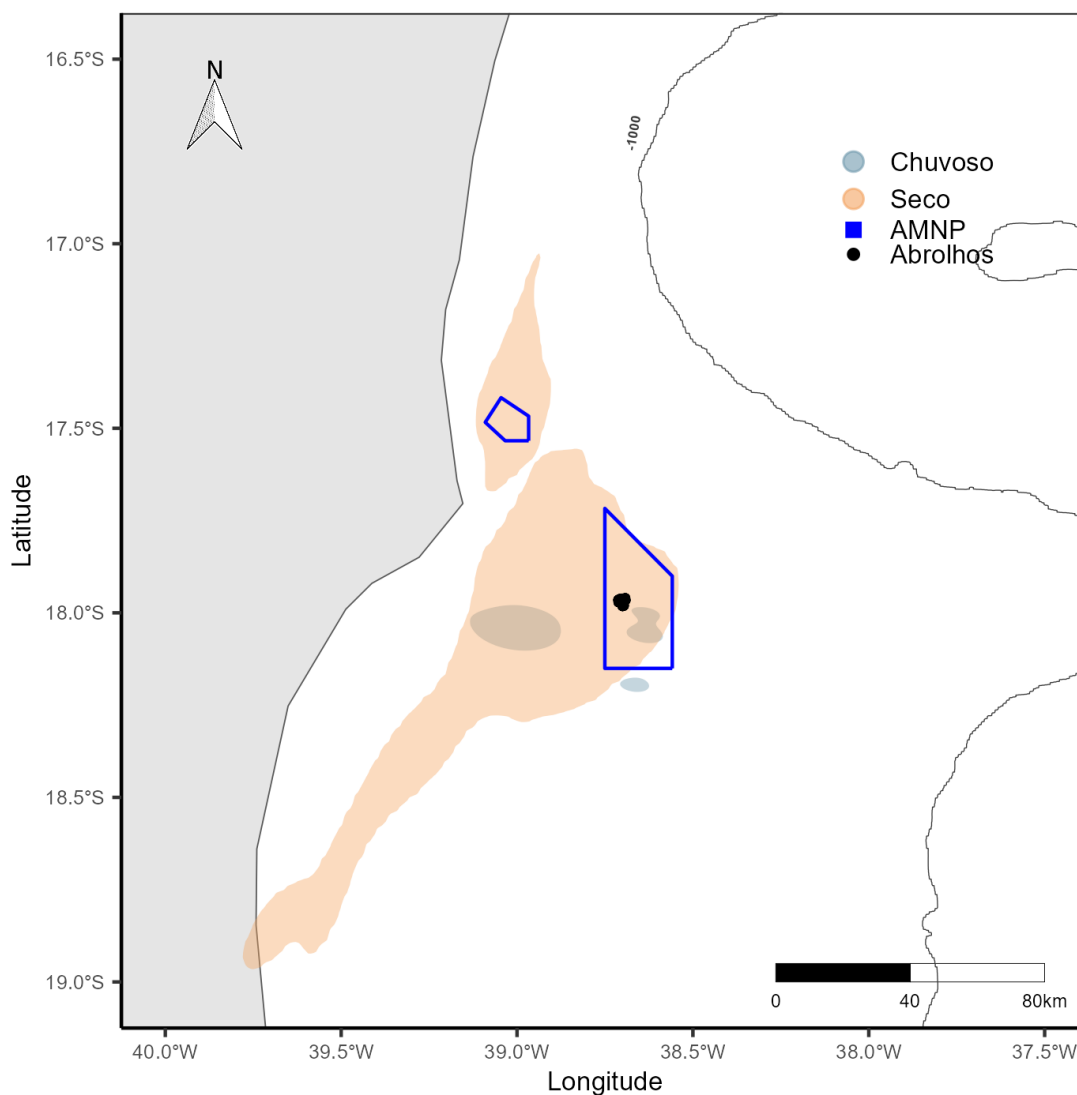
Figura 6: Áreas de forrageio de *Sula leucogaster* em atividade reprodutiva no arquipélago dos Abrolhos estimadas a partir de dados de rastreamento remoto com sensores miniaturizados. Os dados se referem a viagens de forrageio rastreadas no período pós rompimento da barragem de Fundão. No canto superior esquerdo está representada a área de forrageio identificada no período seco (junho) de 2018, pré-PMBA/Fest. Ano 1 está representado no canto superior direito; Ano 3 está representado no canto inferior esquerdo; Ano 4 está representado no canto inferior direito. Amostras do Ano 2 foram prejudicadas pela pandemia de Covid-19. Amostras do Ano 5 não identificaram casais no estágio reprodutivo necessário para a fixação de rastreadores e, portanto, não foi possível rastrear novos indivíduos no período chuvoso do Ano 5. Áreas de kernel contêm 75% dos dados. AMNP = polígono do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos; Abrolhos = arquipélago dos Abrolhos.



Em todos os anos amostrados após o rompimento da barragem, *S. leucogaster* permaneceu utilizando o entorno do arquipélago durante viagens de alimento em período reprodutivo, sempre com a mesma tendência de rumar em direção ao continente. Existem variações interanuais na utilização do espaço, mas não são substanciais o suficiente para apontar alterações nas áreas de alimentação, pois o padrão de utilizar regiões costeiras permaneceu. É possível inferir que o rejeito não indisponibilizou as presas de *S. leucogaster* na plataforma continental (o que é ainda mais reforçado pela área de forrageio do

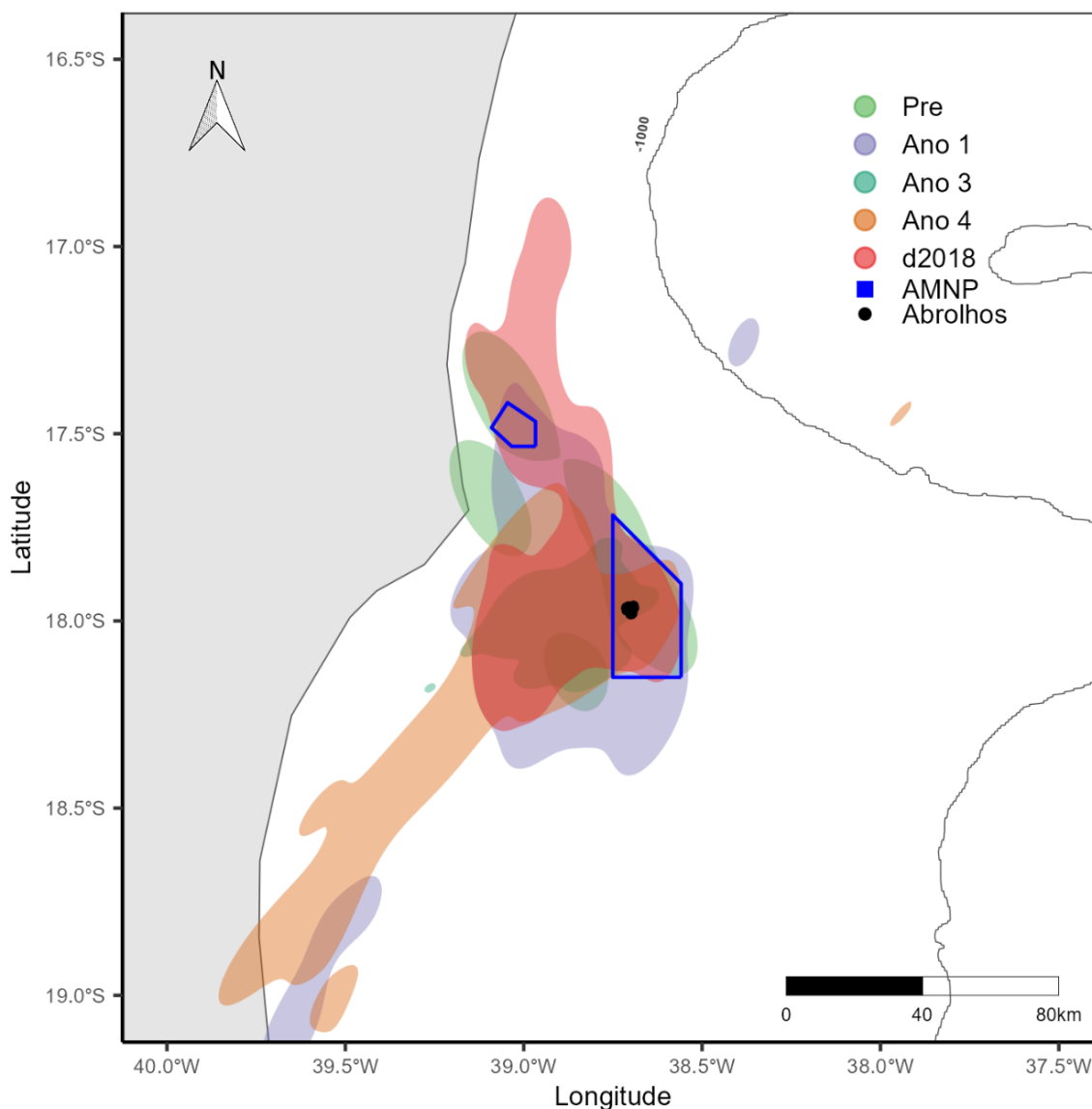
ano 4), embora tais presas possam estar expostas aos contaminantes presentes na coluna d'água e, por consequência, as mesmas estejam expondo as aves à contaminação.

Figura 7: Áreas de forrageio de *Sula leucogaster* em atividade reprodutiva no arquipélago dos Abrolhos estimadas a partir de dados de rastreamento remoto com sensores miniaturizados. Os dados se referem a viagens de forrageio rastreadas no período pós rompimento da barragem de Fundão, nos períodos secos e chuvosos desde 2018 a 2022. AMNP = polígono do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos; Abrolhos = arquipélago dos Abrolhos.



Comparação entre os períodos secos e chuvosos durante o período de execução do PMBA/Fest indicam uma permanência na região para alimentação durante ambos os períodos. A discrepância no tamanho das áreas de forrageio entre os períodos é explicada pela sazonalidade da reprodução de *S. leucogaster* em Abrolhos, a qual se dá no período seco, quando é possível obter a maior quantidade de dados.

Figura 8: Áreas de forrageio de *Sula leucogaster* em atividade reprodutiva no arquipélago dos Abrolhos estimadas a partir de dados de rastreamento remoto com sensores miniaturizados. Os dados se referem a todas as viagens de forrageio rastreadas nos períodos pré e pós rompimento da barragem de Fundão. Amostragens do Ano 5 não identificaram casais no estágio reprodutivo necessário para a fixação de rastreadores e, portanto, não foi possível rastrear novos indivíduos no período chuvoso do Ano 5. AMNP = polígono do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos; Abrolhos = arquipélago dos Abrolhos.



Embora com variações interanuais, a figura composta demonstra uma forte sobreposição entre as áreas de alimentação dos períodos pré e pós rompimento, indicando que *S. leucogaster* permanece utilizando, no período pós-rompimento, a plataforma continental ao sul de Abrolhos, bem como o talude e as áreas oceânicas ao norte do arquipélago. As variações interanuais estão, possivelmente, associadas a variações naturais na distribuição das presas, as quais são, em sua maioria, pequenos peixes epipelágicos. Considerando que, especialmente, a região ao sul do arquipélago foi impactada pelo rompimento da barragem, e que há um processo de recontaminação crônica da região, é possível inferir que *S. leucogaster* está permanentemente exposta aos contaminantes presentes na coluna d'água durante viagens de alimentação em período reprodutivo, ilustrando o conceito de armadilha ecológica.

Tabela 2: Estatísticas básicas das viagens de forrageio de *Sula leucogaster* em atividade reprodutiva no arquipélago dos Abrolhos estimadas a partir de dados de rastreamento remoto com sensores miniaturizados. Os dados se referem a valores de média e desvio padrão de todas as viagens de forrageio rastreadas nos períodos pré e pós rompimento da barragem de Fundão. Amostragens do Ano 5 não identificaram casais no estágio reprodutivo necessário para a fixação de rastreadores e, portanto, não foi possível rastrear novos indivíduos no período chuvoso do Ano 5. Dmax = distância máxima atingida a partir da colônia, expressa em km; D = distância total percorrida, expressa em km; T = duração total das viagens de forrageio, expressas em horas; Sin = sinuosidade das trajetórias, a qual é calculada por $D/2D_{max}$.

	2013 (3)	2018 (36)	2019 (29)	2021 (29)	2022 (40)	2023 (0)
Dmax (km)	35,1 ± 27,7	42,9 ± 27,7	46,2 ± 29,6	34,2 ± 16,7	47 ± 30,8	NA
D (km)	84,3 ± 50	125,2 ± 83,4	120,3 ± 73,3	87,9 ± 46,5	125 ± 82,8	NA
T (h)	3,8 ± 0,5	5,2 ± 3,1	4,3 ± 1,9	3,3 ± 1,6	7 ± 4,71	NA
Sin	1,4 ± 0,47	1,47 ± 0,33	1,34 ± 0,26	1,29 ± 0,21	1 ± 0,26	NA

As métricas das viagens vão ao encontro do que foi demonstrado nas figuras, visto que há uma variação interanual nas estatísticas, mas essas estão dentro de um contexto de variação natural na distribuição das presas ao longo dos anos, como é usualmente observado para aves marinhas.

Tabela 3: Lista de espécies de aves aquáticas registradas de outubro de 2018 a março de 2023 na foz do Rio Doce e costa adjacente, incluindo informações sobre o estado de conservação global (Glo) e nacional (Nac) e o status de ocorrência (S). As categorias de ameaça são Menos Preocupante (LC), Vulnerável (VU) e, Em perigo (EN), além de Não Avaliada (NA) e Quase Ameaçada (NT). O status de ocorrência no Brasil é classificado como 'Residente' (R, espécie que se reproduz em território nacional) e Visitante do Norte (VN, espécie migratória que se reproduz no Hemisfério Norte).

Ordem	Família	Espécie	Estado de conservação		
			Glo ¹	Nac ²	S ³
Anseriformes	Anatidae	<i>Anas bahamensis</i>	LC	LC	R
Anseriformes	Anatidae	<i>Amazonetta brasiliensis</i>	LC	LC	R
Ciconiiformes	Ciconiidae	<i>Mycteria americana</i>	LC	LC	R
Suliformes	Fregatidae	<i>Fregata magnificens</i>	LC	LC	R
Suliformes	Sulidae	<i>Sula leucogaster</i>	LC	LC	R
Suliformes	Phalacrocoracidae	<i>Nannopterum brasilianum</i>	LC	LC	R
Pelecaniformes	Ardeidae	<i>Ardea cocoi</i>	LC	LC	R
Pelecaniformes	Ardeidae	<i>Ardea alba</i>	LC	LC	R
Pelecaniformes	Ardeidae	<i>Butorides striata</i>	LC	LC	R
Pelecaniformes	Ardeidae	<i>Nycticorax nycticorax</i>	LC	LC	R
Pelecaniformes	Ardeidae	<i>Syrigma sibilatrix</i>	LC	LC	R
Pelecaniformes	Ardeidae	<i>Egretta thula</i>	LC	LC	R
Pelecaniformes	Ardeidae	<i>Egretta caerulea</i>	LC	LC	R
Pelecaniformes	Threskiornithidae	<i>Platalea ajaja</i>	LC	LC	R
Gruiformes	Rallidae	<i>Gallinula galeata</i>	LC	LC	R
Charadriiformes	Charadriidae	<i>Pluvialis squatarola</i>	LC	LC	VN
Charadriiformes	Charadriidae	<i>Charadrius semipalmatus</i>	LC	LC	VN
Charadriiformes	Charadriidae	<i>Charadrius collaris</i>	LC	LC	R
Charadriiformes	Haematopodidae	<i>Haematopus palliatus</i>	LC	NT	R
Charadriiformes	Recurvirostridae	<i>Himantopus melanurus</i>	LC	LC	R
Charadriiformes	Scolopacidae	<i>Numenius hudsonicus</i>	LC	VU	VN
Charadriiformes	Scolopacidae	<i>Actitis macularius</i>	LC	LC	VN
Charadriiformes	Scolopacidae	<i>Arenaria interpres</i>	LC	NT	VN
Charadriiformes	Scolopacidae	<i>Calidris alba</i>	LC	LC	VN
Charadriiformes	Scolopacidae	<i>Calidris fuscicollis</i>	LC	LC	VN
Charadriiformes	Scolopacidae	<i>Calidris pusilla</i>	NT	EN	VN
Charadriiformes	Scolopacidae	<i>Tringa flavipes</i>	LC	LC	VN
Charadriiformes	Scolopacidae	<i>Tringa melanoleuca</i>	LC	LC	VN
Charadriiformes	Jacaniidae	<i>Jacana jacana</i>	LC	LC	R
Charadriiformes	Stercorariidae	<i>Stercorarius parasiticus</i>	LC	LC	VN
Charadriiformes	Stercorariidae	<i>Stercorarius pomarinus</i>	LC	LC	VN
Charadriiformes	Laridae	<i>Chroicocephalus cirrocephalus</i>	LC	LC	R
Charadriiformes	Laridae	<i>Larus dominicanus</i>	LC	LC	R
Charadriiformes	Laridae	<i>Sternula supercilialis</i>	LC	LC	R
Charadriiformes	Laridae	<i>Phaetusa simplex</i>	LC	LC	R
Charadriiformes	Laridae	<i>Sterna hirundo</i>	LC	LC	VN

Ordem	Família	Espécie	Estado de conservação		
			Glo ¹	Nac ²	S ³
Charadriiformes	Laridae	<i>Sterna hirundinacea</i>	LC	VU	R
Charadriiformes	Laridae	<i>Thalasseus acuflavidus</i>	LC	VU	R
Charadriiformes	Laridae	<i>Thalasseus maximus</i>	LC	EN	R
Charadriiformes	Laridae	<i>Sterna dougallii</i>	LC	VU	VN
Charadriiformes	Laridae	<i>Sterna paradisaea</i>	LC	LC	VN
Charadriiformes	Laridae	<i>Rynchops niger</i>	LC	LC	R
Coraciiformes	Alcedinidae	<i>Megaceryle torquata</i>	LC	LC	R

1 IUCN (2020), para estado de conservação global.

2 Portaria MMA 148/2022, para estado de conservação nacional.

3 Pacheco et al. (2021), para a sequência taxonômica, nomenclatura e status.

Ao longo dos quatro anos de amostragem foram registradas 43 espécies de aves aquáticas, pertencentes a 16 famílias e 7 ordens, utilizando a foz do Rio Doce e a costa adjacente. Deste total, 28 são residentes e 15 são espécies migratórias neárticas, as quais se reproduzem no Hemisfério Norte e invernam no Hemisfério Sul (del Hoyo et al. 1996, Sick 2001). Entre as espécies registradas, sete estão classificadas como ameaçadas em nível nacional (Portaria MMA 148/2022), sendo duas classificadas como ‘Em Perigo’ (*Thalasseus maximus* e *Calidris pusilla*), três como ‘Vulnerável’ (*Numenius hudsonicus*, *Thalasseus acuflavidus*, *Sterna hirundinacea* e *Sterna dougalli*) e outras duas classificadas como ‘Quase Ameaçada’ (*Arenaria interpres* e *Haemantopus palliatus*). *C. pusilla* também está classificado como ameaçado globalmente na categoria “Quase ameaçado”. As 43 espécies de aves aquáticas registradas ao longo das amostragens, incluindo espécies migratórias que utilizam a área para alimentação e descanso, demonstram a importância da região da Foz do Rio Doce e costa adjacente como área de alimentação e descanso para o grupo. Essa importância é reforçada pela presença de espécies ameaçadas em nível nacional ou mesmo em nível global, como no caso da espécie *Calidris pusilla*.

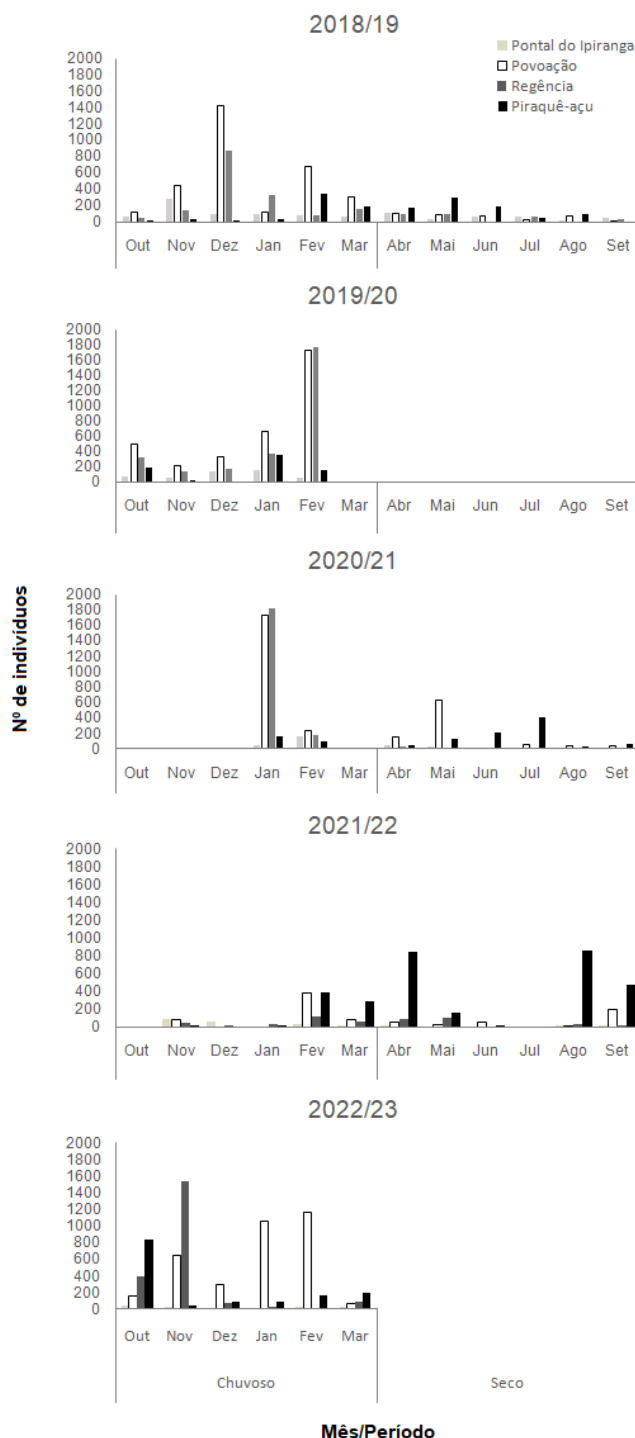
Tabela 4: Composição quali-quantitativa da assembleia de aves aquáticas da foz do Rio Doce e costa adjacente, incluindo informações sobre número absoluto de registros por espécie e frequência de ocorrência relativa no período chuvoso de 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022 e 2022/2023, e período seco de 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022 e total (2018 a 2023).

Espécie	Número de registros por espécie									Frequência de ocorrência								N TOTAL	FO TOTAL	
	Chuvoso					Seco				Chuvoso					Seco					
	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23	2019	2020	2021	2022	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23	2019	2020	2021			2022
<i>Anas bahamensis</i>	25	2	0	0	0	0	0	10	0	33	40	0	0	0	0	0	50	0	37	17
<i>Amazonetta brasiliensis</i>	70	2	0	0	8	2	0	23	8	17	0	0	0	50	17	0	0	20	113	15
<i>Mycteria americana</i>	1	0	0	0	0	1	0	0	0	17	0	0	0	0	17	0	0	0	2	5
<i>Fregata magnificens</i>	28	15	6	3	16	8	0	11	21	83	80	100	20	67	67	0	83	80	108	71
<i>Sula leucogaster</i>	65	14	11	0	18	2	0	1	0	83	60	50	0	67	17	0	17	0	111	37
<i>Nannopterum brasilianus</i>	22	29	51	3	58	16	0	33	21	83	100	100	60	50	83	0	100	100	233	83
<i>Ardea cocoi</i>	8	5	2	0	5	10	0	4	4	50	80	100	0	67	67	0	50	40	38	54
<i>Ardea alba</i>	57	11	18	5	3	18	0	35	33	100	80	100	40	33	100	0	100	100	180	80
<i>Butorides striatus</i>	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	20	0	20	0	0	0	0	0	3	5
<i>Nycticorax nycticorax</i>	0	0	0	1	1	0	0	2	0	0	0	0	20	17	0	0	33	0	4	10
<i>Syrigma sibilatrix</i>	6	0	0	0	0	0	0	0	0	33	0	0	0	0	0	0	0	0	6	5
<i>Egretta thula</i>	53	21	8	27	16	54	0	72	61	100	100	100	80	67	100	0	100	100	312	93
<i>Egretta caerulea</i>	139	2	9	2	6	19	0	39	15	100	40	50	40	67	67	0	100	80	231	71
<i>Platalea ajaja</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	1	2
<i>Gallinula galeata</i>	0	0	0	0	2	0	0	3	1	0	0	0	0	17	0	0	17	20	6	7
<i>Pluvialis squatarola</i>	213	121	82	13	48	9	0	16	7	83	100	100	60	100	33	0	50	60	509	71
<i>Charadrius semipalmatus</i>	150	311	17	85	177	94	0	11	4	100	100	100	100	100	33	0	50	40	849	76
<i>Charadrius collaris</i>	292	317	111	70	33	48	0	27	33	100	80	100	100	100	50	0	50	80	931	80
<i>Haematopus palliatus</i>	2	2	0	0	0	3	0	0	0	17	20	0	0	0	33	0	0	0	7	10
<i>Himantopus melanurus</i>	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	7	2
<i>Numenius hudsonicus</i>	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	20	33	0	0	0	0	3	7
<i>Actitis macularius</i>	12	9	5	85	44	8	0	6	9	100	80	100	100	100	33	0	17	40	178	68
<i>Arenaria interpres</i>	2	9	32	0	4	1	0	2	0	17	60	50	0	33	17	0	17	0	50	22
<i>Calidris alba</i>	500	275	94	164	0	86	0	78	46	100	100	100	100	0	67	0	67	20	1243	66

Espécie	Número de registros por espécie									Frequência de ocorrência								N TOTAL	FO TOTAL	
	Chuvoso					Seco				Chuvoso					Seco					
	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23	2019	2020	2021	2022	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23	2019	2020	2021			2022
<i>Calidris fuscicollis</i>	0	3	0	81	252	0	0	0	160	0	20	0	60	100	0	0	0	100	496	37
<i>Calidris pusilla</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
<i>Tringa flavipes</i>	3	2	0	1	0	0	0	0	0	33	20	0	20	0	0	0	0	0	6	10
<i>Tringa melanoleuca</i>	3	0	0	0	1	0	0	0	0	33	0	0	0	17	0	0	0	0	4	7
<i>Jacana jacana</i>	0	2	0	0	0	0	0	5	2	0	20	0	0	0	0	0	50	40	9	15
<i>Stercorarius parasiticus</i>	6	0	0	0	0	0	0	1	0	33	0	0	0	0	0	0	17	0	7	7
<i>Stercorarius pomarinus</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2
<i>Chroicocephalus cirrocephalus</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	1	2
<i>Larus dominicanus</i>	1	0	0	0	0	4	0	0	8	17	0	0	0	0	33	0	0	40	13	12
<i>Sternula supercilialis</i>	6	0	0	0	0	0	0	0	0	33	0	0	0	0	0	0	0	0	6	5
<i>Phaetusa simplex</i>	505	444	146	229	100	34	0	38	79	100	100	100	80	100	83	0	83	100	1575	93
<i>Sterna hirundo</i>	1743	3773	2706	139	1607	1	0	0	0	67	100	50	40	83	17	0	0	0	9969	44
<i>Sterna hirundinacea</i>	42	62	0	15	20	156	0	40	0	17	20	0	40	17	17	0	50	0	335	22
<i>Thalasseus acuflavidus</i>	2357	1877	936	70	1084	1181	0	1212	1096	100	100	100	40	100	100	0	100	100	9813	93
<i>Thalasseus maximus</i>	9	12	2	1	19	55	0	363	103	67	80	50	20	50	83	0	83	60	564	63
<i>Sterna dougallii</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
<i>Sterna paradisaea</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	1	2
<i>Rynchops niger</i>	22	47	150	80	0	10	0	9	0	50	80	100	60	0	50	0	50	0	318	44
<i>Megaceryle torquata</i>	4	0	0	5	5	4	0	3	6	33	0	0	100	67	50	0	33	100	27	51

De outubro de 2018 a setembro de 2019, foram registradas 35 espécies; de outubro de 2019 a setembro de 2020, foram registradas 27 espécies; de outubro de 2020 a setembro de 2021, foram registradas 29 espécies; de outubro de 2021 a setembro de 2022, foram registradas 27 espécies; e de outubro de 2022 a março de 2023, foram registradas 24 espécies. Seis espécies foram registradas apenas no Ano 1 (*Mycteria americana*, *Syrigma sibilatrix*, *Calidris pusilla*, *Stercorarius pomarinus*, *Sternula superciliaris* e *Sterna dougalli*), uma espécie foi registrada apenas no Ano 2 (*Sterna paradisaea*), e duas espécies foram registradas apenas no Ano 3 (*Platalea ajaja* e *Himantopus melanurus*). O número total de aves aquáticas registradas foi de 28.311 indivíduos, destes, 22.718 (80%) foram registrados durante o período chuvoso, e 5.593 (20%) foram registrados no período seco. As duas espécies mais abundantes, *Sterna hirundo* (n=9.969) e *Thalasseus acutiflavus* (n=9.813), corresponderam a 69% do número total de indivíduos registrados. As 6 espécies mais abundantes (n>600) corresponderam a 86% dos registros, que além das duas espécies supracitadas, inclui *Phaetusa simplex* (n=1.575), *Calidris alba* (n=1.243), *Charadrius collaris* (n=931), e *Charadrius semipalmatus* (n=849). Dessa forma, as famílias mais abundantes foram Laridae, Charadriidae e Scolopacidae, respectivamente. No Ano 1 foi registrado o maior número de espécies (35 spp.), incluindo sete espécies que não foram registradas nos anos seguintes. A riqueza de espécies do Ano 2 (27 spp.), Ano 3 (29 spp.), Ano 4 (27 spp.), e Ano 5 (24 spp.), foi semelhante, embora o Ano 5 conte apenas com os registros do período chuvoso. O número de aves aquáticas (28311 indivíduos) junto ao número de espécies registradas ao longo dos quatro anos de amostragem destaca a importância da região da Foz do Rio Doce e costa adjacente. Durante o período chuvoso, foi registrado o maior número de aves aquáticas (80%), quando comparado ao período seco (20%), o que aparentemente está associado com a maior presença de espécies migratórias como *Sterna hirundo*, uma das espécies mais abundantes ao longo dos quatro anos de amostragem. Esse é um fator de preocupação em relação à contaminação das aves, pois no período chuvoso ocorre recontaminação da região costeira a partir dos rejeitos ainda presentes no leito do Rio Doce. A presença massiva de aves costeiras na foz do rio Doce indica que há disponibilidade de alimento para essas aves, o que pode funcionar como uma armadilha ecológica, considerando que há grande chance de as presas estarem contaminadas. Além disso, um processo de recontaminação durante o período chuvoso acaba por expor espécies migratórias oriundas do hemisfério norte, para onde as mesmas podem transportar os referidos contaminantes, ampliando espacialmente o impacto dos rejeitos.

Figura 9: Variação mensal no número total de indivíduos de aves aquáticas nos quatro setores de costa de áreas adjacentes a foz do Rio Doce durante o período chuvoso de 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022 e 2022/2023, e período seco de 2019, 2020, 2021 e 2022. As maiores abundâncias foram observadas durante o período chuvoso em Povoação e Regência, com destaque para a foz do Rio Doce onde foram registradas as maiores abundâncias. Em relação à variação temporal, em novembro (Ano 5), dezembro (Ano 1), janeiro (Ano 3 e Ano 5) e fevereiro (Ano 2 e Ano 5) foram registrados os maiores valores de abundância.



As maiores abundâncias foram observadas em Regência e em Povoação, trechos que ficam imediatamente ao sul e ao norte da foz do Rio Doce, respectivamente. A foz do Rio Doce é uma área

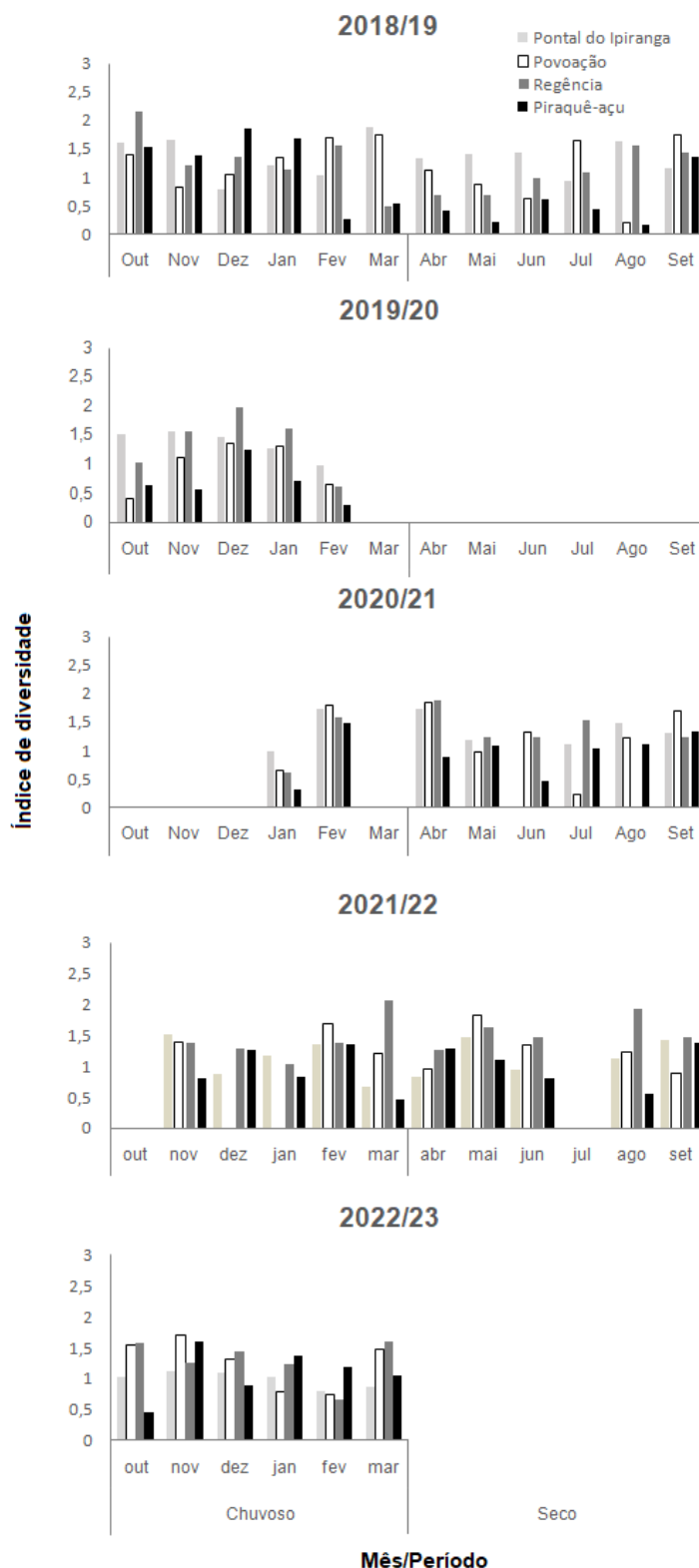
ampla e heterogênea, disponibilizando uma variedade de ambientes para o uso das aves. A presença de bancos de areia, praias de água doce e água salgada, vegetação aquática, entre outros, permite que mais indivíduos de diferentes espécies utilizem essa área. Em novembro (Ano 5), dezembro (Ano 1), janeiro (Ano 3 e Ano 5) e fevereiro (Ano 2 e Ano 5), meses do período chuvoso, foram registrados os maiores valores de abundância, o que, aparentemente, está associado com a maior presença de espécies migratórias como *Sterna hirundo*, umas das espécies mais abundantes ao longo dos quatro anos de amostragem. Esse é um fator de preocupação em relação à contaminação das aves, pois no período chuvoso ocorre recontaminação da região costeira a partir dos rejeitos ainda presentes no leito do Rio Doce. A presença massiva de aves costeiras na foz do rio Doce indica que há disponibilidade de alimento para essas aves, o que pode funcionar como uma armadilha ecológica, considerando que há grande chance de as presas estarem contaminadas. Além disso, um processo de recontaminação durante o período chuvoso acaba por expor espécies migratórias oriundas do hemisfério norte, para onde as mesmas podem transportar os referidos contaminantes, ampliando espacialmente o impacto dos rejeitos.

Figura 10: Variação no número de espécies registradas por setor de praia e mês de amostragem durante o período chuvoso de 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022 e 2022/2023, e período seco de 2019, 2020, 2021 e 2022.



No Ano 1, nos meses de fevereiro e março foram registrados os maiores números de espécies (13 espécies), ambos em Povoação; no Ano 2 o maior número de espécies foi registrado em dezembro no setor Regência (12 espécies); no Ano 3 em abril no setor Povoação (17 espécies); no Ano 4, nos meses de fevereiro, março e junho foram registrados os maiores números de espécies (10 espécies) nos setores de Povoação, Regência e Povoação, respectivamente; e no Ano 5, o maior número de espécies foi registrado em novembro no setor Regência (13 espécies). No geral, durante as amostragens realizadas no período chuvoso é que foram registradas mais espécies, apesar do maior número (17 espécies) ter sido registrado em Povoação no mês de abril (Ano 3) durante o período seco. Assim como para a abundância, as maiores riquezas de espécies foram observadas em Regência e em Povoação, trechos que ficam imediatamente ao sul e ao norte da foz do Rio Doce, respectivamente. A foz do Rio Doce é uma área ampla e heterogênea, disponibilizando uma variedade de ambientes para o uso das aves. A presença de bancos de areia, praias de água doce e água salgada, vegetação aquática, entre outros, permite que mais indivíduos de diferentes espécies utilizem essa área. No geral, durante as amostragens realizadas no período chuvoso é que foram registradas mais espécies, o que aparentemente está associado com a maior presença de espécies migratórias, como, por exemplo, *Sterna hirundo*, *Pluvialis squatarola* e *Calidris semipalmatus*, apesar do maior número (17 espécies) ter sido registrado em Povoação no mês de abril (Ano 3) durante o período seco. Considerando que presas de aves costeiras piscívoras e bentívoras estejam contaminadas pelos rejeitos, em especial durante o período chuvoso, é possível inferir que as aves migratórias estejam funcionando como biovetores de contaminantes para suas áreas reprodutivas, no hemisfério norte.

Figura 11: Índice de diversidade de Shannon por setor de praia e mês de amostragem durante o período chuvoso de 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022 e 2022/2023, e período seco de 2019, 2020, 2021 e 2022. Os maiores valores do Índice de Diversidade de Shannon foram registrados durante o período chuvoso no trecho de Regência em outubro de 2018 (2,1), em dezembro de 2019 (2,0) e em março de 2022 (2,1). No entanto, valores elevados também foram registrados durante o período seco em Regência (1,9) e Povoação (1,8) no mês de abril do Ano 3 e no mês de agosto em Regência (1,9) e em maio em Povoação (1,8) no Ano 4.



Os maiores valores do Índice de Diversidade de Shannon foram registrados durante o período chuvoso no trecho de Regência. No entanto, valores elevados também foram registrados durante o período seco em Regência e Povoação, o que reforça a importância da região da foz do Rio Doce. A foz do Rio Doce é uma área ampla e heterogênea, disponibilizando uma variedade de ambientes para o uso das aves. A presença de bancos de areia, praias de água doce e água salgada, vegetação aquática, entre outros, permite que mais indivíduos de diferentes espécies utilizem essa área elevando a diversidade local.

Tabela 5: Espécies registradas entre outubro de 2018 e março de 2023 na foz do Rio Doce e águas adjacentes, estado de conservação e origem. Abreviação: LC, Pouco Preocupante; NT, Quase Ameaçada; VU, Vulnerável; EN, Em Perigo; NA, Não Aplicável; CR, Criticamente em Perigo; R, Residente; MN, Migrante do Hemisfério Norte; MS, Migrante do Hemisfério Sul. As espécies estão listadas em ordem alfabética. Do total de 30 espécies registradas ao longo de todo período das amostragens,

10 são consideradas residentes no Brasil, 13 espécies são migrantes do Hemisfério Sul, enquanto 5 são migrantes do Hemisfério Norte. Do total de espécies registradas, 5 são classificadas como ameaçadas em nível global, sendo 4 destas também ameaçadas em nível nacional, além de outras 8 espécies ameaçadas em nível nacional apenas. As famílias mais representativas foram Procellariidae com 10 espécies, seguida de Laridae com seis espécies.

Ordem	Família	Espécie	Nome comum	Global ¹	Nacional ²	Origem ³
Charadriiformes	Stercorariidae	<i>Stercorarius maccormicki</i>	Mandrião-do-sul	LC	LC	MS
		<i>Stercorarius pomarinus</i>	Mandrião-pomarino	LC	LC	MN
Charadriiformes	Stercorariidae	<i>Stercorarius parasiticus</i>	Moleiro-parasítico	LC	LC	MN
Charadriiformes	Laridae	<i>Anous stolidus</i>	Trinta-réis-escuro	LC	LC	R
Charadriiformes	Laridae	<i>Anous minutus</i>	Trinta-réis-preto	LC	LC	R
Charadriiformes	Laridae	<i>Sterna hirundo</i>	Trinta-réis-boreal	LC	LC	MN
Charadriiformes	Laridae	<i>Sterna hirundinacea</i>	Trinta-réis-de-bico-vermelho	LC	VU	R
		<i>Thalasseus acuflavidus</i>	Trinta-réis-de-bando	LC	VU	R
Charadriiformes	Laridae	<i>Thalasseus maximus</i>	Trinta-réis-real	LC	EN	R
Phaethontiformes	Phaethontidae	<i>Phaethon aethereus</i>	Rabo-de-palha-de-bico-vermelho	LC	EN	R
		<i>Thalassarche chlororhynchos</i>	Albatroz-de-nariz-amarelo	EN	EN	MS
Procellariiformes	Diomedidae	<i>Thalassarche melanophrys</i>	Albatroz-de-sobancelha-negra	LC	NT	MS
Procellariiformes	Oceanitidae	<i>Fregetta grallaria</i>	Painho-de-barriga-branca	LC	LC	MS
Procellariiformes	Oceanitidae	<i>Fregetta tropica</i>	Painho-de-barriga-preta	LC	LC	MS
Procellariiformes	Oceanitidae	<i>Oceanites oceanicus</i>	Alma-de-mestre	LC	LC	MS
		<i>Hydrobates leucorhous</i>	Painho-de-cauda-furcada	VU	LC	MN
Procellariiformes	Procellariidae	<i>Pterodroma mollis</i>	Grazina-mole	LC	NA	MS
Procellariiformes	Procellariidae	<i>Pterodroma incerta</i>	Grazina-de-barriga-branca	EN	EN	MS
		<i>Pachyptila desolata</i>	Faigão-rola	LC	LC	MS
Procellariiformes	Procellariidae	<i>Procellaria aequinoctialis</i>	Pardela-preta	VU	VU	MS

Ordem	Família	Espécie	Nome comum	Global ¹	Nacional ²	Origem ³
<i>Procellaria</i>						
Procellariiformes	Procellariidae	<i>conspicillata</i>	Pardela-de-óculos	VU	VU	MS
<i>Calonectris</i>						
Procellariiformes	Procellariidae	<i>borealis</i>	Bobo-grande	LC	LC	MN
<i>Calonectris</i>						
Procellariiformes	Procellariidae	<i>edwardsii</i>	Bobo-de-cabo-verde	NT	NT	MN
Procellariiformes	Procellariidae	<i>Ardenna grisea</i>	Bobo-escuro	NT	LC	MS
<i>Ardenna gravis</i>						
Procellariiformes	Procellariidae	<i>Ardenna gravis</i>	Bobo-grande-de-sobre-branco	LC	LC	MS
Procellariiformes	Procellariidae	<i>Puffinus puffinus</i>	Bobo-pequeno	LC	LC	MN
<i>Fregata</i>						
Suliformes	Fregatidae	<i>magnificens</i>	Tesourão	LC	LC	R
Suliformes	Sulidae	<i>Sula dactylatra</i>	Atobá-grande	LC	LC	R
Suliformes	Sulidae	<i>Sula leucogaster</i>	Atobá-pardo	LC	LC	R
<i>Sula sula</i>						
Suliformes	Sulidae	<i>Sula sula</i>	Atobá-de-pé-vermelho	LC	EN	R

1 IUCN (2020), para estado de conservação global.

2 Portaria MMA 148/2022, para estado de conservação nacional.

3 Pacheco et al. (2021), para a sequência taxonômica, nomenclatura e status.

As 32 espécies de aves registradas ao longo dos quatro anos de amostragem, incluindo espécies migratórias que utilizam a área para alimentação, demonstram a importância da região da foz do Rio Doce e águas adjacentes. Importância reforçada pela presença de espécies ameaçadas (13 spp.) em nível nacional ou mesmo em nível global, como no caso das espécies *Thalassarche chlororhynchos*, *Hydrobates leucorhous*, *Pterodroma incerta*, *Procellaria aequinoctialis* e *Calonectris borealis*. Assim como para as aves costeiras, esse é um fator de preocupação em relação à contaminação das aves, pois no período chuvoso ocorre recontaminação da zona pelágica a partir dos rejeitos ainda presentes no leito do Rio Doce, enquanto os rejeitos depositados na plataforma continental sofrem remobilização em eventos de maré meteorológica. A presença de dezenas de espécies de aves marinhas na foz do Rio Doce e adjacências indica que há disponibilidade de alimento para essas aves, o que pode funcionar como uma armadilha ecológica, considerando que há grande chance de as presas estarem contaminadas. Além disso, os processos de contaminação crônica acabam por expor espécies migratórias, de modo que possuem o potencial de transportar os referidos contaminantes, ampliando espacialmente o impacto dos rejeitos. Da mesma forma, espécies que se reproduzem em ilhas marinhas do Brasil, a exemplo do arquipélago dos Abrolhos, o qual abriga colônias de *S. leucogaster*, *S. dactylatra*, *P. aethereus* e *F. magnificens*, todas observadas na área monitorada, também podem servir como biovetores de contaminantes para as áreas reprodutivas, ampliando o impacto dos rejeitos para demais organismos da comunidade insular terrestre, além de organismos marinhos associados aos recifes de corais e bancos de rodólitos no seu entorno imediato.

Tabela 6: Frequência de ocorrência absoluta e relativa de táxons registrados entre outubro de 2018 e março de 2023 na Foz do Rio Doce e águas adjacentes, considerando os registros em sua totalidade (aves identificadas e não identificadas em nível específico; aves registradas durante os censos contínuos e instantâneos; aves estacionárias; e registros fora do esforço amostral).

Abreviação: FO, Frequência de Ocorrência.

Ordem	Táxon	ANO 1		ANO 2		ANO 3		ANO 4		ANO 5	
		FO	FO (%)	FO	FO (%)	FO	FO (%)	FO	FO (%)	FO	FO (%)
Charadriiformes	<i>Stercorarius maccormicki</i>	0	0,000	0	0,000	0	0,000	10	0,024	0	0,000
Charadriiformes	<i>Stercorarius pomarinus</i>	10	0,008	5	0,021	0	0,000	7	0,017	1	0,008
Charadriiformes	<i>Stercorarius parasiticus</i>	0	0,000	0	0,000	1	0,002	0	0,000	0	0,000
Charadriiformes	<i>Stercorarius</i> sp.	52	0,044	14	0,058	0	0,000	25	0,060	4	0,031
Charadriiformes	<i>Anous stolidus</i>	45	0,038	5	0,021	1	0,002	13	0,031	1	0,008
Charadriiformes	<i>Anous minutus</i>	0	0,000	0	0,000	0	0,000	3	0,007	0	0,000
Charadriiformes	<i>Anous</i> sp.	0	0,000	0	0,000	0	0,000	1	0,002	0	0,000
Charadriiformes	<i>Sterna hirundo</i>	83	0,070	75	0,311	127	0,274	68	0,163	38	0,297
Charadriiformes	<i>Sterna hirundinacea</i>	4	0,003	0	0,000	1	0,002	2	0,005	0	0,000
Charadriiformes	<i>Thalasseus acuflavidus</i>	47	0,039	3	0,012	54	0,117	13	0,031	0	0,000
Charadriiformes	<i>Thalasseus maximus</i>	6	0,005	0	0,000	4	0,009	0	0,000	0	0,000
Charadriiformes	Laridae	9	0,007	4	0,017	30	0,065	11	0,026	6	0,047
Phaethontiformes	<i>Phaethon aethereus</i>	6	0,005	0	0,000	5	0,011	3	0,007	2	0,016
Procellariiformes	<i>Thalassarche chlororhynchos</i>	38	0,032	1	0,004	2	0,004	7	0,017	0	0,000
Procellariiformes	<i>Thalassarche melanophris</i>	4	0,003	0	0,000	2	0,004	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	<i>Thalassarche</i> sp.	8	0,007	0	0,000	0	0,000	1	0,002	0	0,000
Procellariiformes	<i>Fregetta grallaria</i>	1	0,001	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	<i>Fregetta tropica</i>	1	0,001	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	<i>Oceanites oceanicus</i>	32	0,027	12	0,050	1	0,002	81	0,194	1	0,008

Ordem	Táxon	ANO 1		ANO 2		ANO 3		ANO 4		ANO 5	
		FO	FO (%)	FO	FO (%)	FO	FO (%)	FO	FO (%)	FO	FO (%)
Procellariiformes	<i>Hydrobates leucorhous</i>	1	0,001	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	Hydrobatidae	1	0,001	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	<i>Pterodroma mollis</i>	3	0,003	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	<i>Pterodroma incerta</i>	2	0,002	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	<i>Pterodroma</i> sp.	1	0,001	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	<i>Pachyptila desolata</i>	1	0,001	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	<i>Procellaria aequinoctialis</i>	7	0,006	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	<i>Procellaria conspicillata</i>	6	0,005	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	Procellariidae	10	0,008	0	0,000	1	0,002	1	0,002	0	0,000
Procellariiformes	<i>Calonectris borealis</i>	27	0,023	1	0,004	1	0,002	3	0,007	0	0,000
Procellariiformes	<i>Calonectris edwardsii</i>	3	0,003	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	<i>Calonectris</i> sp.	2	0,002	1	0,004	0	0,000	2	0,005	2	0,016
Procellariiformes	<i>Ardenna grisea</i>	8	0,007	0	0,000	3	0,006	3	0,007	0	0,000
Procellariiformes	<i>Ardenna gravis</i>	246	0,206	0	0,000	1	0,002	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	<i>Puffinus puffinus</i>	97	0,082	18	0,075	50	0,108	17	0,041	2	0,016
Procellariiformes	<i>Puffinus</i> sp.	16	0,013	3	0,012	2	0,004	6	0,014	0	0,000
Suliformes	<i>Fregata magnificens</i>	126	0,106	20	0,083	80	0,173	50	0,120	17	0,133
Suliformes	<i>Fregata</i> sp.	7	0,006	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
Suliformes	<i>Sula dactylatra</i>	177	0,149	55	0,228	72	0,156	58	0,139	29	0,227
Suliformes	<i>Sula leucogaster</i>	48	0,040	22	0,091	25	0,054	29	0,069	24	0,188
Suliformes	<i>Sula sula</i>	7	0,006	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
Suliformes	<i>Sula</i> sp.	5	0,004	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000

Ordem	Táxon	ANO 1		ANO 2		ANO 3		ANO 4		ANO 5	
		FO	FO (%)	FO	FO (%)	FO	FO (%)	FO	FO (%)	FO	FO (%)
	Ave N.I.	43	0,036	2	0,008	0	0,000	4	0,010	1	0,008
	TOTAL	1190	1	241	1	463	1	418	1	128	1

Houve variação na composição das espécies ao longo dos anos. As espécies *Stercorarius maccormicki*, *S. parasiticus*, *Anous minutus*, *Fregetta grallaria*, *F. tropica*, *Hydrobates leucorhous*, *Pterodroma mollis*, *P. incerta*, *Pachyptila desolata*, *Procellaria aequinoctialis*, *Procellaria conspicillata*, *Calonectris edwardsii* e *Sula sula*, foram registradas em apenas um dos anos de amostragem. Além disso, vale destacar espécies com FO (%) maiores, como *Sterna hirundo* no Ano 2, no Ano 3 e no Ano 5, *Ardenna gravis* no Ano 1 e *Sula dactylatra* no Ano 2 e no Ano 5 de amostragem. Houve variação na composição das espécies ao longo dos anos. As espécies *Stercorarius maccormicki*, *S. parasiticus*, *Anous minutus*, *Fregetta grallaria*, *F. tropica*, *Hydrobates leucorhous*, *Pterodromamollis*, *P. incerta*, *Pachyptila desolata*, *Procellariaa equinoctialis*, *P. conspicillata*, *Calonectris edwardsii* e *Sula sula*, foram registradas em apenas um dos anos de amostragem. Além disso, vale destacar espécies com FO (%) maiores, como *Sterna hirundo* no Ano 2, no Ano 3 e no Ano 5, *Ardenna gravis* no Ano 1 e *Sula dactylatra* no Ano 2 e no Ano 5 de amostragem. Enquanto *S. hirundo* e *A. gravis* são espécies migratórias que utilizam essa área durante o período não reprodutivo, *S. dactylatra* é uma espécie residente, o que pode explicar a FO (%) elevada durante os anos de amostragem.

Tabela 7: Abundância absoluta e relativa de táxons registrados entre outubro de 2018 e março de 2023 na Foz do Rio Doce e águas adjacentes, considerando os registros em sua totalidade (aves identificadas e não identificadas em nível específico; aves registradas durante os censos contínuos e instantâneos; aves estacionárias; e registros fora do esforço amostral). Estão apresentados dados considerando todos os registros espécie-específicos, registros por transecção, e registros por período do ano. Foram registradas 4708 aves, no total. Houve um maior número de registros de aves durante o período seco que durante o período chuvoso. Em relação as transecções, as maiores abundância foram registradas no TFOZ e no TN4. As espécies mais abundantes foram *Sterna hirundo*, *Anous stolidus*, *Sula dactylatra* e *Fregata magnificens*, respectivamente.

Ordem	Táxon	N Total	FN (%)	TFOZ	TN1	TN2	TN3	TN4	TS1	TS2	Seco	Chuvoso
Charadriiformes	<i>Stercorarius maccormicki</i>	14	0,3	2	2	1	1	1	7	0	13	1
Charadriiformes	<i>Stercorarius pomarinus</i>	31	0,6	5	3	4	8	0	3	8	10	21
Charadriiformes	<i>Stercorarius parasiticus</i>	1	0,0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Charadriiformes	<i>Stercorarius</i> sp.	89	1,8	14	11	6	9	8	15	26	57	32
Charadriiformes	<i>Anous stolidus</i>	543	11,0	1	0	0	44	497	0	1	477	66
Charadriiformes	<i>Anous minutus</i>	11	0,2	0	0	0	0	11	0	0	11	0
Charadriiformes	<i>Anous</i> sp.	1	0,0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
Charadriiformes	<i>Sterna hirundo</i>	1137	23,0	614	44	50	39	199	152	39	257	880
Charadriiformes	<i>Sterna hirundinacea</i>	166	3,4	0	0	0	0	2	3	161	165	1
Charadriiformes	<i>Thalasseus acutiflavus</i>	380	7,7	70	25	4	0	40	15	226	354	26
Charadriiformes	<i>Thalasseus maximus</i>	10	0,2	4	0	0	0	0	0	6	9	1
Charadriiformes	Laridae	109	2,2	32	16	5	5	24	24	3	40	69
Phaethontiformes	<i>Phaethon aethereus</i>	18	0,4	3	0	4	1	4	2	4	10	8
Procellariiformes	<i>Thalassarche chlororhynchos</i>	49	1,0	9	3	3	7	9	10	8	39	10
Procellariiformes	<i>Thalassarche melanophris</i>	6	0,1	0	0	0	0	0	4	2	6	0
Procellariiformes	<i>Thalassarche</i> sp.	9	0,2	2	0	0	2	5	0	0	9	0
Procellariiformes	<i>Fregata grallaria</i>	4	0,1	0	0	0	0	0	0	4	4	0
Procellariiformes	<i>Fregata tropica</i>	1	0,0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
Procellariiformes	<i>Oceanites oceanicus</i>	196	4,0	25	32	17	39	33	19	31	166	30

Ordem	Táxon	N Total	FN (%)	TFOZ	TN1	TN2	TN3	TN4	TS1	TS2	Seco	Chuvoso
Procellariiformes	<i>Hydrobates leucorhous</i>	1	0,0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Procellariiformes	Hydrobatidae	2	0,0	1	0	0	0	0	1	0	0	2
Procellariiformes	<i>Pterodroma mollis</i>	3	0,1	0	1	1	0	0	1	0	1	2
Procellariiformes	<i>Pterodroma incerta</i>	2	0,0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
Procellariiformes	<i>Pterodroma</i> sp.	1	0,0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Procellariiformes	<i>Pachyptila desolata</i>	1	0,0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
Procellariiformes	<i>Procellaria aequinoctialis</i>	7	0,1	0	0	1	1	0	4	1	6	1
Procellariiformes	<i>Procellaria conspicillata</i>	6	0,1	0	1	0	0	0	4	1	4	2
Procellariiformes	Procellariidae	13	0,3	1	0	1	0	0	11	0	2	11
Procellariiformes	<i>Calonectris borealis</i>	35	0,7	14	3	3	5	3	4	3	18	17
Procellariiformes	<i>Calonectris edwardsii</i>	4	0,1	0	0	1	0	3	0	0	4	0
Procellariiformes	<i>Calonectris</i> sp.	11	0,2	2	0	2	0	2	1	4	5	6
Procellariiformes	<i>Ardenna grisea</i>	13	0,3	3	2	3	1	4	0	0	10	3
Procellariiformes	<i>Ardenna gravis</i>	252	5,1	19	143	55	0	0	35	0	218	34
Procellariiformes	<i>Puffinus puffinus</i>	277	5,6	41	25	19	45	81	27	39	131	146
Procellariiformes	<i>Puffinus</i> sp.	27	0,5	6	2	5	8	2	2	2	20	7
Suliformes	<i>Fregata magnificens</i>	375	7,6	47	21	25	111	154	11	6	222	153
Suliformes	<i>Fregata</i> sp.	9	0,2	0	0	0	0	9	0	0	0	9
Suliformes	<i>Sula dactylatra</i>	576	11,6	54	44	44	81	300	32	21	285	291
Suliformes	<i>Sula leucogaster</i>	258	5,2	34	34	22	11	94	41	22	119	139
Suliformes	<i>Sula sula</i>	7	0,1	0	1	1	2	3	0	0	1	6
Suliformes	<i>Sula</i> sp.	10	0,2	0	0	0	0	10	0	0	4	6
	Ave N.I.	289	5,8	141	13	7	11	79	33	5	35	254

Ordem	Táxon	N Total	FN (%)	TFOZ	TN1	TN2	TN3	TN4	TS1	TS2	Seco	Chuvoso
	Total	4954	100	1146	426	286	431	1578	464	623	2715	2239

Houve um maior número de registros de aves durante o período seco (55%), embora a diferença tenha sido pequena. Em relação às transecções, as maiores abundâncias foram registradas na transecção alinhada à foz do Rio Doce (TFOZ) e na transecção no extremo norte (TN4). A transecção TFOZ está alinhada à foz do Rio Doce e sob influência direta do aporte de água doce e nutrientes provenientes do Rio Doce que enriquecem as águas adjacentes, enquanto a transecção TN4 fica próxima ao arquipélago dos Abrolhos, local utilizado para reprodução de sete espécies de aves, o que pode explicar os maiores registros de aves. As espécies mais abundantes foram *Sterna hirundo*, *Anous stolidus*, *Sula dactylatra* e *Thalasseus acutiflavus*, respectivamente. *Sterna hirundo* é uma espécie migratória, já *A. stolidus*, *S. dactylatra* e *F. magnificens* são espécies residentes e o arquipélago dos Abrolhos é um dos locais onde elas se reproduzem.

Tabela 8: Abundância e densidade (aves/km²) dos táxons registrados entre outubro de 2018 e março de 2023 na Foz do Rio Doce e águas adjacentes, considerando apenas aves registradas durante os censos contínuos e instantâneos. Durante o Ano 2 e Ano 4 foram registradas as maiores densidades. Em relação as espécies, *Sterna hirundo*, *Fregata magnificens* e *Sula dactylatra* apresentaram as maiores densidades ao longo dos cinco anos.

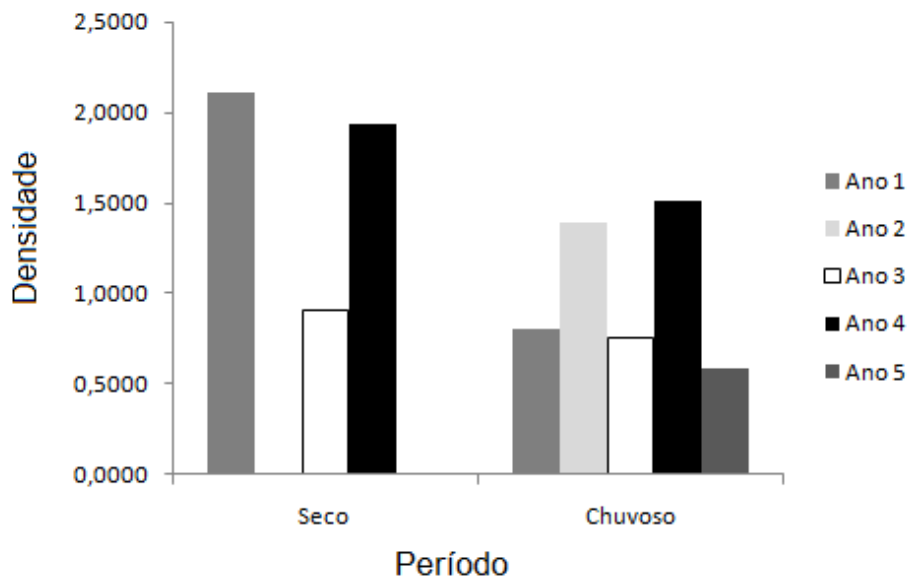
Táxon	Táxon	ANO 1		ANO 2		ANO 3		ANO 4		ANO 5	
		Abundância	Densidade	Abundância	Densidade	Abundância	Densidade	Abundância	Densidade	Abundância	Densidade
Charadriiformes	<i>Stercorarius maccormicki</i>	0	0	0	0	0	0	12	0,015	0	0,000
Charadriiformes	<i>Stercorarius pomarinus</i>	7	0,004	9	0,022	0	0	9	0,011	1	0,002
Charadriiformes	<i>Stercorarius parasiticus</i>	0	0	0	0	1	0,002	0	0,000	0	0,000
Charadriiformes	<i>Stercorarius</i> sp.	22	0,013	10	0,024	0	0	32	0,040	4	0,010
Charadriiformes	<i>Anous stolidus</i>	85	0,05	5	0,012	1	0,002	70	0,087	2	0,005
Charadriiformes	<i>Anous minutus</i>	0	0	0	0	0	0	11	0,014	0	0,000
Charadriiformes	<i>Anous</i> sp.	0	0	0	0	0	0	1	0,001	0	0,000
Charadriiformes	<i>Sterna hirundo</i>	37	0,022	219	0,524	127	0,218	430	0,535	101	0,243
Charadriiformes	<i>Sterna hirundinacea</i>	1	0,001	0	0	1	0,002	3	0,004	0	0,000
Charadriiformes	<i>Thalasseus acutiflavus</i>	51	0,03	19	0,045	54	0,093	25	0,031	0	0,000
Charadriiformes	<i>Thalasseus maximus</i>	3	0,002	0	0	4	0,007	0	0,000	0	0,000
Charadriiformes	Laridae	5	0,003	26	0,062	30	0,052	18	0,022	10	0,024
Phaethontiformes	<i>Phaethon aethereus</i>	2	0,001	0	0	5	0,009	3	0,004	2	0,005
Procellariiformes	<i>Thalassarche chlororhynchos</i>	27	0,016	1	0,002	2	0,003	7	0,009	0	0,000

Táxon	Táxon	ANO 1		ANO 2		ANO 3		ANO 4		ANO 5	
		Abundância	Densidade	Abundância	Densidade	Abundância	Densidade	Abundância	Densidade	Abundância	Densidade
Procellariiformes	<i>Thalassarche melanophris</i>	3	0,002	0	0	2	0,003	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	<i>Thalassarche</i> sp.	2	0,001	0	0	0	0	1	0,001	0	0,000
Procellariiformes	<i>Fregatta grallaria</i>	1	0,001	0	0	0	0	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	<i>Fregatta tropica</i>	1	0,001	0	0	0	0	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	<i>Oceanites oceanicus</i>	32	0,019	10	0,024	1	0,002	144	0,179	1	0,002
Procellariiformes	<i>Hydrobates leucorhous</i>	1	0,001	0	0	0	0	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	Hydrobatidae	1	0,001	0	0	0	0	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	<i>Pterodroma mollis</i>	3	0,002	0	0	0	0	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	<i>Pterodroma incerta</i>	1	0,001	0	0	0	0	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	<i>Pterodroma</i> sp.	1	0,001	0	0	0	0	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	<i>Pachyptila desolata</i>	1	0,001	0	0	0	0	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	<i>Procellaria aequinoctialis</i>	5	0,003	0	0	0	0	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	<i>Procellaria conspicillata</i>	4	0,002	0	0	0	0	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	Procellariidae	1	0,001	0	0	1	0,002	1	0,001	0	0,000
Procellariiformes	<i>Calonectris borealis</i>	16	0,009	0	0	1	0,002	3	0,004	0	0,000

Táxon	Táxon	ANO 1		ANO 2		ANO 3		ANO 4		ANO 5	
		Abundância	Densidade	Abundância	Densidade	Abundância	Densidade	Abundância	Densidade	Abundância	Densidade
Procellariiformes	<i>Calonectris edwardsii</i>	3	0,002	0	0	0	0	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	<i>Calonectris</i> sp.	0	0	4	0,01	0	0	3	0,004	2	0,005
Procellariiformes	<i>Ardena grisea</i>	7	0,004	0	0	1	0,002	3	0,004	0	0,000
Procellariiformes	<i>Ardena gravis</i>	103	0,061	0	0	1	0,002	0	0,000	0	0,000
Procellariiformes	<i>Puffinus puffinus</i>	96	0,057	25	0,06	50	0,086	55	0,068	2	0,005
Procellariiformes	<i>Puffinus</i> sp.	9	0,005	3	0,007	2	0,003	6	0,007	0	0,000
Suliformes	<i>Fregata magnificens</i>	55	0,033	12	0,029	80	0,137	114	0,142	19	0,046
Suliformes	<i>Fregata</i> sp.	3	0,002	0	0	0	0	0	0,000	0	0,000
Suliformes	<i>Sula dactylatra</i>	142	0,084	52	0,124	72	0,124	133	0,166	47	0,113
Suliformes	<i>Sula leucogaster</i>	48	0,028	14	0,033	25	0,043	56	0,070	54	0,130
Suliformes	<i>Sula sula</i>	4	0,002	0	0	0	0	0	0,000	0	0,000
Suliformes	<i>Sula</i> sp.	2	0,001	0	0	0	0	0	0,000	0	0,000
Ave N.I.		12	0,007	1	0,002	0	0	238	0,296	1	0,002
TOTAL		797	0,474	410	0,98	461	0,794	1378	1,715	246	0,592

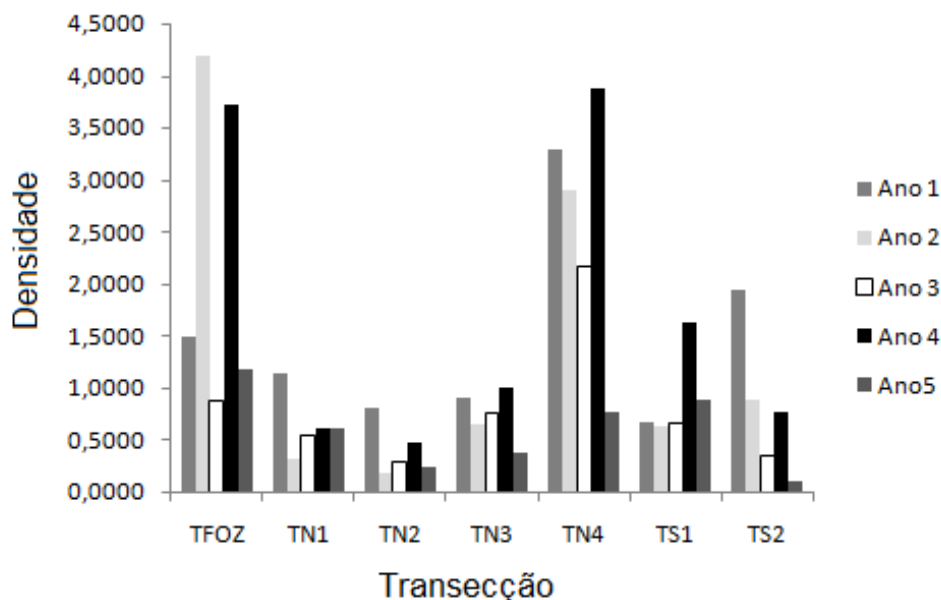
Durante o Ano 2 e Ano 4 foram registradas as maiores densidades. Em relação às espécies, *Sterna hirundo*, *Fregata magnificens* e *Sula dactylatra* apresentaram as maiores densidades ao longo dos cinco anos. Enquanto *S. hirundo* é uma espécie migratória que utiliza essa área durante o período não reprodutivo, *F. magnificens* e *S. dactylatra* são espécies residentes, e a presença em densidades maiores demonstra a importância da região da foz do Rio Doce e águas adjacentes para essas espécies.

Figura 12: Densidade de aves (aves/km²) por período do ano, entre outubro de 2018 e março de 2023, amostrados no mar adjacente à Foz do Rio Doce. * Não houve amostragem no período seco do Ano 2. No período seco do Ano 1 foi registrada a maior densidade. No Ano 3 e Ano 5 foram registradas as menores densidades, no período seco e no período chuvoso, respectivamente.



No período seco do Ano 1 foi registrada a maior densidade, influenciada por uma maior abundância de aves da família Laridae. No Ano 3 e Ano 5 foram registradas as menores densidades, no período seco e no período chuvoso, respectivamente.

Figura 13: Densidade de aves (aves/km²) por transecção no período entre outubro de 2018 e março de 2023, amostrados no mar adjacente à Foz do Rio Doce. A densidade de aves variou entre as transecções, com densidade maior de aves em TFOZ e TN4. A densidade de aves em TFOZ variou acima da média entre os anos sendo maior no Ano 2 e 4, respectivamente, enquanto os valores se mantiveram mais constantes em TN4, com densidade maior de aves no Ano 4 e 1, respectivamente.



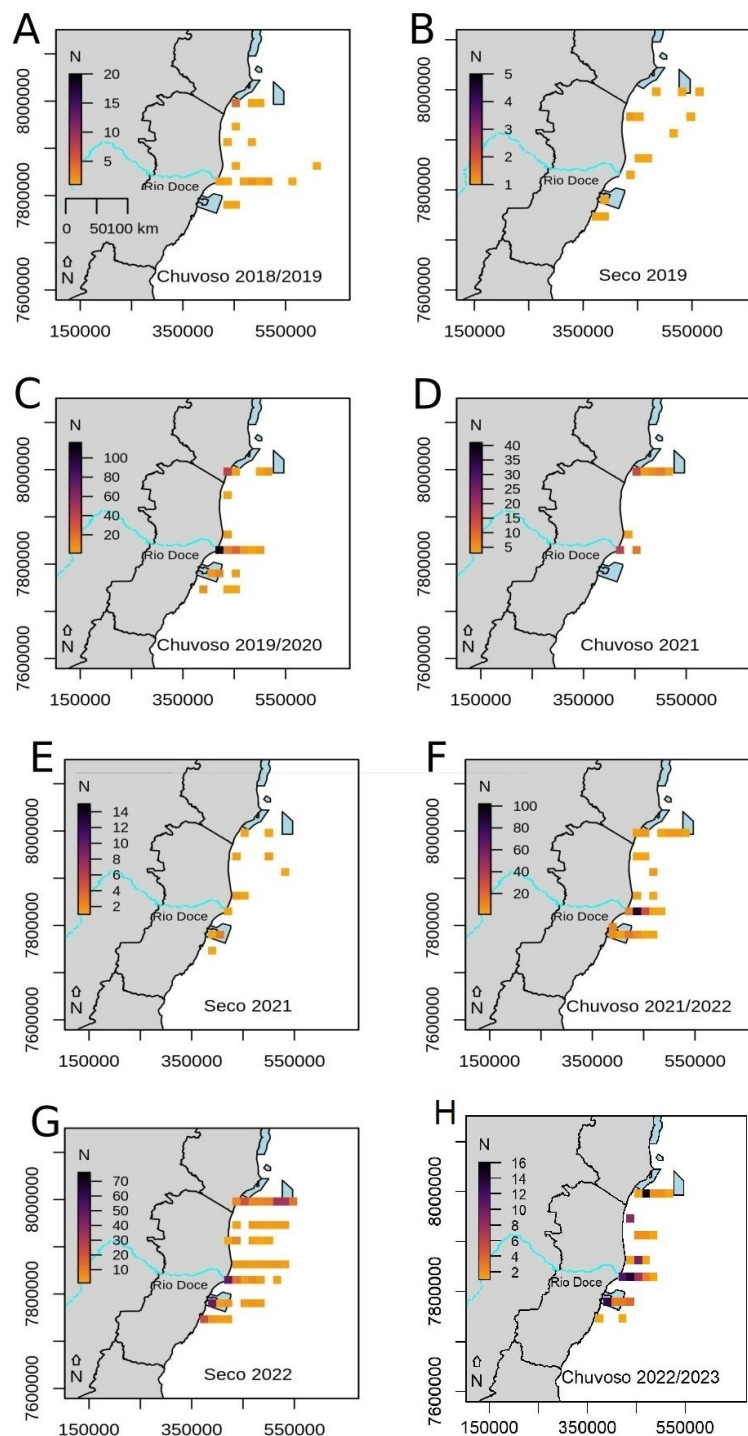
A densidade de aves variou entre as transecções, com densidade maior de aves em TFOZ e TN4. A densidade de aves em TFOZ variou acima da média entre os anos sendo maior no Ano 2 e 4, respectivamente, enquanto os valores se mantiveram mais constantes em TN4, com densidade maior de aves no Ano 4 e 1, respectivamente. A transecção TFOZ está alinhada à foz do Rio Doce e sob influência direta do aporte de água doce e nutrientes provenientes do Rio Doce que enriquecem as águas adjacentes, enquanto a transecção TN4 fica próxima do arquipélago dos Abrolhos, local utilizado para reprodução de várias espécies de aves, o que pode estar atuando para que essas sejam as transecções com as maiores densidades de aves.

Tabela 9: Índice de Shannon estimado para as transecções no mar adjacente à Foz do Rio Doce, no período entre outubro de 2018 e março de 2023.

	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
Transecção	H'	H'	H'	H'	H'
TFOZ	2,43	1,01	1,74	1,10	1,14
TN1	1,99	1,84	1,54	1,78	1,27
TN2	2,28	1,68	1,68	1,72	1,25
TN3	2,32	1,86	1,39	1,57	1,36
TN4	2,1	1,27	1,76	2,04	1,40
TS1	2,43	0,88	1,21	0,92	0,89
TS2	2,35	1,66	1,81	1,61	0,64

Durante o Ano 1, o índice de diversidade de Shannon variou de 1,99 a 2,43 entre as transecções, com a maior diversidade registrada nas transecções TFOZ e TS1, enquanto a menor foi registrada na transecção TN1. No ano 2, a diversidade foi menor, variando entre 0,88 e 1,86, com maior diversidade na transecção TN3 e menor na TS1. No ano 3, os valores do índice de diversidade de Shannon variaram entre 1,81 e 1,21, com maior diversidade em TS1, TN4 e TFOZ, e menor em TS1. No ano 4, a diversidade variou de 0,92 no TS1 a 2,04 no TN4. No ano 5, a diversidade variou de 0,64 no TS2 a 1,40 no TN4. Novamente, destacam-se as transecções TFOZ e TN4 com valores elevados de Índice de Diversidade de Shannon ao longo dos cinco anos de amostragem. No entanto, no Ano 2, maior diversidade foi registrada na transecção TN3. No Ano 3, com maior diversidade em TS2. A transecção TFOZ está alinhada à foz do Rio Doce e sob influência direta do aporte de água doce e nutrientes provenientes do Rio Doce que enriquecem as águas adjacentes, enquanto que a transecção TN4 fica próxima do arquipélago dos Abrolhos, local utilizado para reprodução de sete espécies de aves marinhas, o que pode estar atuando para que essas sejam transecções com diversidade de aves mais elevada.

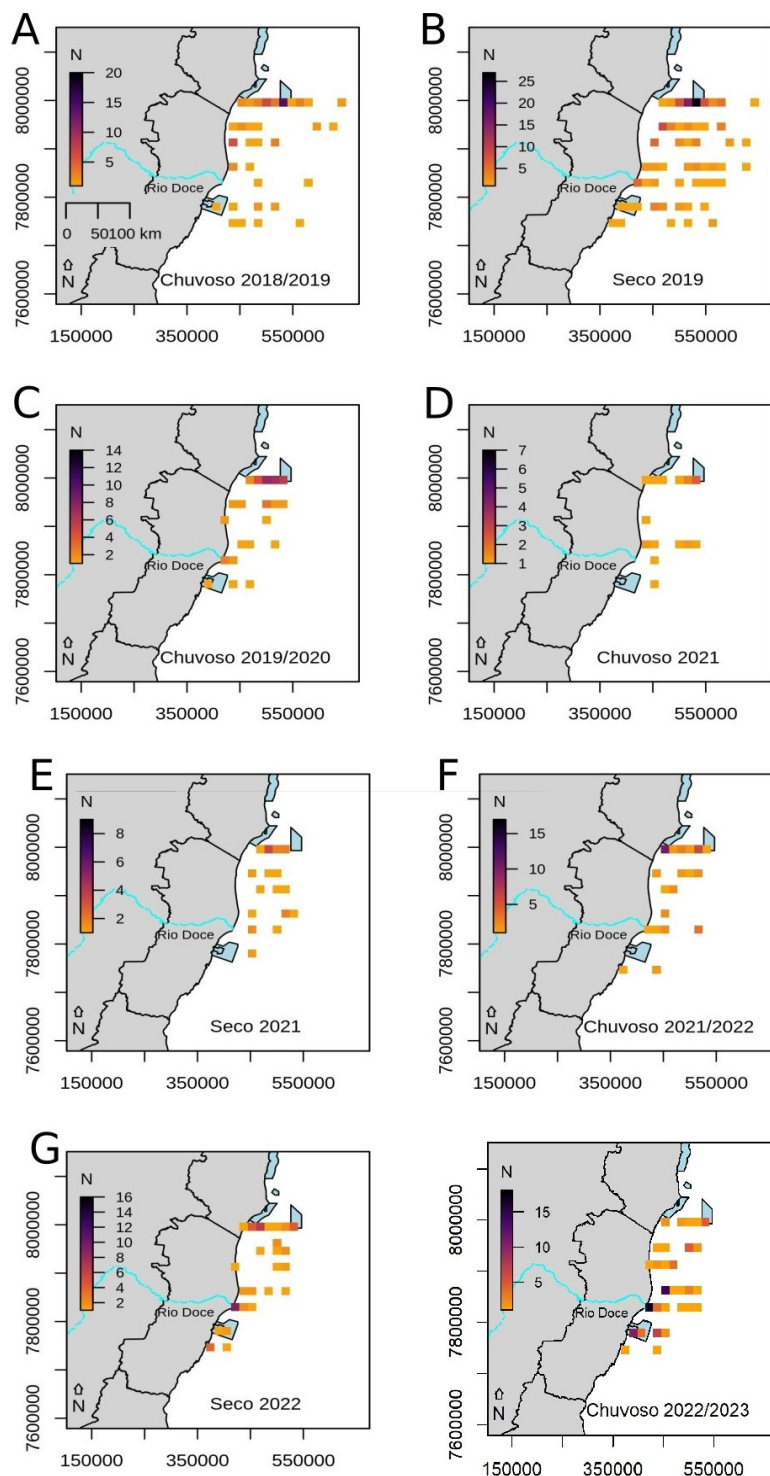
Figura 14: Representação da densidade de aves (Nº de indivíduos registrados em censos contínuos e instantâneo por km² em esforço) na Foz do Rio Doce e águas adjacentes para família Laridae em uma malha com 4 x 4 km de resolução para cada estação (e.g. chuvoso de outubro a março e seco de abril a setembro) para o período de outubro de 2018 a março de 2023.



Laridae apresentou maior densidade de aves na transecção TN4 durante o período chuvoso de 2018/2019 e o período seco de 2019. No período chuvoso do ano seguinte (2019/2020), assim como no período chuvoso de 2021 e chuvoso de 2021/2022 houve uma maior densidade de Laridae na transecção TFOZ. No período chuvoso de 2022/2023, as maiores densidades também foram

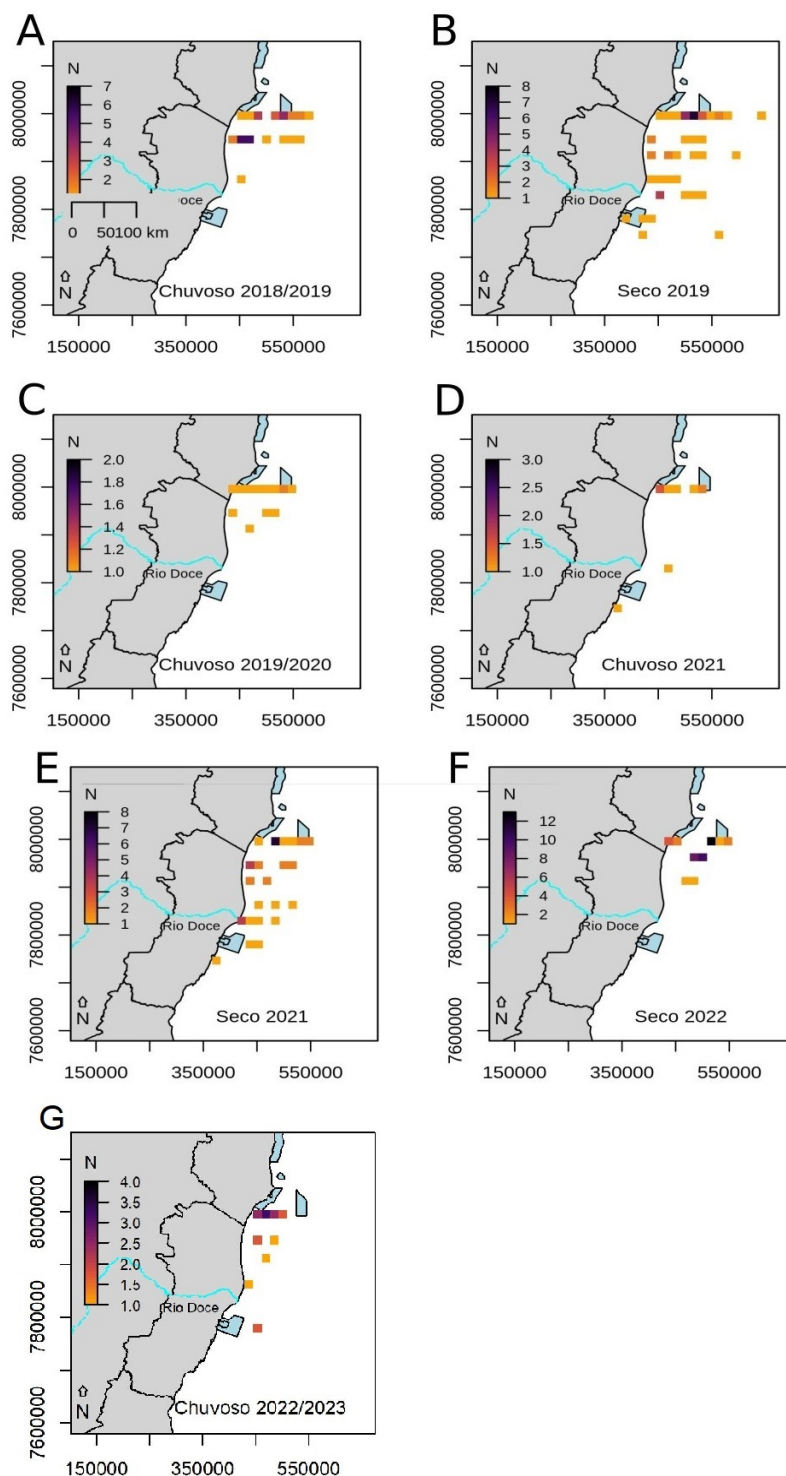
registradas na transecção TFOZ. A família esteve presente nos transectos TFOZ e TN4 em todas as estações, por isso a transecção TN4 e áreas mais próximas a costa na TFOZ foram as áreas de maior densidade quando considerados os registros da família em todas temporadas e períodos. A transecção TFOZ está alinhada à foz do Rio Doce e sob influência direta do aporte de água doce e nutrientes provenientes do Rio Doce que enriquecem as águas adjacentes, enquanto a transecção TN4 fica próxima do arquipélago dos Abrolhos, local utilizado para reprodução de espécies da família Laridae, o que pode estar atuando para que essas sejam as transecções com as maiores densidades de aves dessa família.

Figura 15: Representação da densidade de aves (Nº de indivíduos registrados em censos contínuos e instantâneo por km² em esforço) na Foz do Rio Doce e águas adjacentes para família Sulidae em uma malha com 4 x 4 km² de resolução para cada estação (e.g. chuvoso de outubro a março e seco de abril a setembro) para o período de outubro de 2018 a março de 2023. Em relação as aves da família Sulidae, destacam-se os altos índices de densidade observados no transecto mais próximo ao Arquipélago de Abrolhos (TN4) em todos anos e estações amostrados. Embora o grupo apresente ampla distribuição ao longo dos transectos, sua distribuição parece mais costeira, com distribuição mais extensa nos transectos onde a plataforma continental se estende e mais próxima a costa onde a profundidade é maior em locais mais próximos a costa, principalmente nos transectos mais ao sul.



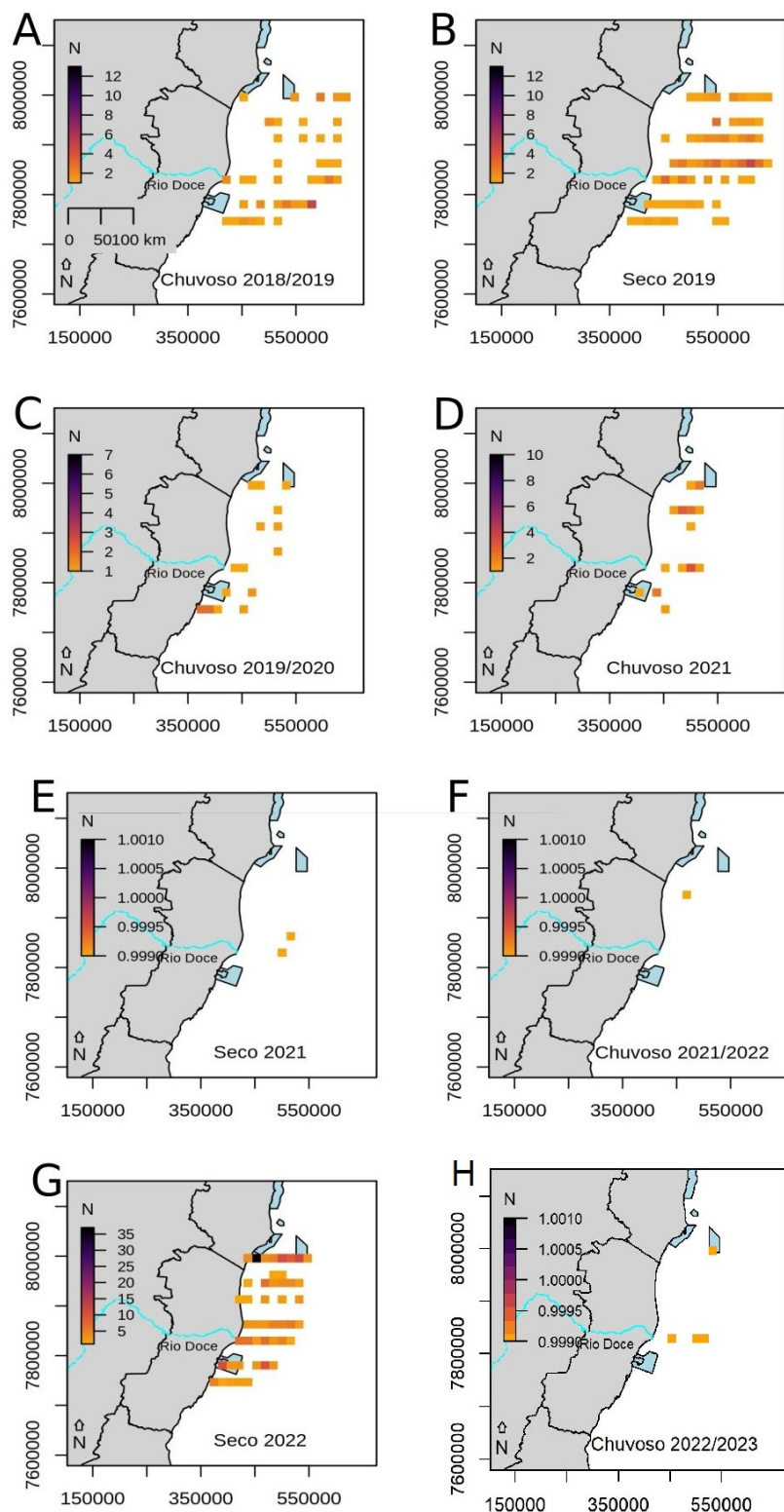
Em relação à Sulidae, destacam-se os altos índices de densidade observados na transecção TN4 em todos anos e estações amostrados. No período chuvoso 2022/2023, vale destacar o registro de densidades maiores mais próximas a costa e a Foz do Rio Doce. Embora o grupo apresente ampla distribuição ao longo das transecções, sua distribuição parece mais costeira, com distribuição mais extensa nas transecções onde a plataforma continental se estende e mais próxima a costa onde a profundidade é maior em locais mais próximos a costa, principalmente nos transectos mais ao sul. A transecção TN4 fica próxima do arquipélago dos Abrolhos, local utilizado para reprodução de espécies da família Sulidae, o que pode estar atuando para que essas sejam as transecções com as maiores densidades de aves dessa família.

Figura 16: Representação da densidade de aves (Nº de indivíduos registrados em censos contínuos e instantâneo por km² em esforço) na Foz do Rio Doce e águas adjacentes para família *Fregatidae* em uma malha com 4 x 4 km² de resolução para cada estação (e.g. chuvosa de outubro a março e seco de abril a setembro), para período de outubro de 2018 a março de 2023. A família *Fregatidae* ocorreu em todos os transectos, porém teve maior densidade no transecto mais ao norte (TN4) e em áreas adjacentes a foz do Rio Doce. Neste sentido, alguns quadrantes mais costeiros nos três transectos adjacentes ao sul (TN2, TN1, TFOZ) também apresentaram valores de alta densidade, principalmente próximos a costa. Quanto a variação na distribuição do grupo associado as diferentes estações, pode se observar uma distribuição mais ampla do grupo nas duas estações de 2019 quando comparado aos outros períodos amostrados.



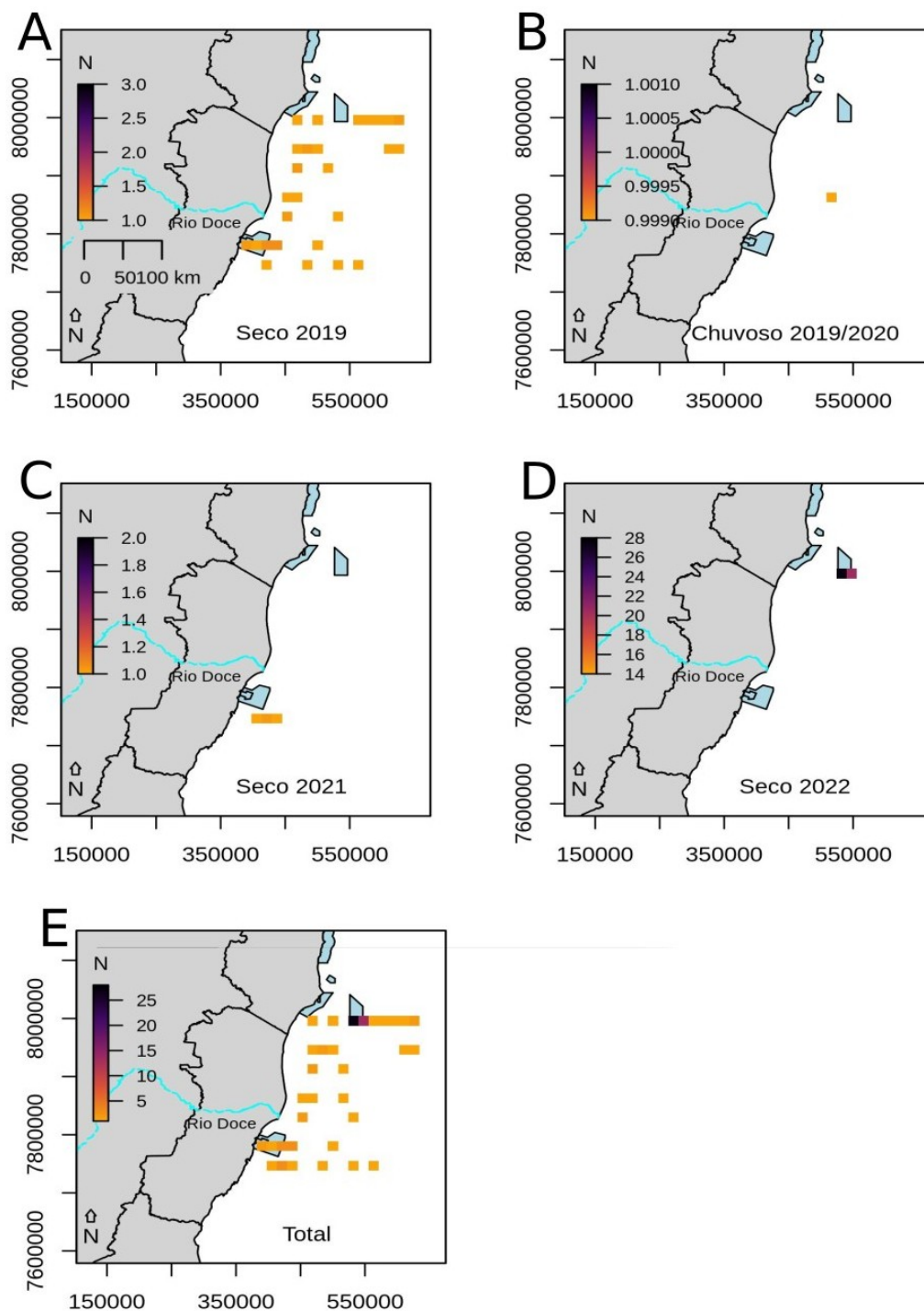
Fregatidae ocorreu em todas as transecções, porém teve maior densidade na TN4 e TFOZ, mas também apresentou densidades elevadas próximo a costa nas transecções TN3 e TN2. Quanto a variação na distribuição do grupo associado às diferentes estações, pode se observar uma distribuição mais ampla do grupo nas duas estações de 2019 quando comparado aos outros períodos amostrados. A transecção TFOZ está alinhada à foz do Rio Doce e sob influência direta do aporte de água doce e nutrientes provenientes do Rio Doce que enriquecem as águas adjacentes, enquanto a transecção TN4 fica próxima do arquipélago dos Abrolhos, local utilizado para reprodução de Fregatidae, o que pode estar atuando para que essas sejam as transecções com as maiores densidades de aves dessa família.

Figura 17: Representação da densidade de aves (Nº de indivíduos registrados em censos contínuos e instantâneo por km² em esforço) na Foz do Rio Doce e águas adjacentes para família Procellariidae em uma malha com 4 x 4 km² de resolução para cada estação (e.g. chuvosa de outubro a março e seco de abril a setembro), para o período de outubro de 2018 a março de 2023. A família Procellariidae apresentou altos índices de densidade em todos os transectos. De forma geral, as áreas mais utilizadas são as mais profundas e distantes da costa. De toda forma, sua densidade variou ao longo das estações, com menores índices no período seco de 2021, no período chuvoso de 2021/2022 e no período chuvoso de 2022/2023.



Procellariidae apresentou altos índices de densidade em todos os transectos. De forma geral, as áreas mais utilizadas são as mais profundas e distantes da costa. De toda forma, sua densidade variou ao longo das estações, com menores índices no período seco de 2021 e nos períodos chuvosos de 2021/2022 e 2022/2023. As espécies de Procellariidae registradas são todas migratórias e apresentam hábitos mais oceânicos, o que pode ajudar a explicar densidades mais elevadas nas áreas mais afastadas da costa e com maiores profundidades.

Figura 18: Representação da densidade de aves (N° de indivíduos registrados em censos contínuos e instantâneo por km² em esforço) na Foz do Rio Doce e águas adjacentes para família Diomedidae em uma malha com 4 x 4 km de resolução para cada estação (e.g. chuvosa de outubro a março e seco de abril a setembro) para o período de outubro de 2018 a março de 2023. A família Diomedidae (albatrozes) foi registrada em baixas densidades no período chuvoso de 2019/2020 e no período seco de 2021. No período seco de 2019 sua densidade foi maior em áreas próximas ao Arquipélago de Abrolhos (e.g. TN4), enquanto no período chuvoso de 2019/2020 sua densidade foi maior em locais mais próximos a APA Costa das Algas (TS1) e foz do Rio Doce (TFoz). Da mesma, no Ano 4 é possível observar valores maiores de densidade próximo à região do Arquipélago dos Abrolhos, enquanto no período chuvoso de 2022/2023 não houve nenhum registro.



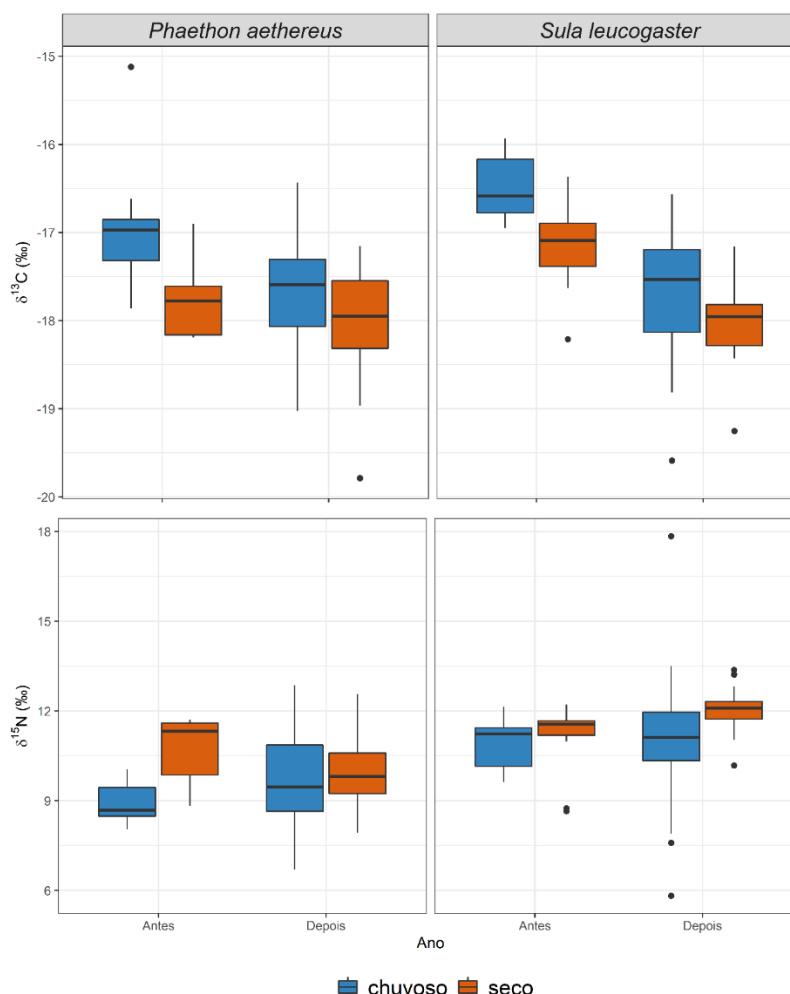
Diomedidae (*i.e.* albatrozes) foi registrada em baixas densidades no período chuvoso de 2019/2020 e no período seco de 2021 enquanto no período chuvoso de 2022/2023 não houve nenhum registro. No período seco de 2019, sua densidade foi maior na transecção TN4, enquanto no período chuvoso de 2019/2020 sua densidade foi na TS1 e TFOZ. Da mesma forma, no Ano 4 é possível observar valores maiores de densidade na TN4. A transecção TFOZ está alinhada à foz do Rio Doce e sob influência direta do aporte de água doce e nutrientes provenientes do Rio Doce que enriquecem as águas adjacentes, enquanto a transecção TN4 fica próxima do arquipélago dos Abrolhos, o que pode estar atuando para que essas sejam as transecções com as maiores densidades de aves dessa família.

Tabela 10: Valores de isótopos estáveis de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ provenientes de amostras de sangue de *Phaethon aethereus* e *Sula leucogaster* no Arquipélago dos Abrolhos antes e depois do rompimento da barragem, separados pelos períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro). DP = desvio padrão.

Espécie/Ano	Chuvoso $\delta^{13}\text{C}$ (‰)			Seco $\delta^{13}\text{C}$ (‰)			Chuvoso $\delta^{15}\text{N}$ (‰)			Seco $\delta^{15}\text{N}$ (‰)		
	n	Média	DP	n	Média	DP	n	Média	DP	n	Média	DP
<i>Phaethon aethereus</i>												
Antes	14	-17,05	0,68	16	-17,56	0,53	14	9,02	0,64	16	10,14	1,4
Depois	96	-17,56	0,48	59	-17,96	0,51	96	9,84	1,29	59	9,90	1,0
<i>Sula leucogaster</i>												
Antes	15	-16,48	0,34	15	-17,13	0,48	15	10,88	0,82	15	11,16	1,05
Depois	74	-17,63	0,65	38	-18,00	0,38	74	10,89	1,80	38	12,00	0,68

Observa-se uma diminuição na média de $\delta^{13}\text{C}$ tanto para *S. leucogaster* como para *P. aethereus* entre antes e depois do rompimento da barragem para o período chuvoso e seco, podendo indicar uma variação da distância de áreas de forrageio em relação à costa. Além disso, durante o período seco, as médias de $\delta^{13}\text{C}$ tendem a ser menores do que no período chuvoso, o que pode ser também decorrente de variação de área de forrageio entre os períodos ou ainda de variações na produtividade primária. As médias $\delta^{15}\text{N}$ não apresentaram padrão de aumento ou diminuição entre antes e depois do rompimento da barragem em ambas as espécies e entre os períodos chuvoso e seco. Entretanto, estas tendem a ser maiores durante o período seco do que no período chuvoso, tanto antes como depois do rompimento da barragem para ambas as espécies, podendo indicar o consumo de espécies com níveis tróficos mais altos durante o período seco.

Figura 19: Variação de valores de isótopos estáveis de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ provenientes de amostras de sangue de *Phaethon aethereus* e *Sula leucogaster* no arquipélago dos Abrolhos antes e depois do rompimento da barragem, separados pelos períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro).



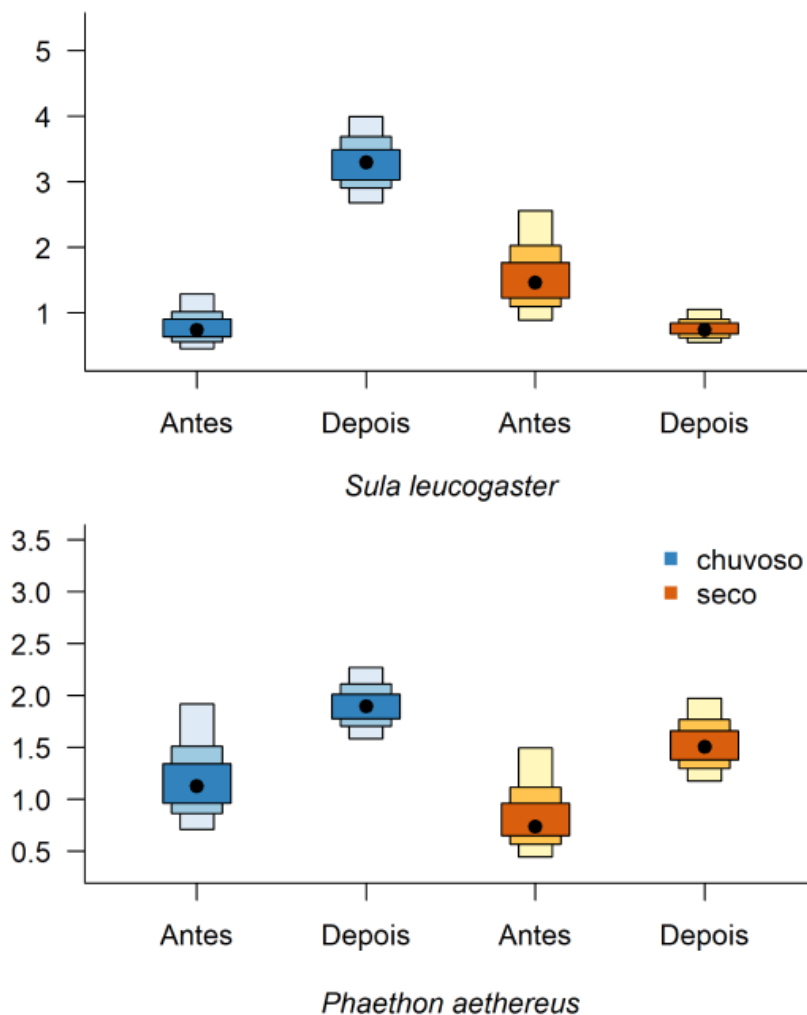
Observa-se uma diminuição dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ tanto para *S. leucogaster* como para *P. aethereus* entre antes e depois do rompimento da barragem para o período chuvoso e seco e também uma tendência dos valores $\delta^{13}\text{C}$ serem menores no período seco em comparação ao período chuvoso para ambas as espécies. Esses resultados podem indicar variações nas áreas de forrageio em relação à distância da costa ou em variações na produtividade primária entre os períodos chuvoso e seco (Cherel & Hobson, 2007; McMahon et al., 2013). Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ apresentaram padrões semelhantes para ambas as espécies, com valores maiores no período seco em relação ao chuvoso, indicando o consumo de presas de níveis tróficos mais elevados no período seco em ambas as espécies (Hobson & Clark, 1992; Mancini & Bugoni, 2014).

Tabela 11: Valores de p do teste de hipóteses (Kruskall-Wallis) e dos testes pareados *post-hoc* (Teste U de Mann-Whitney) para valores de isótopos estáveis de $\delta^{13}\text{C}$ (abaixo) e $\delta^{15}\text{N}$ (acima) provenientes de amostras de sangue de *Sula leucogaster* (esquerda) e *Phaethon aethereus* (direita) no arquipélago dos Abrolhos antes e depois do rompimento da barragem, considerando períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro).

<i>Sula leucogaster</i>				<i>Phaethon aethereus</i>			
(Kruskall-Wallis: $\delta^{13}\text{C}$ $p<0,01$; $\delta^{15}\text{N}$ $p<0,01$)				(Kruskall-Wallis: $\delta^{13}\text{C}$ $p<0,01$; $\delta^{15}\text{N}$ $p=0,05$)			
Antes chuvoso	0,17	0,57	<0,01	Antes chuvoso	<0,01	0,02	<0,01
<0,01	Antes seco	0,50	<0,01	<0,01	Antes seco	<0,01	0,02
<0,01	<0,01	Depois chuvoso	<0,01	<0,01	0,40	Depois chuvoso	0,11
<0,01	<0,01	<0,01	Depois seco	<0,01	0,40	<0,01	Depois seco

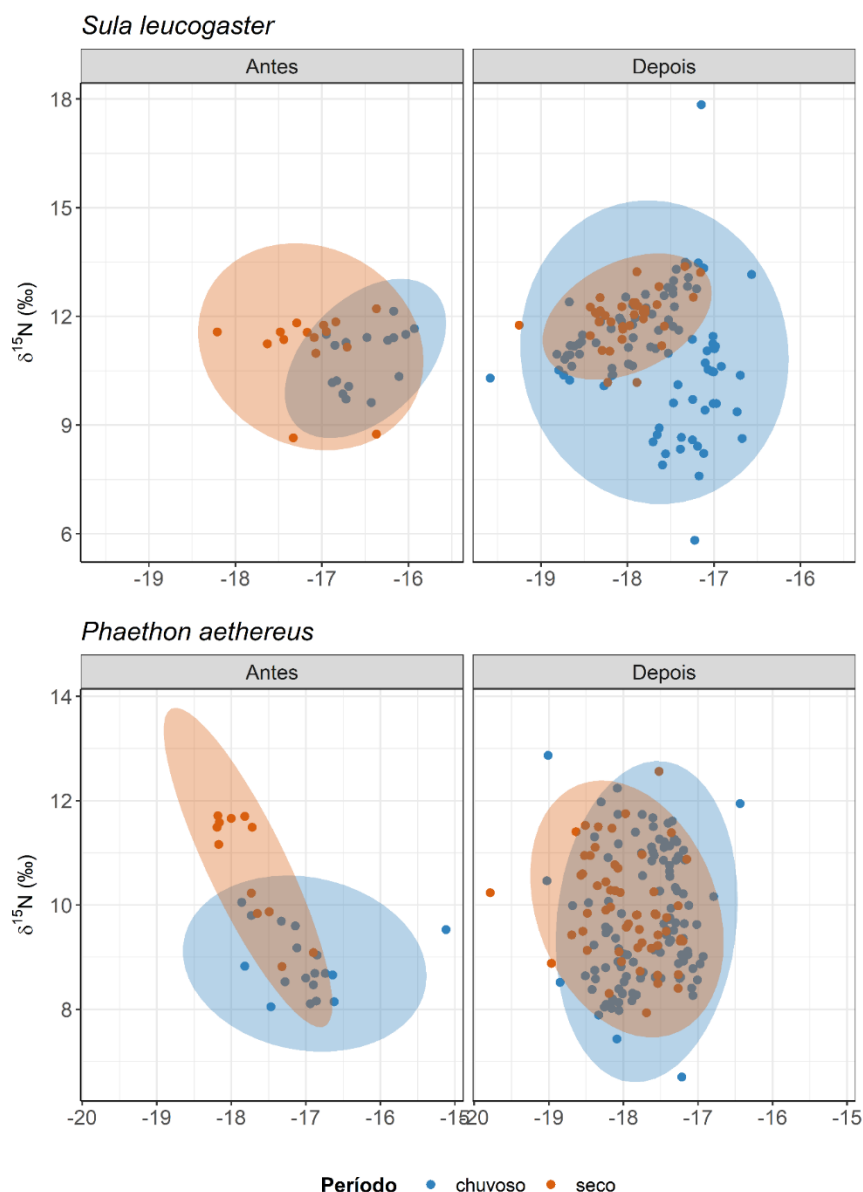
Para *S. leucogaster* as diferenças dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ foram significativas entre antes e depois do rompimento da barragem, considerando os períodos chuvoso e seco (qui-quadrado = 60,41, $p<0,01$), assim como para valores de $\delta^{15}\text{N}$ (qui-quadrado = 23,18, $p<0,01$). Os resultados dos testes pareados demonstraram diferenças significativas entre todos os períodos para $\delta^{13}\text{C}$ e somente entre o período seco após o rompimento e todos os demais períodos para $\delta^{15}\text{N}$. Para *P. aethereus* as diferenças dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ foram significativas entre antes e depois do rompimento da barragem, considerando os períodos chuvoso e seco (qui-quadrado = 34,49, $p<0,01$), assim como valores de $\delta^{15}\text{N}$ (qui-quadrado = 21,56, $p<0,01$). Os testes pareados foram significativos para $\delta^{13}\text{C}$ entre o período chuvoso antes do rompimento e todos os demais períodos analisados e entre os períodos seco e chuvoso após o rompimento. Para $\delta^{15}\text{N}$ as variações foram significativas entre o período chuvoso anterior ao rompimento e o seco antes e depois do rompimento da barragem. As variações significativas para carbono podem representar em diferenças nas áreas de forrageio ou produtividade primária dessas áreas entre todos os períodos analisados e as variações de nitrogênio podem indicar o consumo de presas de níveis tróficos mais elevados em relação aos demais períodos (McMahon et al 2013, Hobson & Clark, 1992).

Figura 20: Áreas das elipses Bayesianas representando amplitude de nicho isotópico a partir de isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) medidos em *Sula leucogaster* e *Phaethon aethereus* e amostrados no arquipélago dos Abrolhos entre os períodos secos e chuvoso antes e depois do rompimento da barragem. As cores, da mais clara para a mais escura representam 50, 75 e 95% dos dados e são representadas em ‰².



Para *S. leucogaster* e *P. aethereus*, o período chuvoso após o rompimento apresenta maior nicho isotópico do que o antes do rompimento, indicando um nicho ecológico mais amplo em relação aos demais períodos. No período seco é observado um padrão oposto entre as espécies, com uma diminuição no nicho isotópico entre os antes e depois do rompimento da barragem para *S. leucogaster* e um aumento *P. aethereus*. As elipses podem ser observadas na figura abaixo. Entretanto, é necessário considerar o menor n amostral do período anterior ao rompimento em relação ao período após o rompimento, que influencia estatisticamente nos modelos gerados.

Figura 21: Elipses Bayesianas estimadas a partir de isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) medidos no sangue de *Phaethon aethereus* e *Sula leucogaster* amostrados no Arquipélago dos Abrolhos. As análises consideraram períodos secos e chuvoso nos períodos antes e depois do rompimento da barragem. Elipses contemplam 95% dos dados.



Para *S. leucogaster*, observa-se um aumento da área do nicho isotópico entre antes e depois do rompimento no período chuvoso e um padrão oposto no período seco. O mesmo padrão é observado para *P. aethereus* no período chuvoso. No período seco, as áreas são semelhantes. Esse aumento da amplitude de nicho no período chuvoso é resultado especialmente dos valores de nitrogênio, que pode ser resultado do consumo de presas de diferentes espécies, níveis tróficos, tamanho corporal ou classes etárias (Romanuk et al. 2011; Nunes et al. 2018; Carreiro et al. 2022), sendo o padrão oposto observado no período seco. Observa-se também uma sobreposição evidente dos nichos isotópicos entre os antes e depois do rompimento da barragem, o que indica que a dieta é baseada nas mesmas presas tanto no período seco como no chuvoso para ambas as espécies (Nunes et al. 2022).

Tabela 12: Área de sobreposição de elipses *Sula leucogaster* (abaixo) e *Phaethon aethereus* (acima) antes e depois, separados entre os períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro).

Antes - chuvoso	1,94	4,97	4,33
4,19	Antes - seco	3,74	3,83
3,57	9,31	Depois - chuvoso	8,03
0,00	3,04	4,70	Depois - seco

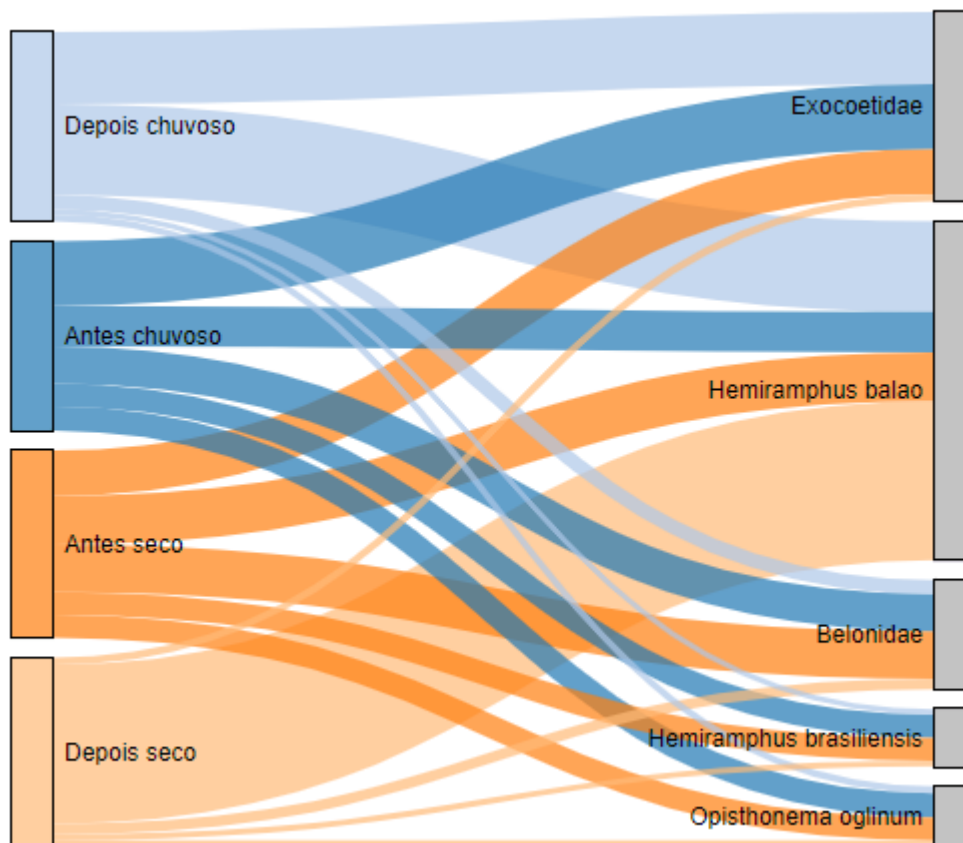
Para *S. leucogaster* observa-se sobreposição entre o período seco e chuvoso antes do rompimento que representa quase a área total do período chuvoso (Figura 23) e após o rompimento, a sobreposição do entre os períodos seco e chuvoso representa a área total da elipse de nicho isotópico do período seco. Para *P. aethereus* há uma maior sobreposição de nicho isotópico entre os períodos seco e chuvoso depois do rompimento em comparação ao período anterior ao rompimento.

Tabela 13: Valores de isótopos estáveis de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ provenientes de amostras de músculo de presas regurgitadas de *Phaethon aethereus* e *Sula leucogaster* amostradas no Arquipélago dos Abrolhos após o rompimento da barragem utilizados nos modelos de mistura Bayesianos, com indicação de tamanho amostral (n) de cada presa.

Presa	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)			$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	
	n	Média	DP	Média	DP
Belonidae	8	-18,44	0,73	9,68	1,91
Exocoetidae	4	-17,92	0,25	6,95	1,11
<i>Hemiramphus balao</i>	15	-18,21	0,57	10,3	0,71
<i>Hemiramphus brasiliensis</i>	9	-19,06	0,40	10,41	0,74
<i>Opisthonema oglinum</i>	8	-18,92	0,28	10,70	0,32
Scombridae	2	-18,10	0,34	10,04	2,66

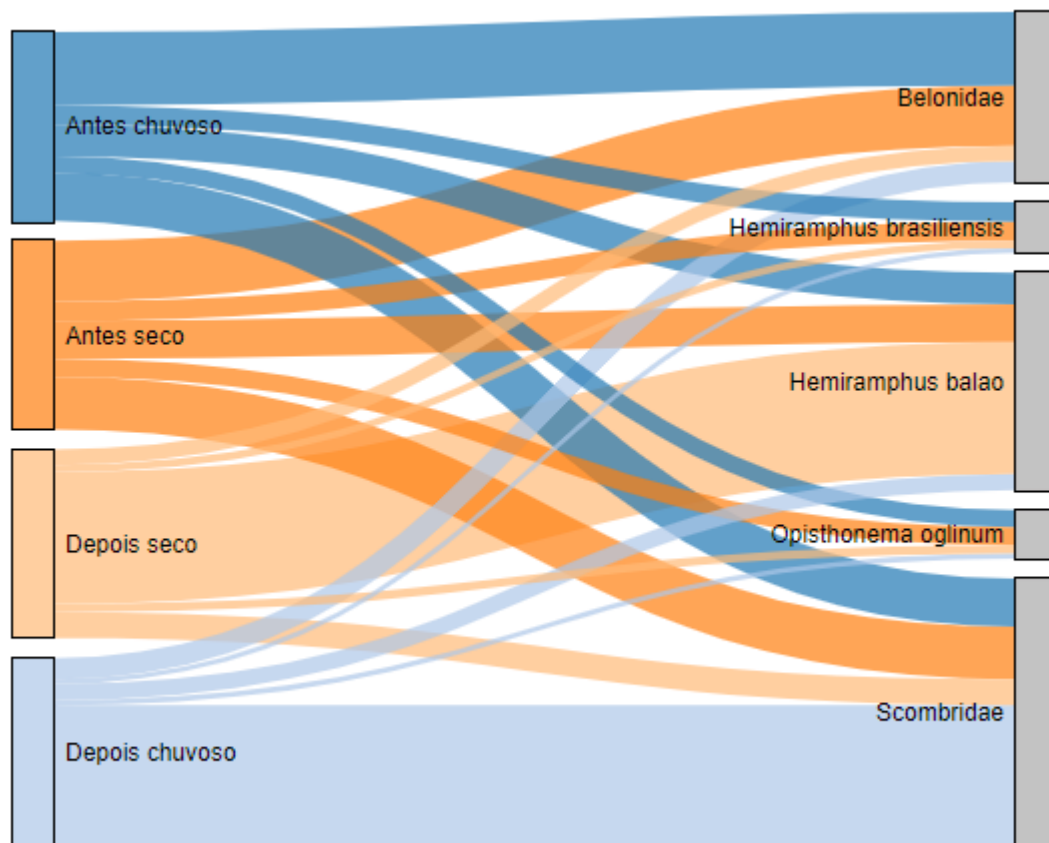
As espécies foram escolhidas com base em dados de regurgitos e em múltiplas modelagens que indicaram maiores probabilidades de contribuição dessas presas para a dieta. Todas apresentam médias similares de $\delta^{13}\text{C}$, indicando que possivelmente estão localizadas em distâncias semelhantes da costa e médias de $\delta^{15}\text{N}$ mais variáveis indicando que podem representar diferentes níveis tróficos, tamanhos corporais ou classes etárias (Carreiro et al. 2022, Romanuk, 2011). Ressalta-se que *Hemiramphus brasiliensis* e *Hemiramphus balao* pertencem à mesma família Hemiramphidae e gênero (*Hemiramphus*), mas que os valores resultantes dos modelos demonstraram segregação entre as espécies, indicando que as diferenças nas médias e desvio padrão diferem suficientemente para que sejam incluídas no modelo. DP = desvio padrão.

Figura 22: Diagrama de Sankey baseado em modelos de mistura Bayesianos de isótopos estáveis considerando dados de sangue de *Sula leucogaster* amostradas no Arquipélago dos Abrolhos no antes e depois do rompimento da barragem agrupados em período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro). A largura das faixas representa a proporção da contribuição de cada presa (direita) para a dieta de *S. leucogaster*.



Antes do rompimento nos períodos chuvoso e seco, as maiores contribuições apresentaram proporções semelhantes de Exocoetidae, *Hemiramphus balao* e Belonidae. Depois do rompimento *Hemiramphus balao* foi a presa com maior contribuição especialmente no período seco, quando representou 84% da dieta e no período chuvoso apresentou proporção semelhante a Exocoetidae. Os resultados demonstram uma maior equidade na proporção de espécies consumidas antes do rompimento da barragem em relação à depois do rompimento, considerando que dieta no período seco após o rompimento é quase totalmente baseada em uma única espécie.

Figura 23: Diagrama de Sankey baseado em modelos de mistura Bayesianos de isótopos estáveis considerando dados de sangue de *Phaethon aethereus* amostradas no Arquipélago dos Abrolhos no antes e depois do rompimento da barragem agrupados em período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro). A largura das faixas representa a proporção da contribuição de cada presa (direita) para a dieta de *P. aethereus*.



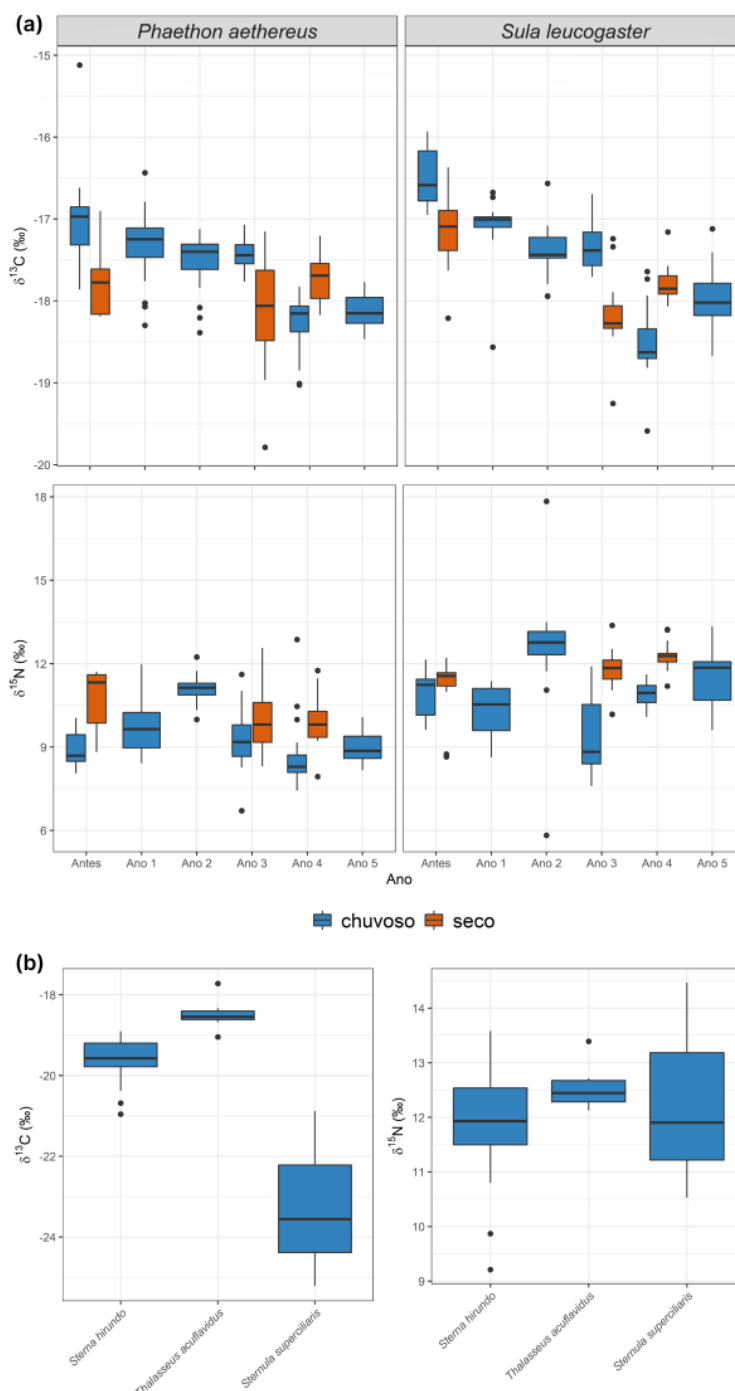
Antes do rompimento, Belonidae e Scombridae apresentam as maiores contribuições para a dieta, com proporções similares nos períodos seco e chuvoso. Após o rompimento da barragem, *Hemiramphus balao* representa 70% da dieta no período seco e Scombridae representa 75% das presas assimiladas no período chuvoso. De forma semelhante à *S. leucogaster* (Figura 23), *P. aethereus* também demonstra uma proporção de presas consumidas similar e mais equilibrada no período anterior ao rompimento da barragem em comparação ao período após o rompimento.

Tabela 14: Valores de isótopos estáveis de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ provenientes de amostras de sangue de *Phaethon aethereus* e *Sula leucogaster* do Arquipélago dos Abrolhos antes e depois do rompimento da barragem, considerando cada ano de monitoramento, e de amostras de sangue de *Sterna hirundo*, *Thalasseus acutiflavus* e *Sternula superciliaris* da Foz do Rio Doce no Ano 5. Valores separados pelos períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro). DP = desvio padrão.

Espécie/Ano	Chuvoso $\delta^{13}\text{C}$ (‰)			Seco $\delta^{13}\text{C}$ (‰)			Chuvoso $\delta^{15}\text{N}$ (‰)			Seco $\delta^{15}\text{N}$ (‰)		
	n	Média	DP	n	Média	DP	n	Média	DP	n	Média	DP
<i>Phaethon aethereus</i>												
Antes	18	-17,02	0,61	12	-17,56	0,53	18	8,88	0,63	12	10,14	1,4
Ano 1	31	-17,33	0,40	-	-	-	31	9,78	1,02	-	-	-
Ano 2	26	-17,51	0,32	-	-	-	26	11,13	0,45	-	-	-
Ano 3	20	-17,43	0,18	41	-18,06	0,55	20	9,35	1,11	41	9,87	1,04
Ano 4	20	-18,28	0,35	17	-17,71	0,31	20	8,69	1,21	17	9,95	0,93
Ano 5	20	-18,13	0,21	-	-	-	20	8,99	0,55	-	-	-
<i>Sula leucogaster</i>												
Antes	16	-16,50	0,34	15	-17,13	0,48	16	10,84	0,81	15	11,16	1,05
Ano 1	13	-17,11	0,46	-	-	-	13	10,36	0,85	-	-	-
Ano 2	21	-17,39	0,3	-	-	-	21	12,6	2,01	-	-	-
Ano 3	20	-17,34	0,28	20	-18,2	0,41	20	9,43	1,34	20	11,76	0,76
Ano 4	20	-18,5	0,44	18	-17,79	0,21	20	10,9	0,44	18	12,26	0,49
Ano 5	17	-17,96	0,37	-	-	-	17	11,54	0,95	-	-	-
<i>Sterna hirundo</i>												
Ano 5	29	-19,60	0,53	-	-	-	29	11,95	1,0	-	-	-
<i>Thalasseus acutiflavus</i>												
Ano 5	8	-18,49	0,37	-	-	-	8	12,54	0,4	-	-	-
<i>Sternula superciliaris</i>												
Ano 5	3	-23,22	2,19	-	-	-	3	12,30	2,0	-	-	-

Observa-se uma diminuição gradativa na média de $\delta^{13}\text{C}$ tanto para *S. leucogaster* como para *P. aethereus* entre antes todos os anos após o rompimento da barragem para o período chuvoso, com exceção do Ano 5, no qual há um sutil aumento. Essa diminuição pode indicar uma variação da área de forrageio em relação à distância da costa (McMahon et al. 2013). As médias de $\delta^{15}\text{N}$ não apresentaram um padrão entre antes do rompimento para nenhum dos períodos. DP = desvio padrão.

Figura 24: Variação de valores de isótopos estáveis de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ provenientes de (a) amostras de sangue de *Phaethon aethereus* e *Sula leucogaster* no Arquipélago dos Abrolhos antes e nos anos de monitoramento após o rompimento da barragem, considerando cada ano de monitoramento, e (b) amostras de sangue de *Sterna hirundo*, *Thalasseus acutiflavus* e *Sternula superciliaris* da Foz do Rio Doce no Ano 5. Valores separados pelos períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro).



Observa-se uma diminuição dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ tanto para *S. leucogaster* como para *P. aethereus* entre antes os anos depois do rompimento da barragem para o período chuvoso, sendo mais acentuada em *S. leucogaster* do que em *P. aethereus* sendo observado um sutil aumento para ambas as espécies no Ano 5. Para ambas as espécies no período seco observa-se uma diminuição dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ no Ano 3 seguido por um aumento no Ano 4. Essas variações podem indicar diferenças nas áreas de

forrageio exploradas em relação à distância da costa entre o período anterior ao rompimento e os anos seguintes (Cherel & Hobson, 2007, McMahon et al. 2013). Além disso, os valores $\delta^{13}\text{C}$ tendem a ser menores no período seco do que no período chuvoso em todos os anos, exceto para o Ano 4 em ambas as espécies. Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ não aparentam seguir um padrão de variação, embora exista a tendência de ser mais altos durante o período seco para ambas as espécies e de que no Ano 2 foi observado os maiores valores para ambas as espécies indicando padrões variáveis de consumo de espécies ou níveis tróficos (Hobson & Clark, 1992). Entre as espécies da Foz do Rio Doce, *S. superciliaris* apresenta menores valores de $\delta^{13}\text{C}$ em relação às demais espécies, enquanto os valores de $\delta^{15}\text{N}$ são similares entre as espécies.

Tabela 15: Valores de p do teste de hipóteses (Kruskall-Wallis) e dos testes pareados *post-hoc* (Teste U de Mann-Whitney) para valores de isótopos estáveis de $\delta^{13}\text{C}$ (esquerda) e $\delta^{15}\text{N}$ (direita) provenientes de amostras de sangue de *Sula leucogaster* e *Phaethon aethereus* no Arquipélago dos Abrolhos antes do rompimento da barragem e ao longo dos anos de monitoramento, considerando períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro).

<i>Sula leucogaster</i> (Kruskall-Wallis: $\delta^{13}\text{C}$ $p<0,01$; $\delta^{15}\text{N}$ $p<0,01$)								
Antes chuvoso	<0,01	0,12	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
<0,01	Antes seco	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	0,01	<0,01	0,17
<0,01	0,57	Ano 1 chuvoso	<0,01	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<0,01	0,04	<0,01	Ano 2 chuvoso	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	<0,01
<0,01	0,07	<0,01	0,69	Ano 3 chuvoso	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	Ano 3 seco	<0,01	0,02	<0,01
<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	Ano 4 chuvoso	<0,01	0,02
<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	Ano 4 seco	<0,01
<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,03	Ano 5 chuvoso
<i>Phaethon aethereus</i> (Kruskall-Wallis: $\delta^{13}\text{C}$ $p<0,01$; $\delta^{15}\text{N}$ $p<0,01$)								
Antes chuvoso	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<0,01	Antes seco	0,03	0,88	<0,01	0,03	<0,01	0,09	<0,01
<0,01	<0,01	Ano 1 chuvoso	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,36	<0,01
<0,01	0,03	0,02	Ano 2 chuvoso	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	Ano 3 chuvoso	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<0,01	0,13	<0,01	<0,01	<0,01	Ano 3 seco	<0,01	0,71	<0,01
<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	Ano 4 chuvoso	<0,01	<0,01
<0,01	0,39	<0,01	0,04	<0,01	0,02	<0,01	Ano 4 seco	<0,01
<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	Ano 5 chuvoso

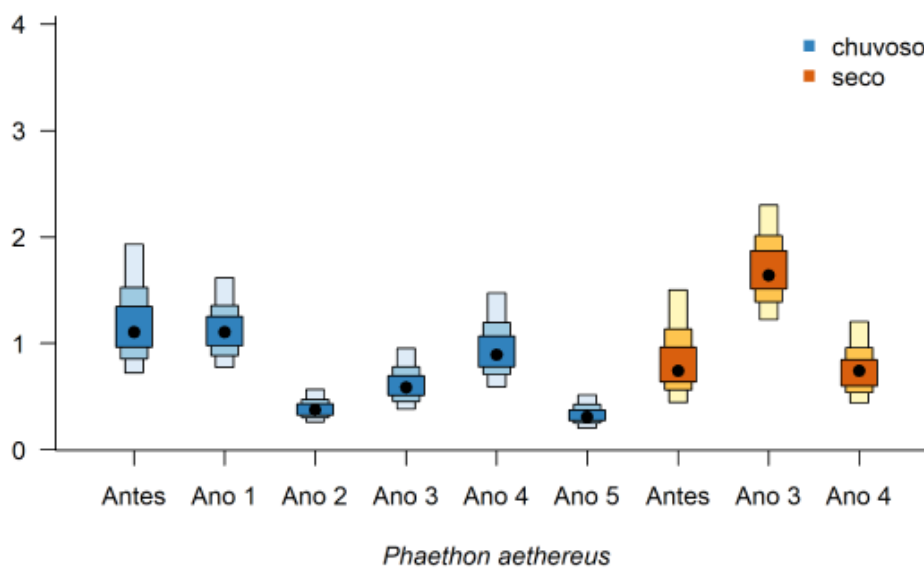
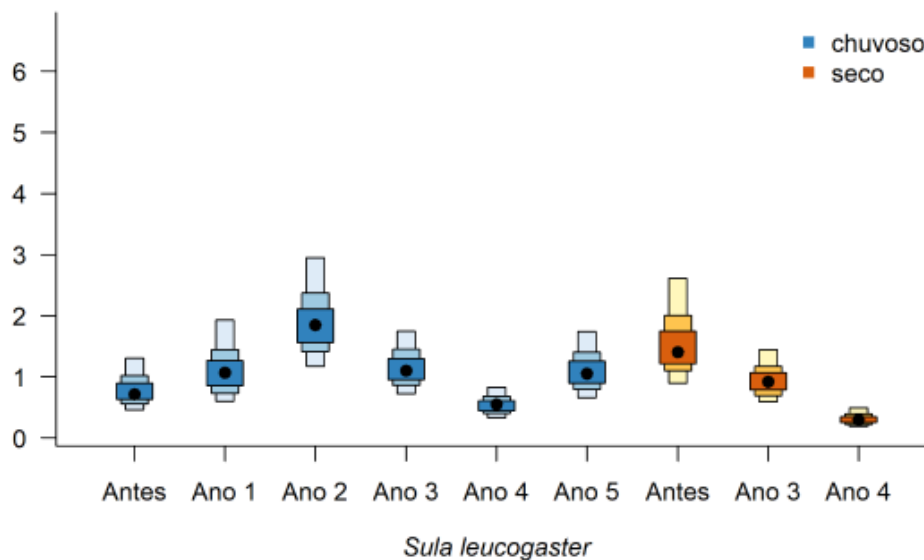
Para *S. leucogaster* as diferenças dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ foram significativas entre antes do rompimento da barragem e os anos de monitoramento, considerando os períodos chuvoso e seco (qui-quadrado = 117,34, $p < 0,01$), assim como para valores de $\delta^{15}\text{N}$ (qui-quadrado = 89,41, $p < 0,01$). Os resultados dos testes pareados demonstraram diferenças significativas entre todos os períodos para $\delta^{13}\text{C}$, exceto entre o período seco pré-rompimento e o período chuvoso dos Anos 1, 2 e 3, entre os períodos chuvosos dos Anos 2 e 3 e entre o período seco do Ano 4 e o chuvoso do Ano 5. Para $\delta^{15}\text{N}$, houve menos diferenças significativas entre os períodos em comparação ao carbono, sendo os períodos chuvosos do Ano 2, 3 e 4 os que apresentaram um maior número de diferenças significativas em relação aos demais anos e períodos. Para *P. aethereus* as diferenças dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ foram significativas entre antes do rompimento da barragem e os anos de monitoramento, considerando os períodos chuvoso e seco (qui-quadrado = 104,07, $p < 0,01$) assim como para valores de $\delta^{15}\text{N}$ (qui-quadrado = 86,82, $p < 0,01$). Os testes pareados foram significativos para $\delta^{13}\text{C}$, exceto entre o período seco anterior ao rompimento e o período chuvoso do Ano 2 e o seco dos Anos 3 e 4, entre o período chuvoso do Ano 2 e o seco do Ano 4 e entre os períodos secos dos anos 3 e 4. Para $\delta^{15}\text{N}$ foram encontrados valores significativos entre os períodos e anos exceto entre o período seco anterior ao rompimento e os períodos chuvosos dos Anos 1 e 2 e secos dos Anos 3 e 4, entre o período chuvoso do Ano um e o seco do Ano 4 e entre os períodos secos dos Anos 3 e 4. indicando algumas variações na dieta, que podem ser decorrentes de sazonalidade e variação interanual de presas, tanto na disponibilidade como nas áreas mais próximas ou mais distantes da costa nas quais são exploradas, as quais são mais evidentes em *S. leucogaster* do que em *P. aethereus*. Variações significativas entre anos em valores de $\delta^{13}\text{C}$ podem estar relacionadas à variação da distância de áreas de forrageio em relação à costa (Cherel & Hobson, 2007; Mancini et al. 2014) ou às variações na produtividade primária, que influenciam nos valores de linhas de base (*baselines*) da cadeia trófica (McMahon et al. 2013). As variações significativas de $\delta^{15}\text{N}$ estão relacionadas ao consumo de presas de diferentes níveis tróficos, espécies, classes etárias entre os períodos analisados (Romanuk et al. 2011; Nunes et al. 2018; Carreiro et al. 2022).

Tabela 16: Valores de p do teste de hipóteses (Kruskall-Wallis) para valores de isótopos estáveis de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ e dos testes pareados *post-hoc* (Teste U de Mann-Whitney) de $\delta^{13}\text{C}$ provenientes de amostras de sangue de *Sterna hirundo*, *Thalasseus acutiflavus* e *Sternula superciliaris* da Foz do Rio Doce após o rompimento da barragem, no período chuvoso (outubro a março) do Ano 5.

Sterninae (Kruskall-Wallis: $\delta^{13}\text{C}$ $p<0,01$; $\delta^{15}\text{N}$ $p=0.19$)			
<i>Sterna hirundo</i>			
<0,01	<i>Thalasseus acutiflavus</i>		
<0,01	0,01	<i>Sternula superciliaris</i>	

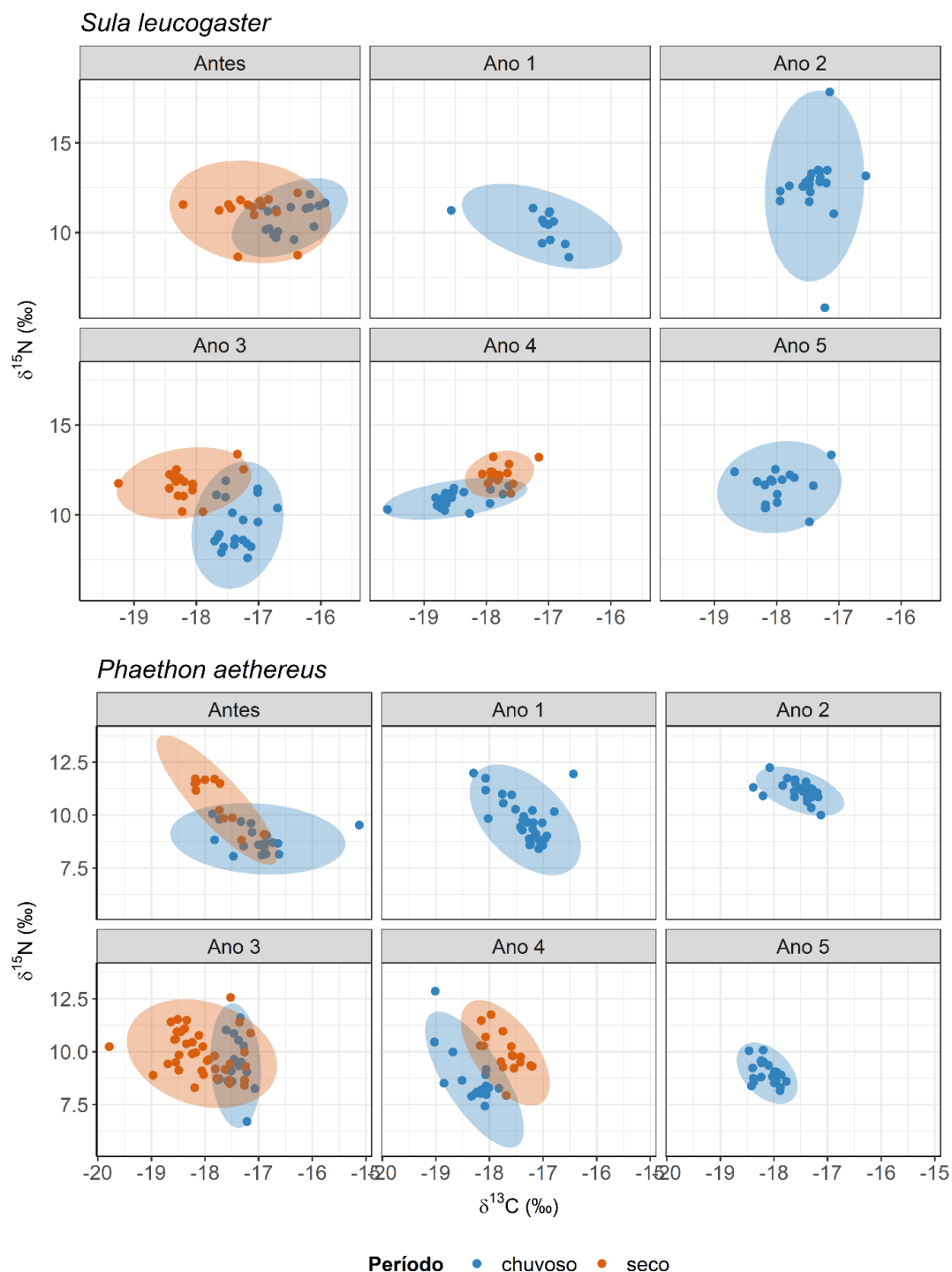
Foram identificadas diferenças significativas dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre as espécies (qui-quadrado = 22,53, $p<0,01$). Para $\delta^{15}\text{N}$, as diferenças não foram significativas (qui-quadrado = 3,34, $p=0.19$) entre as espécies.

Figura 25: Áreas das elipses Bayesianas representando amplitude de nicho isotópico a partir de isótopos estáveis de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ medidos em *Sula leucogaster* e *Phaethon aethereus* e amostrados no Arquipélago dos Abrolhos entre os períodos secos e chuvoso antes e nos anos de monitoramento após do rompimento da barragem. As cores, da mais clara para a mais escura representam 50, 75 e 95% dos dados e são representadas em ‰^2 .



No período chuvoso, *S. leucogaster* apresenta um gradual aumento de área de nicho isotópico até o Ano 2, e após, uma gradual diminuição até o Ano 5, que apresentou um sutil aumento. Nesse mesmo período, *P. aethereus* apresentou um padrão oposto. No período seco, *S. leucogaster* apresenta uma gradual diminuição na área, enquanto *P. aethereus* apresentou um aumento no Ano 3, seguida de uma diminuição na área no Ano 4.

Figura 26: Elipses Bayesianas estimadas a partir de isótopos estáveis de $\delta^{13}\text{C}$ e nitrogênio $\delta^{15}\text{N}$ medidos no sangue de *Phaethon aethereus* e *Sula leucogaster* amostrados no Arquipélago dos Abrolhos. As análises consideraram períodos secos e chuvoso nos períodos antes e nos anos de monitoramento após o rompimento da barragem. As elipses contemplam 95% dos dados.



Para *S. leucogaster* no período chuvoso observa-se um gradual aumento no nicho isotópico de Antes do rompimento até o Ano 2, seguido de uma gradual diminuição até o Ano 4 e um aumento no Ano 5. Esse padrão é observado de forma oposta em *P. aethereus*. Nichos isotópico maiores estão relacionados ao consumo de presas de diferentes espécies, níveis tróficos, tamanho corporal ou

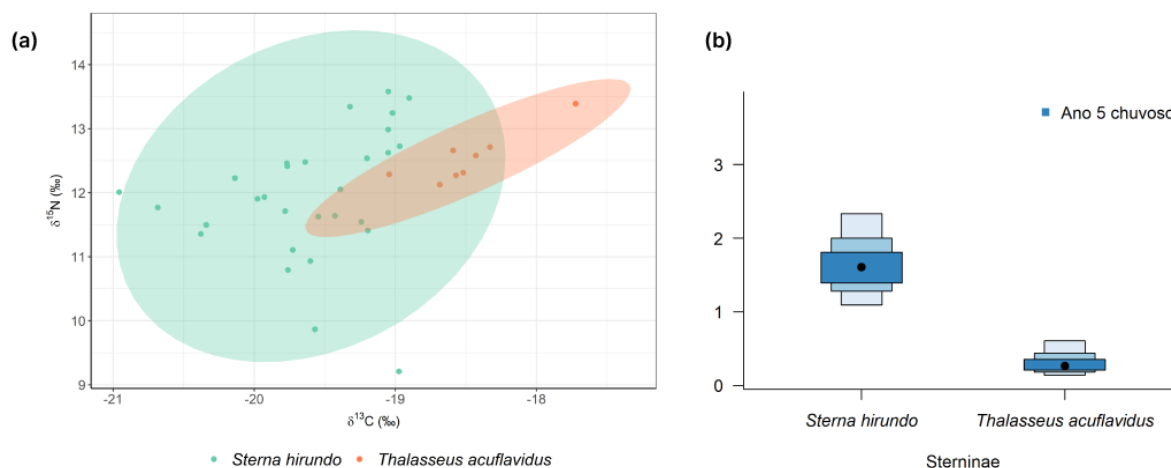
classes etárias, da mesma forma que nichos isotópicos menores estão relacionadas à uma dieta mais especialista ou restrita (Romanuk et al. 2011; Mancini & Bugoni, 2014; Nunes et al. 2018; Carreiro et al. 2022). Esses resultados indicam que a dieta de ambas as espécies é influenciada por variações interanuais das presas disponíveis em suas áreas de forrageio. Em relação à sobreposição de elipses, observa-se uma diminuição na sobreposição entre os períodos seco e chuvoso pré-rompimento e entre os Anos 3 e 4 para *S. leucogaster*, sugerindo que existem variações nas presas consumidas entre os períodos. Para *P. aethereus* há uma sobreposição entre ambos os períodos antes do rompimento e o Ano 3, e uma diminuição na sobreposição no Ano 4. Dessa forma também se evidencia possíveis variações sazonais na dieta, especialmente para *S. leucogaster*. Na Tabela 16 observa-se a área de sobreposição entre as elipses.

Tabela 17: Área de sobreposição de elipses *Sula leucogaster* (abaixo) e *Phaethon aethereus* (acima) antes e ao longo dos anos de monitoramento após o rompimento da barragem, separados entre os períodos chuvoso e seco.

Antes chuvoso	1,94	4,46	0,32	2,49	4,31	1,59	2,76	1,64
4,19	Antes seco	4,47	1,46	2,10	3,88	0,06	3,36	0,10
2,97	6,33	Ano 1 chuvoso	2,36	3,28	5,26	0,58	4,11	0,66
1,61	6,61	4,45	Ano 2 chuvoso	1,23	2,07	0,00	1,40	0,00
1,82	4,50	4,16	5,00	Ano 3 chuvoso	3,34	0,52	2,74	0,37
0,00	3,03	1,99	2,74	1,15	Ano 3 seco	4,20	4,64	2,10
0,00	1,28	1,16	0,97	0,51	2,72	Ano 4 chuvoso	0,89	1,94
0,00	1,97	1,13	1,78	0,51	1,99	0,66	Ano 4 seco	0,87
0,22	4,36	2,97	4,26	2,32	5,10	2,34	1,99	Ano 5 chuvoso

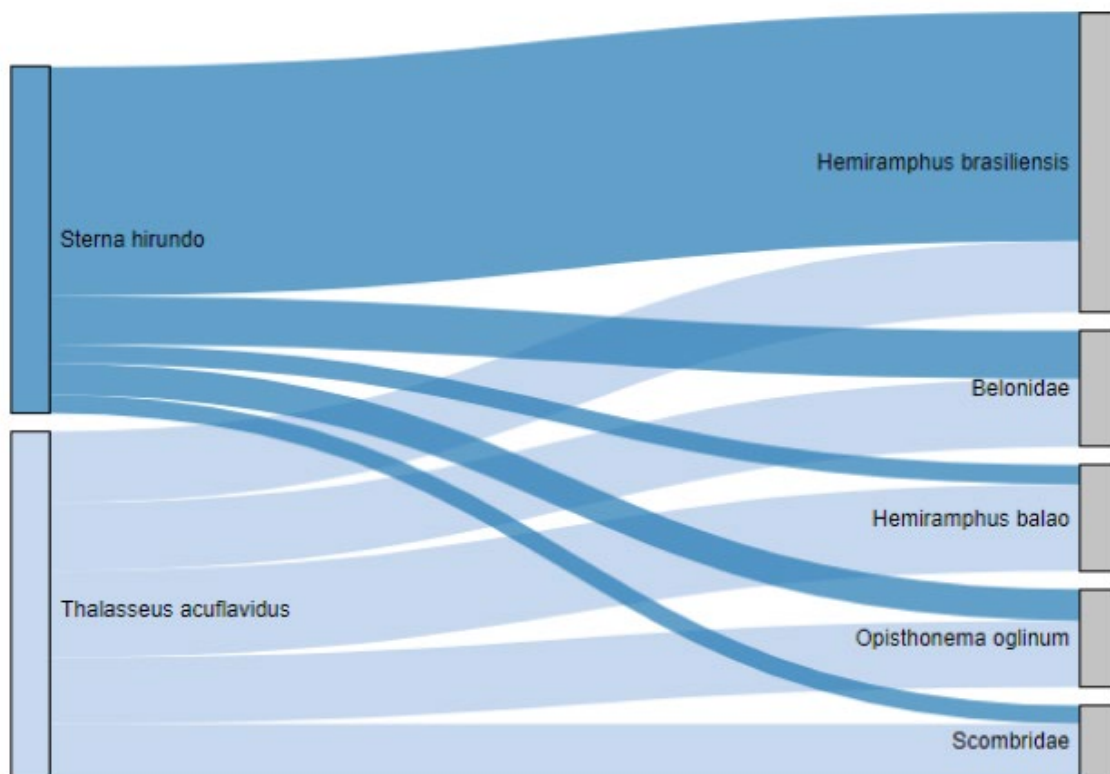
Para *S. leucogaster* não há sobreposição entre o período chuvoso anterior ao rompimento e os Anos 3 – seco e Ano 4 – chuvoso e seco. Para *P. aethereus* não há sobreposição entre o período chuvoso do Ano 2 e os períodos chuvosos do Ano 4 e 5, indicando segregação total da dieta entre estes períodos.

Figura 27: (a) Elipses Bayesianas estimadas a partir de isótopos estáveis de $\delta^{13}\text{C}$ e nitrogênio $\delta^{15}\text{N}$ medidos no sangue de *Sterna hirundo* e *Thalasseus acutiflavus* amostrados na Foz do Rio Doce no período chuvoso do Ano 5. As elipses contemplam 95% dos dados. (b) Áreas das elipses Bayesianas representando amplitude de nicho isotópico a partir de isótopos estáveis de medidos no sangue de *Sterna hirundo* e *Thalasseus acutiflavus* amostrados na Foz do Rio Doce no período chuvoso do Ano 5. As cores, da mais clara para a mais escura representam 50, 75 e 95% dos dados e são representadas em ‰^2 .



S. hirundo apresenta maior amplitude de nicho isotópico, indicando um consumo de uma maior variedade de presas de diferentes espécies, níveis tróficos, tamanhos corporais e/ou classes etárias distintas, enquanto *T. acutiflavus* apresenta uma área consideravelmente menor do que *S. hirundo*, indicando uma dieta mais especialista ou restrita (Romanuk et al. 2011; Mancini & Bugoni, 2014; Nunes et al. 2018; Carreiro et al. 2022). A sobreposição de elipses indica que a dieta de *T. acutiflavus* se sobrepõe em grande medida à dieta de *S. hirundo* considerando que a área de elipse de *T. acutiflavus* é 1.60 e sua sobreposição é de 1.0.

Figura 28: Diagrama de Sankey baseado em modelos de mistura Bayesianos de isótopos estáveis considerando dados de sangue de *Sterna hirundo* e *Thalasseus acutiflavus* amostrados na Foz do Rio Doce depois do rompimento da barragem, no período chuvoso (outubro a março) do Ano 5. A largura das faixas representa a proporção da contribuição de cada presa (direita) para a dieta das aves.



Para *S. hirundo*, *Hemiramphus brasiliensis* representa a maior proporção de presas consumidas, seguida da família *Belonidae*. Para *T. acutiflavus* a dieta apresenta proporções de contribuição similares entre as espécies de presa para a dieta. Entretanto, ressalta-se que os dados isotópicos das presas são referentes às espécies encontradas em regurgitos de *S. leucogaster* e *P. aethereus* no Arquipélago dos Abrolhos. Não havendo dados de regurgitos de Sterninae na Foz do Rio Doce até a presente data, foram utilizados os dados das presas do Arquipélago dos Abrolhos. Dessa forma, é possível que essas espécies possam consumir outras espécies presentes na Foz do Rio Doce e que estas representem maiores proporções para a dieta do que as presas utilizadas nos modelos de mistura.

Tabela 18: Presas presentes em material regurgitado de *Phaethon aethereus* no período pré rompimento da barragem. %N= abundância numérica; %FO= frequência de ocorrência. Dados extraídos de Nascimento & Azevedo-Júnior (2005).

Presa	%N	%FO
BELONIDAE	5,71	13,33
<i>Strongylura marina</i>	6,67	16,67
CARANGIDAE	8,57	20
<i>Caranx crysos</i>	3,33	8,33
<i>Decapterus macarellus</i>	3,33	8,33
<i>Decapterus punctatus</i>	3,33	8,33
EXOCOETIDAE	8,57	20
<i>Cheilopogon cyanopterus</i>	10	25
HAEMULIDAE	2,86	6,67
<i>Haemulon aurolineatum</i>	3,33	8,33
HEMIRAMPHIDAE	2,86	6,67
<i>Hemiramphus brasiliensis</i>	3,33	8,33
LOLIGINIDAE	11,43	13,33
<i>Loligo sp.</i>	13,33	16,67
PRISTIGASTERIDAE	2,86	6,67
<i>Pellona harroweri</i>	3,33	8,33
SCIAENIDAE	48,57	53,33
<i>Cynoscion sp.</i>	3,33	8,33
<i>Stellifer brasiliensis</i>	46,67	41,67
SCOMBRIDAE	8,57	20

No total foram identificadas 35 itens, 11 espécies e 9 famílias, representadas por peixes e lulas. Em nível de espécie, a porcentagem numérica indica *Stellifer brasiliensis* (%N = 46,67), *Loligo sp.* (%N = 13,33) e *Cheilopogon cyanopterus* (%N = 10,00) como as três presas mais consumidas. As principais famílias foram Sciaenidae (%N = 48,57), Loliginidae (%N = 11,43) e Exocoetidae (%N = 8,57). De acordo com a frequência de ocorrência, os itens mais encontrados foram *S. brasiliensis* (%FO = 41,67), *C. cyanopterus* (%FO = 25,00) e *Loligo sp.* (%FO = 16,67). E as principais famílias presentes nos regurgitos foram Sciaenidae (%FO = 53,33), Carangidae (%FO = 20,00), Exocoetidae (%FO = 20,00), e Scombridae (%FO = 20,00). Os dados não permitiram o cálculo de um índice de importância das presas.

Tabela 19: Presas presentes em material regurgitado (n = 27 regurgitos) de *Phaethon aethereus* no período pós-rompimento da barragem (agosto/2021, março/2022, setembro/2022 e março/2023). Análises foram feitas por família e por espécie. Portanto, a soma da importância das famílias é de 100%, e o mesmo vale para a soma da importância das espécies. %FO = frequência de ocorrência; %PN = abundância presa-específica; %PM = massa presa-específica; %PSIRI = índice de importância relativa presa-específica.

Presa	%FO	%PN	%PW	%PSIRI
APOGONIDAE	2,17	33,33	10,97	0,48
<i>Apogon pseudomaculatus</i>	2,78	50	15,96	0,92
BELONIDAE	15,22	69,05	61,34	9,92
<i>Ablennes hians</i>	5,56	100	100	5,56
CARANGIDAE	4,35	100	100	4,35
<i>Decapterus tabl</i>	2,78	100	100	2,78
<i>Decapterus sp.</i>	2,78	100	100	2,78
CEPHALOPODA	13,04	57,64	28,54	5,62
Lula	16,67	57,64	28,36	7,17
CLUPEIDAE	17,39	82,44	87,1	14,74
<i>Sardinella brasiliensis</i>	19,44	79,93	86,07	16,14
EXOCOETIDAE	19,57	68,06	82,33	14,72
<i>Cheilopogon melanurus</i>	5,56	31,25	72,45	2,88
<i>Cheilopogon sp.</i>	5,56	50	85,4	3,76
<i>Hirundichtys affinis</i>	2,78	100	100	2,78
<i>Exocoetus volitans</i>	2,78	50	20,79	0,98
HEMIRAMPHIDAE	41,3	91,17	93,64	38,16
<i>Euleptorhamphus velox</i>	2,78	75	97,94	2,4
<i>Hemiramphus balao</i>	41,67	90,48	91,8	37,98
<i>Hemiramphus brasiliensis</i>	2,78	100	100	2,78
<i>Hemiramphus sp.</i>	2,78	100	100	2,78
SCOMBRIDAE	15,22	76,19	81,63	12,01
<i>Euthynnus alletteratus</i>	5,56	100	100	5,56

No total, foram contabilizados 52 itens presas em 27 materiais regurgitados. No período pós-rompimento, *P. aethereus* consumiu presas de, no mínimo, 11 espécies distintas, e 8 famílias/taxon, enquanto no período pré-rompimento foram consumidas presas de, no mínimo, 5 espécies e 5 famílias. Portanto, houve um aumento na riqueza das presas em comparação ao período pré-rompimento. Atualmente, a dieta de *P. aethereus* no arquipélago dos Abrolhos é composta, em ordem decrescente, por Scombridae, Exocoetidae, Hemiramphidae, Exocoetidae, Belonidae, Cephalopoda, Clupeidae e Apogonidae. A dieta mais variada pode estar associada a uma necessidade de diversificação das presas consumidas, a partir de uma potencial diminuição na disponibilidade das presas preferenciais no entorno do arquipélago. No entanto, a variação também pode estar associada às diferentes metodologias e esforços empregados nos dois períodos.

Tabela 20: Presas presentes em material regurgitado de *Sula leucogaster* no período pré rompimento da barragem. %N= abundância numérica; %FO= frequência de ocorrência. Dados extraídos de Alves et al. (2004). foram contabilizadas 78 presas, pertencentes a 5 famílias. A porcentagem numérica revela que *Hemiramphus brasiliensis* (%N = 53,7), *Parexocoetus brachypterus* (%N = 15,9) como principais presas consumidas. As famílias mais representativas foram Exocoetidae (%N = 84,6) e Belonidae (%N = 14,52). Vale ressaltar que houve uma alteração taxonômica, portanto *Hemiramphus brasiliensis* pertence atualmente à família Hemiramphidae, e não mais é classificada como Exocoetidae. Quanto à frequência de ocorrência, as presas mais encontradas foram *H. brasiliensis* (%FO = 76,5), *O. oglinum* (%FO = 11,8) e *P. brachypterus* (%FO = 11,8). Os valores da frequência de ocorrência de cada família não foram apresentados no estudo. Os dados não permitiram o cálculo de um índice de importância das presas.

Presas	%N	%FO
BELONIDAE	14,52	-
<i>Ablennes hians</i>	2,4	11,8
CARANGIDAE	6,1	-
<i>Caranx</i> sp.	2,4	5,9
CLUPEIDAE	1,2	5,9
<i>Opisthonema oglinum</i>	3,7	11,8
EXOCOETIDAE	84,6	-
<i>Hemiramphus brasiliensis</i>	53,7	76,5
<i>Parexocoetus brachypterus</i>	15,9	11,8
SCOMBRIDAE	1,3	-

Foram contabilizadas 78 presas, pertencentes a 5 famílias. A porcentagem numérica revela que *Hemiramphus brasiliensis* (%N = 53,7), *Parexocoetus brachypterus* (%N = 15,9) como principais presas consumidas. As famílias mais representativas foram Exocoetidae (%N = 84,6) e Belonidae (%N = 14,52). Vale ressaltar que houve uma alteração taxonômica, portanto *Hemiramphus brasiliensis* pertence atualmente à família Hemiramphidae, e não mais é classificada como Exocoetidae. Quanto à frequência de ocorrência, as presas mais encontradas foram *H. brasiliensis* (%FO = 76,5), *O. oglinum* (%FO = 11,8) e *P. brachypterus* (%FO = 11,8). Os valores da frequência de ocorrência de cada família não foram apresentados no estudo. Os dados não permitiram o cálculo de um índice de importância das presas.

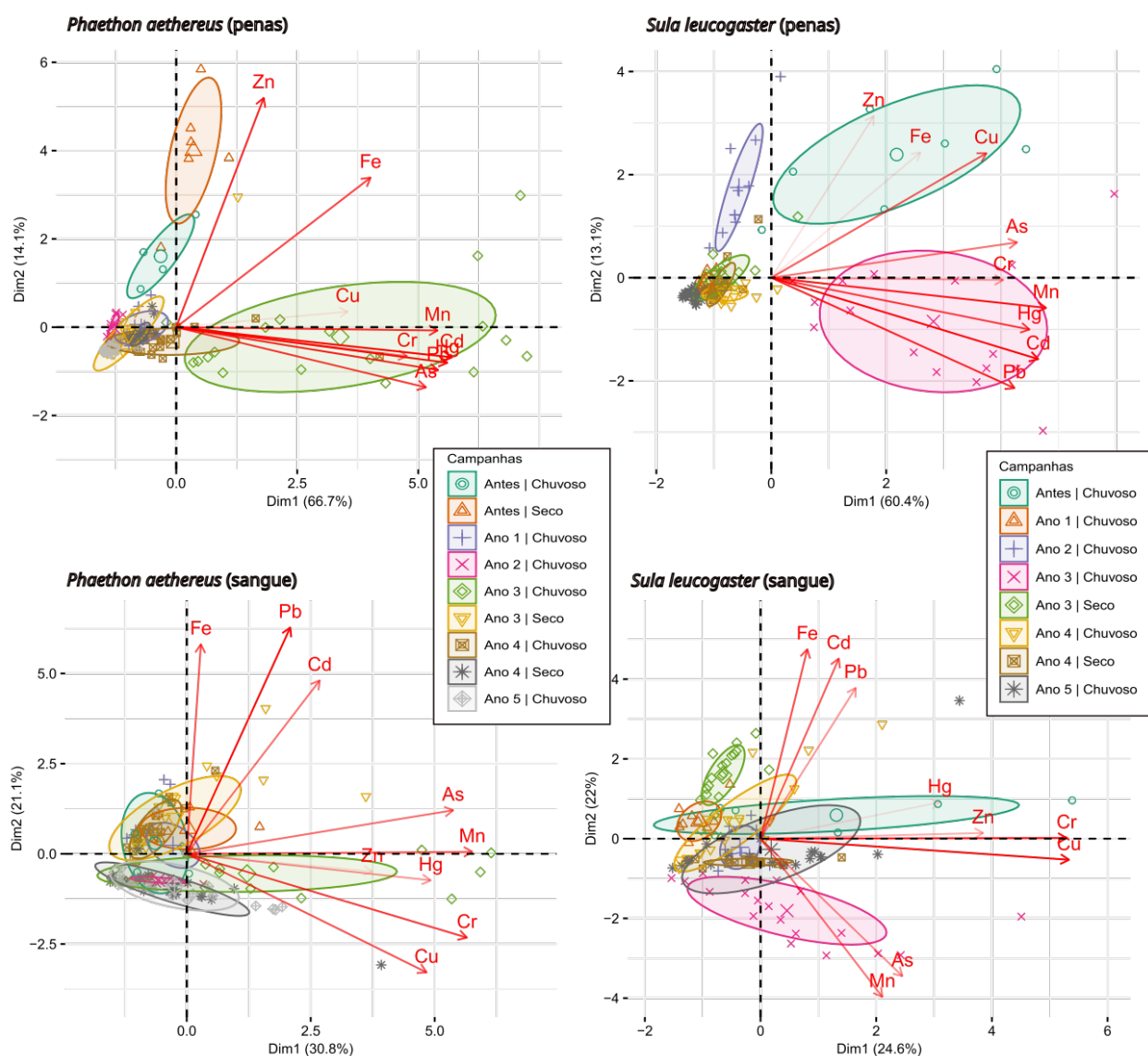
Tabela 21: Presas presentes em material regurgitado (n = 25 regurgitos) de *Sula leucogaster* no período pós-rompimento da barragem (agosto/2021, março/2022, setembro/2022 e março/2023). %FO = frequência de ocorrência; %PN = abundância presa-específica; %PM = massa presa-específica; PSIRI = índice de importância relativa presa-específica.

Presa	%FO	%PN	%PW	PSIRI
BELONIDAE	17,86	84,43	82,61	14,92
<i>Ablennes hians</i>	1,6	82,61	80,28	1,46
CARANGIDAE	3,57	100	100	3,57
CLUPEIDAE	25	69,87	77,67	18,44
<i>Opisthonema oglinum</i>	16	74,17	88,73	14,61
<i>Sardinella brasiliensis</i>	0,4	9,09	2,46	0,03
HEMIRAMPHIDAE	71,43	85,27	85,43	60,97
<i>Hemiramphus balao</i>	32	77,61	83,58	28,92
<i>Hemiramphus brasiliensis</i>	36	65,56	68,41	27,04
<i>Hemiramphus</i> sp.	24	60,9	63,91	16,79
<i>Hyporhamphus unifasciatus</i>	4	16,67	12,48	0,65
<i>Hyporhamphus</i> sp.	12	62,22	55,09	7,89
PRISTIGASTERIDAE	3,57	83,33	34,61	2,11
<i>Pellona harroweri</i>	4	83,33	32,9	2,61

Foram analisados 25 materiais regurgitados e 124 espécimes, para os quais foram identificadas, no mínimo, 7 espécies e 5 famílias de presas. A composição da dieta de *S. leucogaster* variou em relação ao período do pré-rompimento da barragem. Entretanto, *H. brasiliensis* ainda permanece sendo a principal espécie consumida. *A. hians*, *O. oglinum* e *H. brasiliensis* são espécies que continuam compondo a dieta da espécie. De modo geral, os resultados indicam que *S. leucogaster* permanece utilizando as presas no entorno do arquipélago dos Abrolhos de uma forma muito similar àquela do período pré rompimento, embora tenha aumentado a riqueza de presas consumida no período pós rompimento, também sugerindo uma necessidade de diversificação das presas consumidas, a partir de uma potencial diminuição na disponibilidade das presas preferenciais no entorno do arquipélago.

2.2 CONCENTRAÇÕES DE ELEMENTOS-TRAÇO NAS AVES MARINHAS QUE UTILIZAM A FOZ DO RIO DOCE E ADJACÊNCIAS PARA ALIMENTAÇÃO

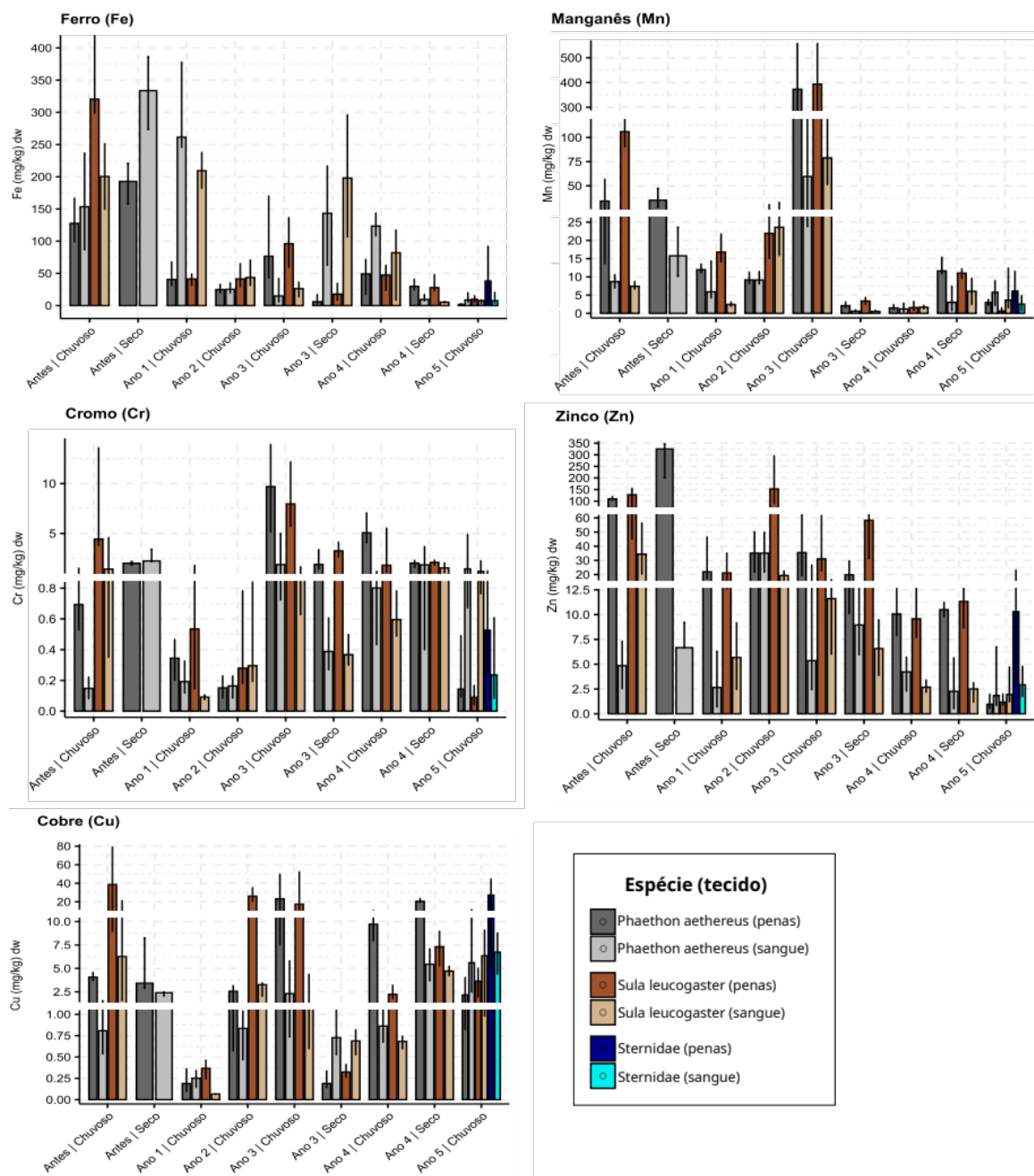
Figura 29: Análise de componentes principais (PCA) das concentrações de metais e Arsênio nas penas e sangue das espécies de aves marinhas que reproduzem no Arquipélago dos Abrolhos. Elipses compreendem 50% dos dados em cada campanha de amostragem, antes (chuvoso - Fev/2011, seco - Ago/2011) e após o rompimento da barragem do Fundão no Ano 1 (chuvoso - Fev/2019), Ano 2 (chuvoso - Fev/2020), Ano 3 (chuvoso - Fev/2021 e seco - Ago/2021), Ano 4 (chuvoso - Mar/2022 e seco - Set/2022) e Ano 5 (chuvoso - Mar/2023). Como passo pré-análise, a correlação de Pearson foi testada entre os elementos. Para *P. aethereus* (penas), As, Cd, Pb e Mn apresentaram altas correlações (>0.85) entre si e com Hg; para *S. leucogaster* (penas), apenas Cd apresentou altas correlações com Mn e Pb. Para sangue, não foram detectadas altas correlações. As variáveis foram padronizadas para análise.



A Análise de Componentes Principais revelou relações entre os elementos-traço e campanhas onde os valores foram elevados para alguns elementos. Para penas, que refletem os metais acumulados pelo organismo durante um período de 3-4 semanas (Bearhop et al. 2000), as duas espécies variaram de forma semelhante ao longo do tempo. Nas penas, elementos não-essenciais (As, Hg, Cd, Pb)

apresentaram correlação entre si e com Mn, o segundo elemento mais abundante na barragem do Fundão, sugerindo que este traçador dos rejeitos é relacionado com metais e um metalóide potencialmente tóxicos. Ferro, o elemento mais abundante nos rejeitos, variou de forma distinta, assim como Zn, sugerindo a regulação sistêmica desses elementos essenciais pelo organismo. Em particular, para penas, a campanha do Ano 3 chuvoso (Fev/2021) se distinguiu por apresentar valores elevados de As, Hg, Cd, Cr e Mn, e as campanhas do período anterior ao rompimento (fevereiro e agosto de 2011) apresentaram valores mais elevados de elementos essenciais, particularmente Zn e Fe. No sangue, que reflete a concentração de metais e As na corrente sanguínea, a relação entre os elementos foi menos correlacionada e mais distinta entre as espécies, sugerindo uma variação mais sensível a outros fatores fisiológicos (e.g. estágio reprodutivo, condição alimentar das últimas semanas). Entretanto, a campanha do Ano 3 chuvoso (Fev/2021) também se distinguiu com valores elevados de As, Mn e Cr para ambas as espécies.

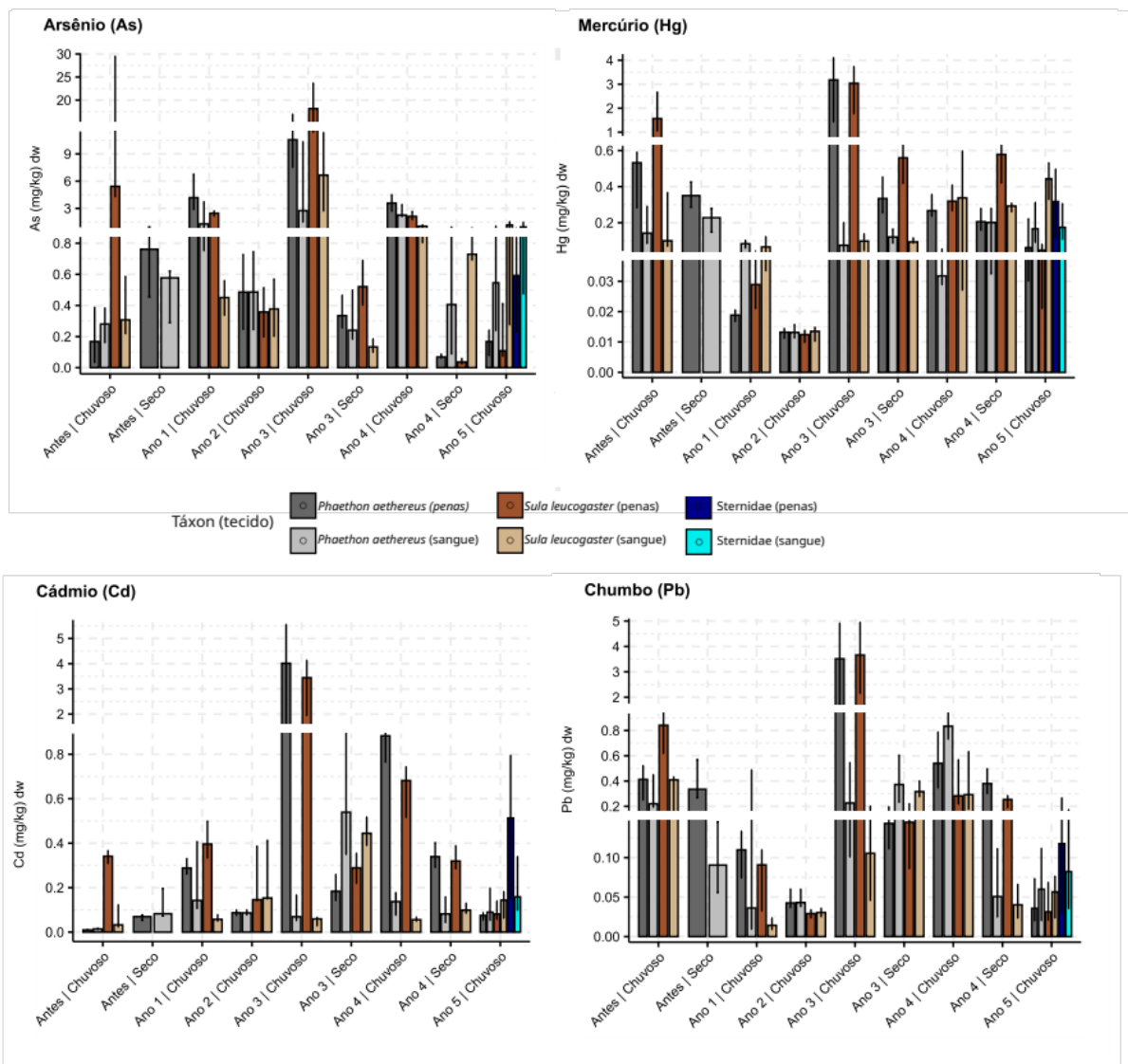
Figura 30: Variação na concentração de metais essenciais (mg/kg peso seco) no sangue e penas de trinta-réis (Família Sternidae) amostrados na foz do Rio Doce no período chuvoso do Ano 5 (chuvoso - Dez/2022), e de *Phaethon aethereus* e *Sula leucogaster* amostrados no Arquipélago dos Abrolhos no período pré-rompimento da barragem do Fundão (chuvoso - Fev/2011, seco - Ago/2011) e após o rompimento da barragem do Fundão no Ano 1 (chuvoso - Fev/2019), Ano 2 (chuvoso - Fev/2020), Ano 3 (chuvoso - Fev/2021 e seco - Ago/2021), Ano 4 (chuvoso - Mar/2022, seco - Set/2022) e Ano 5 (chuvoso - Mar/2023). Barras representam a mediana e o intervalo entre o primeiro e terceiro quartil.



Os dados de concentração de metais essenciais no sangue e penas das aves amostradas em Abrolhos mostra uma variação distinta entre os elementos. Conforme observado na PCA (Figura 28), Mn mostrou um pico nas concentrações nas penas e sangue no período chuvoso do Ano 3 (fevereiro de 2021), tal qual os elementos não essenciais. Cromo e cobre apresentaram valores elevados no período pré-

rompimento, e também um aumento nos valores a partir do período chuvoso do Ano 2 (fevereiro de 2020) e Ano 3. Zinco mostrou valores relativamente constantes ao longo do monitoramento, e Fe apresentou valores elevados no período pré-rompimento, no período chuvoso do Ano 1 e no período seco do Ano 3 (agosto de 2021). Na foz do Rio Doce no Ano 5 chuvoso (dezembro de 2022), Sternidae apresentou valores mais elevados de todos os metais essenciais nas penas, quando comparado às aves de Abrolhos durante o mesmo período (março de 2023).

Figura 31: Variação na concentração de metais e metalóide não-essenciais (mg/kg peso seco) no sangue e penas de trinta-réis (Família Sternidae) amostrados na foz do Rio Doce no período chuvoso do Ano 5 (chuvoso - Dez/2022), e de *Phaethon aethereus* e *Sula leucogaster* amostrados no Arquipélago dos Abrolhos no período pré-rompimento da barragem do Fundão (chuvoso - Fev/2011, seco - Ago/2011) e após o rompimento da barragem do Fundão no Ano 1 (chuvoso - Fev/2019), Ano 2 (chuvoso - Fev/2020), Ano 3 (chuvoso - Fev/2021 e seco - Ago/2021), Ano 4 (chuvoso - Mar/2022, seco - Set/2022) e Ano 5 (chuvoso - Mar/2023). Barras representam a mediana e o intervalo entre o primeiro e terceiro quartil, pontos representam os dados brutos.



Nas aves de Abrolhos (*P. aethereus* e *S. leucogaster*), todos os metais não-essenciais e Arsênio apresentaram concentrações maiores no período chuvoso do Ano 3 (fevereiro de 2021), e concentrações baixas no período chuvoso anterior (Ano 2, fevereiro de 2020). Para Hg, Cd e Pb, as concentrações permaneceram relativamente elevadas nas campanhas subsequentes a fevereiro de 2021 quando comparado ao período anterior a esta campanha, que apresentou valores distintamente maiores. Considerando o padrão demonstrado pelas penas e o potencial tóxico dos metais não-essenciais e Arsênio, os resultados até então sugerem um evento de contaminação aguda das aves marinhas de Abrolhos após a estação chuvosa do Ano 2, quando a vazão do Rio Doce foi elevada e gerou um aumento na concentração de metais e biomarcadores em diversos organismos (Relatório

Anual de Evolução 2021, Ecotoxicologia). As penas das aves no Ano 3 chuvoso (fevereiro de 2021), então, possivelmente refletem um aumento na biodisponibilidade de metais a partir da alta vazão do Rio Doce no ano anterior, seguido da remobilização no ambiente marinho pelo vento, ondas e correntes, mais fortes no período seco. A bioacumulação e resposta de biomarcadores no plâncton marinho, peixes e camarões observados pela Ecotoxicologia no Relatório Anual de Evolução de 2021 sugere a transferência trófica de metais não-essenciais a partir deste evento. Para o sangue das aves marinhas, outras campanhas se destacam, como o período seco do Ano 3 (agosto de 2021) para Cd e o Ano 4 chuvoso (março de 2022) para Pb. As aves da família Sternidae, amostradas na foz do Rio Doce no período chuvoso do Ano 5 (dezembro de 2022) apresentaram valores mais elevados de As, Cd, Hg e Pb nas penas em relação às aves marinhas de Abrolhos amostradas durante o mesmo período (março de 2023). Para sangue, Sternidae apresentou valores mais baixos do que *S. leucogaster* para As e Hg. A continuidade do monitoramento permitirá avaliar a permanência da tendência de Sternidae de apresentar valores mais altos de elementos-traço não essenciais que as aves de Abrolhos, em penas.

Tabela 22: Resultados das tabelas de Análise de Variância (ANOVA) para os Modelos Lineares Generalizados (GLM) construídos para explicar a variação nas concentrações de metais essenciais e não-essenciais e Arsênio nas penas de *Phaethon aethereus* e *Sula leucogaster* amostrados no Arquipélago dos Abrolhos no período pré-rompimento da barragem do Fundão (chuvoso - Fev/2011, seco - Ago/2011) e após o rompimento da barragem do Fundão no Ano 1 (chuvoso - Fev/2019), Ano 2 (chuvoso - Fev/2020), Ano 3 (chuvoso - Fev/2021 e seco - Ago/2021), Ano 4 (chuvoso - Mar/2022, seco - Set/2022) e Ano 5 (chuvoso - Mar/2023) de monitoramento. GLMs foram construídos utilizando a família de distribuição Gama com função de ligação inversa, utilizando as espécies, a campanha de amostragem e a interação entre espécie e campanha como variáveis explicativas. A partir das ANOVAs realizadas para cada modelo, foi calculada a porcentagem de deviança explicada por cada variável, e p-valores são decorrentes do teste de qui-quadrado, onde valores <0,05 estão destacados em negrito.

Ferro (Fe)	% explicada	Deviança	GL Residual	Deviança residual	p-valor
Nulo			253	407,66	
Espécie	0,42	1,71	252	405,94	0,2245
Campanha	48,59	198,10	244	207,84	<0,0001
Espécie:Campanha	2,15	8,75	237	199,10	0,3761
Manganês (Mn)	% explicada	Deviança	GL Residual	Deviança residual	p-valor
Nulo			253	1094,34	
Espécie	0,01	0,15	252	1094,18	0,5898
Campanha	88,16	964,77	244	129,42	<0,0001
Espécie:Campanha	1,51	16,51	237	112,90	0,0001
Zinco (Zn)	% explicada	Deviança	GL Residual	Deviança residual	p-valor
Nulo			253	530,84	
Espécie	0,17	0,91	252	529,93	0,3154
Campanha	67,41	357,86	244	172,07	<0,0001
Espécie:Campanha	1,87	9,91	237	162,16	0,1375
Cromo (Cr)	% explicada	Deviança	GL Residual	Deviança residual	p-valor
Nulo			248	538,60	
Espécie	0,00	0,00	247	538,60	0,9736
Campanha	61,40	330,73	239	207,88	<0,0001
Espécie:Campanha	5,37	28,93	232	178,95	<0,0001

Cobre (Cu)	% explicada	Deviância	GL Residual	Deviância residual	p-valor
Nulo			248	625,73	
Espécie	0,06	0,39	247	625,34	0,5154
Campanha	64,50	403,60	239	221,74	<0,0001
Espécie:Campanha	9,09	56,91	232	164,83	<0,0001
Arsênio (As)	% explicada	Deviância	GL Residual	Deviância residual	p-valor
Nulo			251	609,08	
Espécie	1,06	1,69	250	607,39	0,0644
Campanha	81,36	488,85	242	118,55	<0,0001
Espécie:Campanha	4,00	18,75	235	99,79	<0,0001
Cádmio (Cd)	% explicada	Deviância	GL Residual	Deviância residual	p-valor
Nulo			246	459,48	
Espécie	0,11	0,49	245	458,99	0,1971
Campanha	82,94	381,09	237	77,90	<0,0001
Espécie:Campanha	4,26	19,58	230	58,32	<0,0001
Mercurio (Hg)	% explicada	Deviância	GL Residual	Deviância residual	p-valor
Nulo			251	609,08	
Espécie	0,28	1,69	250	607,39	0,0644
Campanha	80,26	488,85	242	118,55	<0,0001
Espécie:Campanha	3,08	18,75	235	99,79	<0,0001
Chumbo (Pb)	% explicada	Deviância	GL Residual	Deviância residual	p-valor
Nulo			250	685,94	
Espécie	0,09	0,65	249	685,29	0,2758
Campanha	81,21	557,07	241	128,23	<0,0001
Espécie:Campanha	1,14	7,83	234	120,39	0,0443

As tabelas de ANOVA construídas para os GLMs destacam o alto poder de explicação da variável Campanha em relação às demais, sugerindo que o tempo é um fator preponderante influenciando as

concentrações de metais e As nas penas das aves marinhas. A campanha de amostragem explicou entre 80-88% da deviação para os elementos não-essenciais (As, Cd, Hg, Pb) e Mn, e entre 48-67% para Fe, Zn, Cu e Cr. Isso indica uma maior influência do tempo sobre as concentrações de Mn, o segundo elemento mais abundante nos rejeitos, e metais não-essenciais, o que é condizente com as correlações encontradas para esses elementos nas penas (ver Figura 1, 2 e 3). Em contrapartida, a menor explicação dos modelos referentes a Fe, Zn, Cu e Cr sugerem o efeito da regulação sistêmica desses elementos essenciais pelo organismo, sujeitos à influência de outros fatores fisiológicos, já que as penas refletem os metais presentes na circulação sanguínea durante um período de ~4 semanas. Ainda, a variável espécie e a interação entre espécie e a campanha de amostragem explicaram, individualmente, entre 0,03-10% da deviação, sugerindo um baixo poder de explicação dessas variáveis frente à campanha de amostragem.

Tabela 23: Resultados das tabelas de Análise de Variância (ANOVA) para os Modelos Lineares Generalizados (GLM) construídos para explicar a variação nas concentrações de metais essenciais e não-essenciais e Arsênio no sangue de *Phaethon aethereus* e *Sula leucogaster* amostrados no Arquipélago dos Abrolhos no período pré-rompimento da barragem do Fundão (chuvoso - Fev/2011, seco - Ago/2011) e após o rompimento da barragem do Fundão no Ano 1 (chuvoso - Fev/2019), Ano 2 (chuvoso - Fev/2020), Ano 3 (chuvoso - Fev/2021 e seco - Ago/2021), Ano 4 (chuvoso - Mar/2022, seco - Set/2022) e Ano 5 (chuvoso - Mar/2023) de monitoramento. GLMs foram construídos utilizando a família de distribuição Gama com função de ligação identidade, utilizando Espécie, a Campanha de amostragem e a interação entre espécie e campanha como variáveis explicativas. A partir das ANOVAs realizadas para cada modelo, foi calculada a porcentagem de deviança explicada por cada variável, e p-valores são decorrentes do teste de qui-quadrado, marcados em negrito quando <0,05.

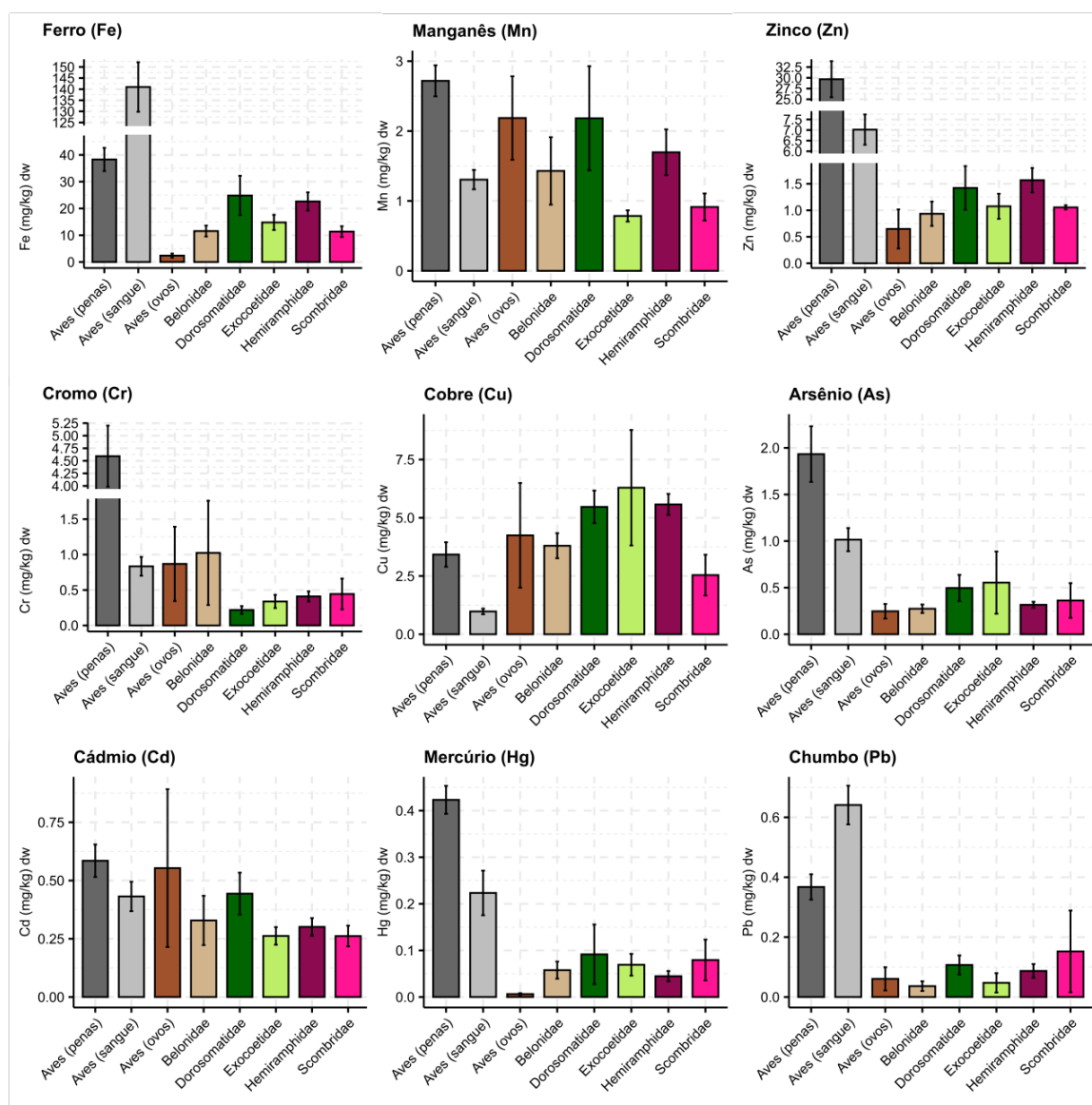
Ferro (Fe)	% explicada	Deviança	GL Residual	Deviança residual	p-valor
Nulo			252	508,75	
Espécie	0,40	2,02	251	506,73	0,1591
Campanha	58,93	299,79	243	206,95	<0,0001
Espécie:Campanha	1,51	7,67	236	199,28	0,3741
Magnésio (Mn)	% explicada	Deviança	GL Residual	Deviança residual	p-valor
Nulo			252	773,95	
Espécie	0,18	1,42	251	772,53	0,2551
Campanha	67,19	520,03	243	252,50	<0,0001
Espécie:Campanha	2,00	15,45	236	237,06	0,0492
Zinco (Zn)	% explicada	Deviança	GL Residual	Deviança residual	p-valor
Nulo			251	419,57	
Espécie	0,18	0,76	250	418,81	0,4189
Campanha	27,27	114,41	242	304,40	<0,0001
Espécie:Campanha	4,93	20,69	235	283,71	0,0131
Cromo (Cr)	% explicada	Deviança	GL Residual	Deviança residual	p-valor
Nulo			251	402,89	
Espécie	5,04	20,30	250	382,59	0,0001
Campanha	25,69	103,51	242	279,08	<0,0001

Espécie:Campanha	9,90	39,89	235	239,19	0,0001
Cobre (Cu)	% explicada	Deviância	GL Residual	Deviância residual	p-valor
Nulo			235	488,28	
Espécie	0,70	3,42	234	484,86	0,1446
Campanha	41,44	202,32	226	282,54	<0,0001
Espécie:Campanha	3,76	18,38	219	264,16	0,1207
Arsênio (As)	% explicada	Deviância	GL Residual	Deviância residual	p-valor
Nulo			252	605,68	
Espécie	0,29	1,78	251	603,90	0,1535
Campanha	61,10	370,06	243	233,84	<0,0001
Espécie:Campanha	5,45	33,01	236	200,83	<0,0001
Cádmio (Cd)	% explicada	Deviância	GL Residual	Deviância residual	p-valor
Nulo			245	338,63	
Espécie	2,99	10,13	244	328,50	0,0005
Campanha	43,46	147,18	236	181,32	<0,0001
Espécie:Campanha	7,75	26,23	229	155,09	0,0001
Mercúrio (Hg)	% explicada	Deviância	GL Residual	Deviância residual	p-valor
Nulo			248	380,68	
Espécie	3,57	13,61	247	367,07	0,0001
Campanha	24,97	95,05	239	272,02	<0,0001
Espécie:Campanha	16,90	64,32	232	207,70	<0,0001
Chumbo (Pb)	% explicada	Deviância	GL Residual	Deviância residual	p-valor
Nulo			242	490,60	
Espécie	5,40	26,48	241	464,12	0,0001

Campanha	30,44	149,34	233	314,78	<0,0001
Espécie:Campanha	12,07	59,21	226	255,57	<0,0001

Para as tabelas de ANOVA baseadas nos GLMs conduzidos com as concentrações de metais e Arsênio no sangue das aves marinhas de Abrolhos, evidenciou-se uma menor explicação dos modelos em relação à análise das penas. A variável Campanha explicou entre 40-67% da variação em Mn, Fe, Cu, As e Cd, e entre 25-33% para Pb, Hg, Zn e Cr. A interação entre Espécie e Campanha teve uma explicação entre 5-18% para Cr, As, Hg, Pb e Cd, sugerindo uma variação entre as espécies nas concentrações desses elementos no sangue ao longo do período de monitoramento. Os padrões distintos observados entre sangue e penas se devem às informações distintas que esses tecidos incorporam. O sangue reflete a concentração de metais e As na circulação sanguínea, o que está relacionado com a ingestão recente e com a remobilização desses elementos nos órgãos internos do indivíduo por diferentes razões fisiológicas, sendo sensível à dieta recente do indivíduo, ao jejum, e aos níveis de metais em outros órgãos internos (Schreiber e Burger 2001). Já as penas possuem alta afinidade com metais e os “removem” da circulação sanguínea durante o período de síntese (~4 semanas), ou seja, os metais são de fato incorporados nas penas ao longo desse período, o que reflete um padrão de variação mais definido nesse tecido em relação aos metais medidos no sangue. Por essa razão, as penas são mais comumente utilizadas como bioindicadoras de contaminação ambiental, apesar da relativa inespecificidade temporal deste tecido (entre 2-12 meses antes da amostragem) (Schreiber e Burger 2001). Nossos resultados corroboram com o uso das penas como um indicador mais preciso dos impactos dos rejeitos em aves, ao passo que sugerem que os valores no sangue podem ser mais apropriados para investigar questões fisiológicas mais pontuais.

Figura 32: Concentrações (mg/kg peso seco) de metais e Arsênio no sangue, penas e cascas de ovos de aves marinhas (*Phaethon aethereus* e *Sula leucogaster*) e no tecido muscular de peixes das famílias Belonidae, Dorosomatidae, Exocoetidae, Hemiramphidae e Scombridae, coletados no período seco do Ano 3 (agosto de 2021) e no período chuvoso do Ano 4 (março de 2023) no Arquipélago dos Abrolhos. Peixes foram coletados através dos regurgitados espontâneos das aves marinhas. Amostras de cascas de ovos e material regurgitado coletadas no arquipélago dos Abrolhos em março de 2023 (Ano 5, período chuvoso), aguardam os reparos dos equipamentos danificados durante o ciclone na região sul em junho de 2023 para conclusão das análises. Todos os resultados serão apresentados no RA2023. Barras representam a média \pm erro padrão.



As concentrações de Fe, Zn, As, Hg e Pb foram mais elevadas nas penas e no sangue das aves marinhas em relação ao músculo de suas presas e em relação aos seus ovos amostrados durante o mesmo período (Ano 3 seco, Ano 4 chuvoso). Para Mn, Cr, Cu e Cd, no entanto, os valores das presas foram semelhantes ao observado no sangue das aves marinhas, ou inclusive mais elevados, como no caso do Cobre. Para estes mesmos elementos, os valores observados nas cascas dos ovos estiveram entre os valores do sangue e das penas, ou mais elevados, como no caso de Cu e Cd. Os resultados sugerem baixa mobilização de Hg, As e Pb para os ovos. Ainda, os valores mais elevados nas penas

e sangue das aves em relação ao As, Hg e Pb nas presas pode sugerir biomagnificação desses elementos e bioconcentração dos mesmos nas penas, devido aos altos valores observados nesse tecido. A continuidade da amostragem prevê um maior número amostral para os táxons de presas e de cascas de ovos, e uma ampliação temporal da comparação.

Tabela 24: Variação na concentração de metais essenciais (mg/kg peso seco) no sangue e penas de trinta-réis (Família Sternidae) amostrados na foz do Rio Doce no período chuvoso do Ano 5 (chuvoso – dezembro de 2022), e de *Phaethon aethereus* e *Sula leucogaster* amostrados no Arquipélago dos Abrolhos no período pré-rompimento da barragem do Fundão (chuvoso – fevereiro e seco – agosto de 2011) e no período pós-rompimento no Ano 1 (chuvoso - fevereiro de 2019), Ano 2 (chuvoso – fevereiro de 2020), Ano 3 (chuvoso – fevereiro e seco – agosto de 2021), Ano 4 (chuvoso – março e seco – setembro de 2022), Ano 5 (chuvoso – março de 2023).

Metais essenciais											
Espécie/Ano/N	Período	Mn		Cu		Cr		Fe		Zn	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Phaethon aethereus											
Antes											
Sangue (04)	Chuvoso	8,8	5,2	1,1	1,1	0,2	0,1	169,9	112,2	5,0	3,5
Penas (04)	Chuvoso	36,4	29,8	4,2	0,7	1,4	1,6	138,0	68,1	115,4	23,9
Sangue (06)	Seco	16,5	8,5	2,1	0,7	3,6	3,2	348,1	91,3	7,0	2,8
Penas (06)	Seco	38,1	12,7	5,1	3,8	2,0	0,3	211,4	96,3	286,3	132,2
Ano 1											
Sangue (10)	Chuvoso	4,9	1,9	0,2	0,1	0,2	0,1	233,4	71,0	4,7	7,9
Penas (10)	Chuvoso	13,5	4,5	0,3	0,2	0,3	0,2	50,1	25,7	36,2	26,6
Ano 2											
Sangue (10)	Chuvoso	10,1	3,2	1,6	2,4	0,2	0,1	26,3	11,3	36,2	18,8
Penas (10)	Chuvoso	9,9	2,7	2,5	2,2	0,2	0,1	25,8	10,8	35,5	18,0

Ano 3

Sangue (20)	Chuvoso	82,5	72,1	4,8	6,5	3,2	3,7	26,2	25,3	19,8	30,9
Penas (20)	Chuvoso	449,9	300,5	34,1	33,4	11,8	9,8	117,8	101,6	58,3	64,3
Sangue (24)	Seco	0,8	0,7	1,3	1,8	1,1	2,1	159,4	109,4	10,3	7,7
Penas (24)	Seco	2,7	2,0	0,3	0,3	3,1	3,4	20,4	39,9	32,9	50,5

Ano 4

Sangue (20)	Chuvoso	1,8	1,8	0,9	0,5	1,0	0,7	118,2	44,4	6,9	7,8
Penas (20)	Chuvoso	2,1	1,8	9,9	4,2	7,7	8,4	57,9	45,4	13,8	11,2
Sangue (18)	Seco	5,9	8,9	7,4	13,5	2,8	3,5	15,9	20,9	3,6	3,6
Penas (17)	Seco	12,5	4,8	22,0	4,4	1,9	0,8	42,3	31,3	11,1	2,3

Ano 5

Sangue (24)	Chuvoso	8,16	14,10	11,99	24,01	3,52	5,61	22,16	41,64	4,69	5,80
Penas (19)	Chuvoso	3,58	2,87	4,16	7,49	0,35	0,35	7,01	13,34	1,83	2,38

		Mn		Cu		Cr		Fe		Zn	
<i>Sula leucogaster</i>		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Antes											
Sangue (07)	Chuvoso	7,2	2,6	12,1	13,5	2,5	2,5	211,6	87,0	41,3	32,9
Penas (07)	Chuvoso	134,3	70,0	43,9	39,3	8,3	7,3	392,9	193,0	99,9	64,9

Ano 1

Sangue (10)	Chuvoso	4,1	5,4	0,2	0,3	0,2	0,3	206,3	55,6	6,2	4,8
Penas (10)	Chuvoso	18,9	6,0	0,7	1,1	1,0	1,0	40,2	14,5	25,5	18,9

Ano 2

Sangue (10)	Chuvoso	24,1	8,3	3,1	1,3	0,5	0,5	50,2	26,9	19,1	4,7
Penas (10)	Chuvoso	22,7	7,5	25,8	11,8	0,5	0,4	47,3	25,1	195,7	135,7

Ano 3

Sangue (20)	Chuvoso	91,6	65,1	3,3	4,3	1,3	1,4	25,6	16,0	11,1	6,2
Penas (20)	Chuvoso	438,3	253,7	33,3	34,9	11,9	11,8	104,2	66,3	64,8	81,1
Sangue (20)	Seco	0,7	0,4	0,8	0,6	0,5	0,3	199,8	108,8	6,9	4,2
Penas (20)	Seco	3,7	1,8	0,4	0,4	4,2	4,2	31,1	34,5	59,2	39,2

Ano 4

Sangue (20)	Chuvoso	2,0	1,2	0,9	0,6	0,8	0,5	79,4	83,0	3,3	1,7
Penas (20)	Chuvoso	2,4	2,2	3,7	3,8	3,7	4,1	46,6	24,7	11,7	6,9
Sangue (16)	Seco	7,9	7,8	4,3	1,8	1,7	1,1	5,2	2,1	3,5	5,5
Penas (19)	Seco	10,9	2,5	7,6	2,6	2,2	0,5	58,4	82,4	11,3	2,6

Ano 5

Sangue (20)	Chuvoso	7,67	7,74	7,20	8,85	1,82	1,71	13,69	24,30	6,70	12,31
Penas (21)	Chuvoso	1,51	2,20	4,22	3,15	0,17	0,23	11,54	9,09	1,96	2,39

<i>Sterna hirundo</i>		Mn		Cu		Cr		Fe		Zn	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Ano 5											
Sangue (32)	Chuvoso	5,00	6,54	15,37	21,52	0,66	1,32	32,28	64,36	25,11	104,02
Penas (39)	Chuvoso	9,64	11,30	31,92	24,17	1,21	1,84	62,19	68,98	14,06	11,92
<i>Thalasseus acuflavidus</i>		Mn		Cu		Cr		Fe		Zn	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Ano 5											
Sangue (8)	Chuvoso	1,85	1,52	5,22	2,86	0,93	2,08	21,08	26,15	2,53	1,37
Penas (8)	Chuvoso	8,31	10,02	22,72	16,14	0,56	0,48	71,18	79,51	10,72	7,94
<i>Sternula superciliaris</i>		Mn		Cu		Cr		Fe		Zn	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Ano 5											
Sangue (4)	Chuvoso	19,45	23,61	6,65	5,54	1,68	1,56	5,38	4,84	10,07	16,64
Penas (4)	Chuvoso	14,46	23,06	2,79	2,53	2,03	2,03	7,34	11,28	24,00	38,17

Descrições dos padrões apresentados nessa tabela são mencionados na legenda da Figura 29 e Figura 30.

Tabela 25: Variação na concentração de metais não-essenciais e Arsênio (mg/kg peso seco) no sangue e penas de trinta-réis (Família Sternidae) amostrados na foz do Rio Doce no período chuvoso do Ano 5 (chuvoso – dezembro de 2022), e de *Phaethon aethereus* e *Sula leucogaster* amostrados no Arquipélago dos Abrolhos no período pré-rompimento da barragem do Fundão (chuvoso – fevereiro e seco – agosto de 2011) e no período pós-rompimento no Ano 1 (chuvoso - fevereiro de 2019), Ano 2 (chuvoso – fevereiro de 2020), Ano 3 (chuvoso – fevereiro e seco – agosto de 2021), Ano 4 (chuvoso – março e seco – setembro de 2022), Ano 5 (chuvoso – março de 2023).

Metais e metalóide não-essenciais									
Período		As		Cd		Hg		Pb	
<i>Phaethon aethereus</i>		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Antes									
	Chuvoso	0,3	0,1	0	0	0,2	0,2	0,4	0,5
	Chuvoso	0,3	0,3	0	0	0,4	0,3	0,4	0,2
	Seco	0,5	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2
	Seco	0,7	0,4	0,1	0	0,4	0,1	0,4	0,2
Ano 1									
	Chuvoso	0,9	0,4	0,1	0,1	0,1	0	0	0
	Chuvoso	5,3	3,6	0,3	0,1	0	0	0,1	0,1
Ano 2									
	Chuvoso	0,5	0,4	0,1	0	0	0	0,1	0
	Chuvoso	0,5	0,3	0,1	0	0	0	0,1	0
Ano 3									
	Chuvoso	10,2	15,5	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4
	Chuvoso	16,4	15,5	3,8	2,6	3,4	2,5	4,6	4,3
	Seco	0,4	0,3	0,9	0,8	0,2	0,2	0,6	0,6
	Seco	0,4	0,3	0,2	0,1	0,4	0,3	0,2	0,1
Ano 4									
	Chuvoso	2,7	1	0,1	0,1	0	0	1,1	0,6
	Chuvoso	4,8	4,2	1,2	1	0,4	0,3	0,7	0,5
	Seco	0,6	0,6	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1

	Seco	0,1	0	0,4	0,1	0,2	0,1	0,4	0,2
Ano 5									
	Chuvoso	0,77	0,8	0,16	0,18	0,26	0,26	0,11	0,22
	Chuvoso	0,24	0,23	0,08	0,06	0,14	0,17	0,07	0,07
		As		Cd		Hg		Pb	
<i>Sula leucogaster</i>		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Antes									
	Chuvoso	0,4	0,3	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2
	Chuvoso	19,7	22,7	0,4	0,2	2,3	2,2	0,9	0,3
Ano 1									
	Chuvoso	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0,02
	Chuvoso	2,5	0,9	0,4	0,1	0	0	0,1	0,09
Ano 2									
	Chuvoso	0,4	0,3	0,3	0,2	0	0	0	0,01
	Chuvoso	0,4	0,2	0,3	0,2	0	0	0	0,01
Ano 3									
	Chuvoso	9	8,9	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,24
	Chuvoso	24,9	31	3,6	2	3,1	1,5	4,2	2,85
	Seco	0,2	0,1	0,5	0,3	0,1	0,1	0,4	0,27
	Seco	0,6	0,3	0,3	0,1	0,6	0,3	0,2	0,14
Ano 4									
	Chuvoso	1	0,4	0,1	0,1	0,6	0,8	0,5	0,55
	Chuvoso	2,3	0,8	0,7	0,3	0,3	0,1	0,5	0,36
	Seco	0,7	0,3	0,1	0	0,3	0,1	0,1	0,03
	Seco	0	0	0,3	0,1	0,6	0,3	0,3	0,07
Ano 5									
	Chuvoso	1,43	1,99	0,19	0,2	0,55	0,54	0,17	0,44
	Chuvoso	0,29	0,31	0,1	0,05	0,09	0,11	0,05	0,06

		As		Cd		Hg		Pb	
<i>Sterna hirundo</i>		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Ano 5									
	Chuvoso	1,34	1,63	0,5	1,3	0,33	0,54	0,18	0,25
	Chuvoso	0,65	0,52	0,54	0,4	0,34	0,26	0,19	0,18
		As		Cd		Hg		Pb	
<i>Thalasseus acutiflavus</i>		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Ano 5									
	Chuvoso	1,06	0,46	0,16	0,1	0,18	0,09	0,06	0,04
	Chuvoso	0,53	0,29	0,58	0,48	0,43	0,34	0,13	0,11
		As		Cd		Hg		Pb	
<i>Sternula superciliaris</i>		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Ano 5									
	Chuvoso	0,71	0,74	0,24	0,3	0,64	0,32	0,19	0,06
	Chuvoso	0,72	0,91	0,37	0,39	0,16	0,17	0,54	0,64

Descrições dos padrões apresentados nessa tabela são mencionados na legenda da Figura 29 e Figura 31.

Tabela 26: Concentrações (mg/kg peso seco) de metais e arsênio nas cascas de ovos de aves marinhas (*Phaethon aethereus* e *Sula leucogaster*) e no tecido muscular de peixes das famílias Belonidae, Dorosomatidae, Exocoetidae, Hemiramphidae e Scombridae, coletados no período seco do Ano 3 (agosto de 2021) e no período chuvoso do Ano 4 (março de 2022) no Arquipélago dos Abrolhos. Peixes foram coletados através dos regurgitados espontâneos das aves marinhas. Amostras de cascas de ovos e material regurgitado coletadas no arquipélago dos Abrolhos em março de 2023 (Ano 5, período chuvoso), aguardam os reparos dos equipamentos danificados durante o ciclone na região sul em junho de 2023 para conclusão das análises. Todos os resultados serão apresentados no RA2023.

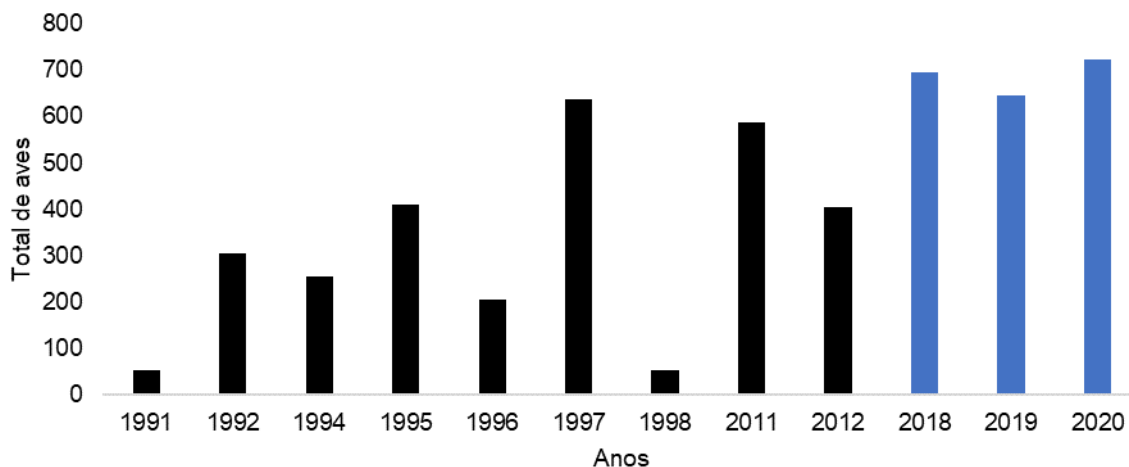
Metais essenciais											
		Fe		Mn		Zn		Cr		Cu	
Família	n	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Belonidae	8	11,56	5,79	1,43	1,36	0,93	0,65	1,02	2,08	3,80	1,52
Dorosomatidae	8	24,84	20,86	2,18	2,11	1,42	1,17	0,22	0,16	5,47	1,98
Exocoetidae	4	14,78	5,65	0,79	0,16	1,08	0,47	0,34	0,18	6,29	4,96
Hemiramphidae	35	22,62	20,05	1,70	1,94	1,57	1,36	0,41	0,42	5,57	2,68
Scombridae	2	11,36	2,85	0,91	0,27	1,06	0,06	0,44	0,31	2,54	1,24
Cascas de ovos											
<i>Phaethon aethereus</i>	2	2,02	0,74	3,34	2,18	1,34	1,57	1,94	2,16	9,3	8,54
<i>Sula leucogaster</i>	4	2,58	2,36	1,61	0,8	0,3	0,23	0,33	0,2	1,72	0,8
Metais e metalóide não-essenciais											
		As		Cd		Hg		Pb			
Família	n	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP		
Belonidae	8	0,27	0,13	0,33	0,30	0,06	0,05	0,04	0,04		
Dorosomatidae	8	0,50	0,40	0,44	0,25	0,09	0,18	0,11	0,09		
Exocoetidae	4	0,55	0,67	0,26	0,08	0,07	0,05	0,05	0,06		
Hemiramphidae	35	0,32	0,19	0,30	0,22	0,04	0,06	0,09	0,13		
Scombridae	2	0,36	0,26	0,26	0,06	0,08	0,06	0,15	0,19		
Cascas de ovos											
<i>Phaethon aethereus</i>	2	0,48	0,12	1,4	1,12	0	0	0,13	0,12		

<i>Sula leucogaster</i>	4	0,13	0,04	0,13	0,13	0	0,01	0,01	0,01
-------------------------	---	------	------	------	------	---	------	------	------

Descrições dos padrões apresentados nessa tabela são mencionados na legenda da Figura 32.

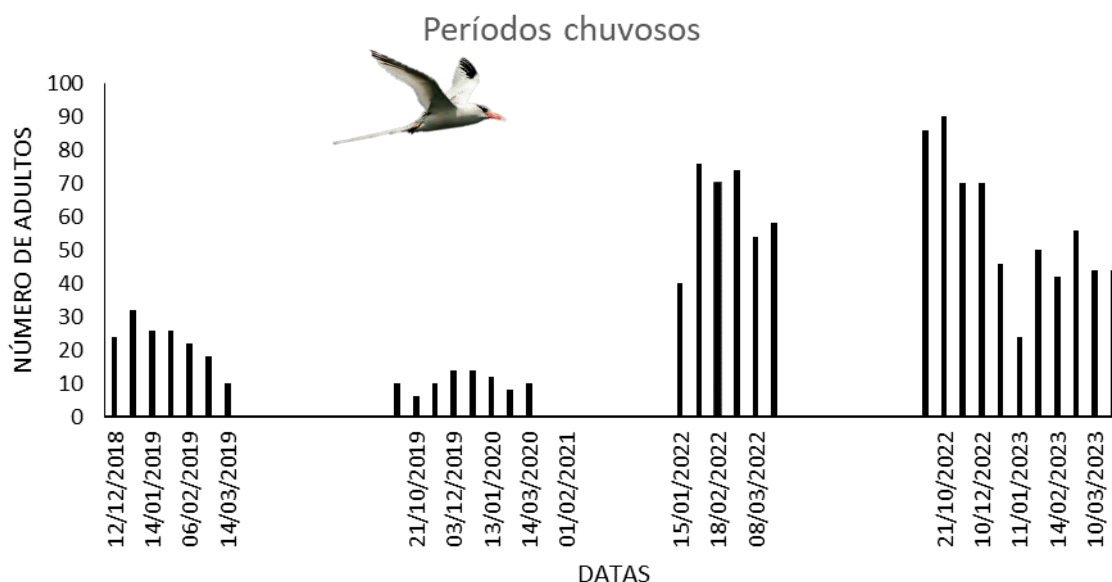
2.3 CONDIÇÕES SANITÁRIAS, DEMOGRÁFICAS E GENÉTICAS DAS AVES MARINHAS QUE UTILIZAM A FOZ DO RIO DOCE E ADJACÊNCIAS PARA ALIMENTAÇÃO

Figura 33: Variações interanuais do tamanho populacional de *Phaethon aethereus* em Abrolhos com base no anilhamento e contagem de indivíduos no arquipélago.



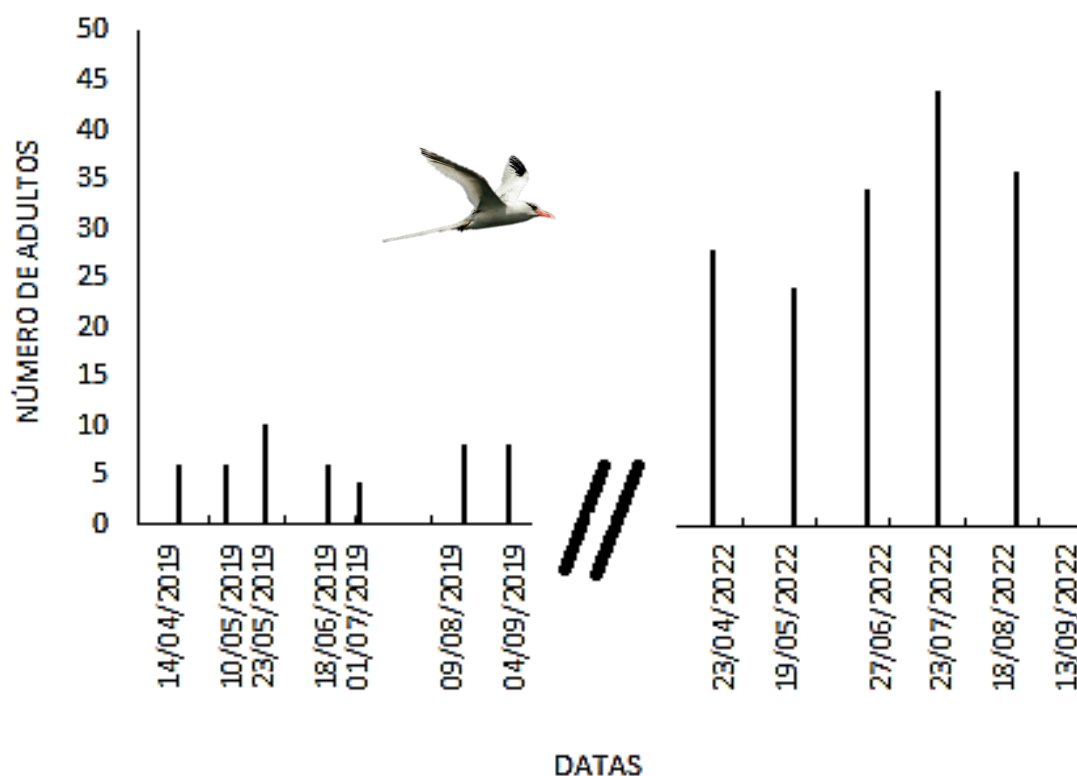
Dados do pré rompimento da barragem obtidos da literatura e pesquisas prévias de membros da equipe mostram que o tamanho populacional foi estimado entre 200 e 700 aves. Atualmente, dados do pós rompimento da barragem obtidos e cedidos pelo ICMBio, como parte do Programa de Monitoramento das Aves Marinhas do Parque Nacional dos Abrolhos estimam o tamanho populacional atual de *P. aethereus* entre 600 e 700 adultos. Portanto, aparentemente a população da espécie no arquipélago vem se mantendo estável em torno de 700 indivíduos. Vale ressaltar que dados do relatório anual do Parque de 2021 e 2022 ainda não foram divulgados.

Figura 34: Variações interanuais do tamanho populacional de *Phaethon aethereus* nidificantes em Abrolhos nos períodos chuvosos - (outubro a março), com base no monitoramento de 3 a 45 ninhos ativos na Ilha Santa Bárbara entre setembro de 2018 e março de 2023.



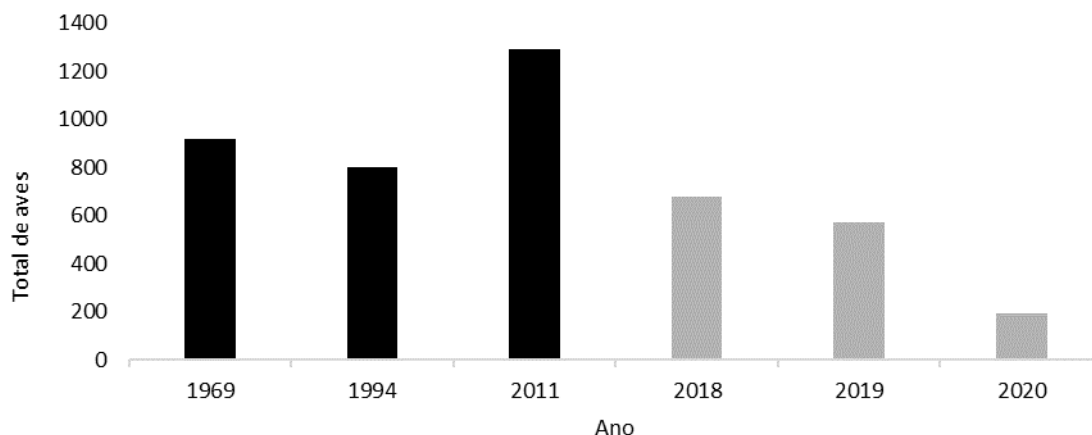
A população reprodutiva de *P. aethereus* que vem sendo monitorada na ilha Santa Bárbara em Abrolhos variou entre 3 e 45 ninhos ativos, consequentemente, 6 e 90 adultos reprodutores, nos períodos chuvosos setembro de 2018 a março de 2023, acompanhando a dinâmica do regime de chuvas. Além disso, o início do período chuvoso coincide com o retorno das aves ao arquipélago para um novo ciclo reprodutivo. A corte, formação do casal e escolha dos ninhos, protegidos debaixo de rochas ou em cavernas, ocorre nos meses de maior precipitação (outubro/novembro), o que explica as maiores quantidades de ninhos ativos e adultos nos ninhos entre esses meses. Por outro lado, a postura e cria do filhote ocorre nos meses finais do período chuvoso (dezembro a março) quando a quantidade de ninhos ativos diminui em virtude da predação ou alagamento dos ninhos. Vale ressaltar ainda que o recurso alimentar disponível em mares tropicais não costuma variar sazonalmente dentro do mesmo ano. No entanto, pode sofrer variações ao longo dos anos devido a influências de eventos esporádicos como o ENSO (*El Niño Southern Oscillation*), ocorrido entre 2018 e 2019, podendo também gerar variações na taxa de crescimento, sucesso reprodutivo ou fenologia das aves marinhas.

Figura 35: Variações interanuais do tamanho populacional de *Phaethon aethereus* nidificantes em Abrolhos nos períodos secos - (abril a setembro), com base no monitoramento de 49 ninhos na Ilha Santa Bárbara entre setembro de 2018 e setembro de 2022. A população reprodutiva de *P. aethereus* que vem sendo monitorada na ilha Santa Bárbara em Abrolhos variou entre 4 e 45 adultos reprodutores, nos períodos secos de 2019 a 2022. A espécie apresenta um novo aumento populacional nos meses centrais do período seco (junho/julho) coincidindo com novo pico reprodutivo e confirmando a existência de duas subpopulações no arquipélago, as quais se revezam ao longo do ano.



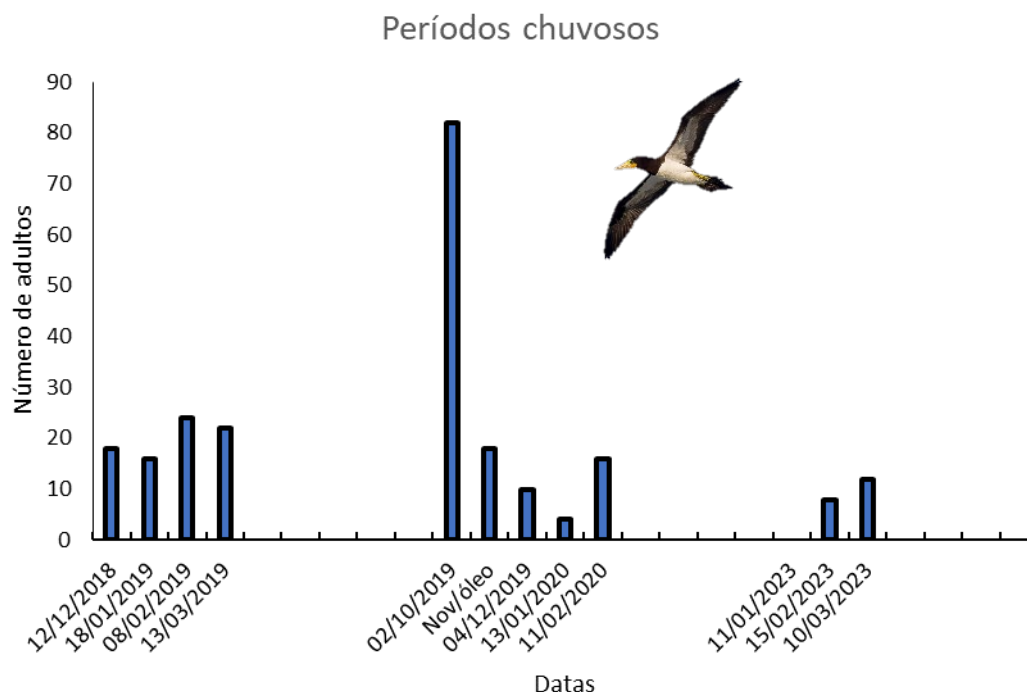
A população reprodutiva de *P. aethereus* que vem sendo monitorada na ilha Santa Bárbara em Abrolhos variou entre 2 e 22 ninhos ativos e consequentemente, 4 e 44 adultos reprodutores, nos períodos secos de 2019 a 2022. A espécie apresenta um novo aumento populacional nos meses centrais do período seco (maio/junho) coincidindo com novo pico reprodutivo e confirmando a existência de duas subpopulações no arquipélago, as quais se revezam ao longo do ano. A corte, formação do casal e escolha dos ninhos ocorre nos meses de fevereiro e março, ainda no final do período chuvoso. Com o início da postura ocorrendo em abril/maio e cria do filhote daí em diante. No entanto, a alta quantidade de ninhos ativos nos meses finais do período seco (julho a setembro) pode estar relacionada a reposturas devido ao aumento da predação por ratos, provocada pela limitação de comida no ambiente. Vale ressaltar ainda que o recurso alimentar disponível em mares tropicais não costuma variar sazonalmente dentro do mesmo ano, mas, pode sofrer variações ao longo dos anos devido à influências de eventos esporádicos como o ENSO (*El Niño Southern Oscillation*), ocorrido entre 2018 e 2019, podendo também gerar variações na taxa de crescimento, sucesso reprodutivo ou fenologia das aves marinhas.

Figura 36: Variações interanuais do tamanho populacional de *Sula leucogaster* nidificantes em Abrolhos com base no anilhamento e contagem de indivíduos no arquipélago.



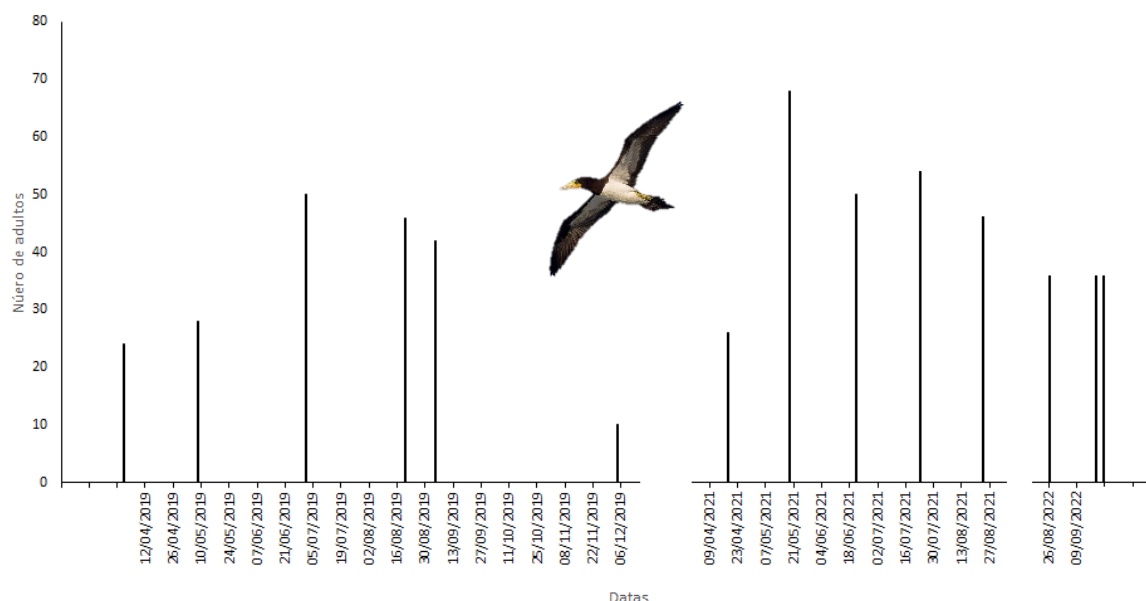
Dados do pré-rompimento da barragem obtidos da literatura e pesquisas prévias de membros da equipe estimam o tamanho populacional de *S. leucogaster* entre 700 e 1200 adultos reprodutores. Atualmente, dados do pós-rompimento da barragem obtidos e cedidos pelo ICMBio, como parte do “Programa de Monitoramento das Aves Marinhas do Parque Nacional dos Abrolhos” mostrou uma preocupante diminuição na população em 2020. Sabe-se que as variações nas condições oceanográficas influenciam na produção primária marinha, na migração dos peixes e consequentemente, na disponibilidade de alimento para seus predadores, como as aves marinhas. Além disso, o atobá-marrom tem forte interação com barcos de pesca e costuma se alimentar dos peixes rejeitados na pescaria. Muitos destes peixes são provenientes da pesca de arrasto e utilizam o fundo de lama como seu habitat. Assim, diante da confirmação de contaminação no substrato marinho, peixes e aves nos locais onde os atobás-marrom de Abrolhos forrageiam, torna-se necessário avaliar o tamanho populacional nos próximos anos em busca da tendência de recuperação ou queda mais acentuada da população. Vale ressaltar que dados do relatório anual do Parque de 2021 e 2022 ainda não foram divulgados.

Figura 37: Variações interanuais do tamanho populacional de *Sula leucogaster* nidificantes em Abrolhos nos períodos chuvosos - (outubro a março), com base em 17 a 36 ninhos ativos.



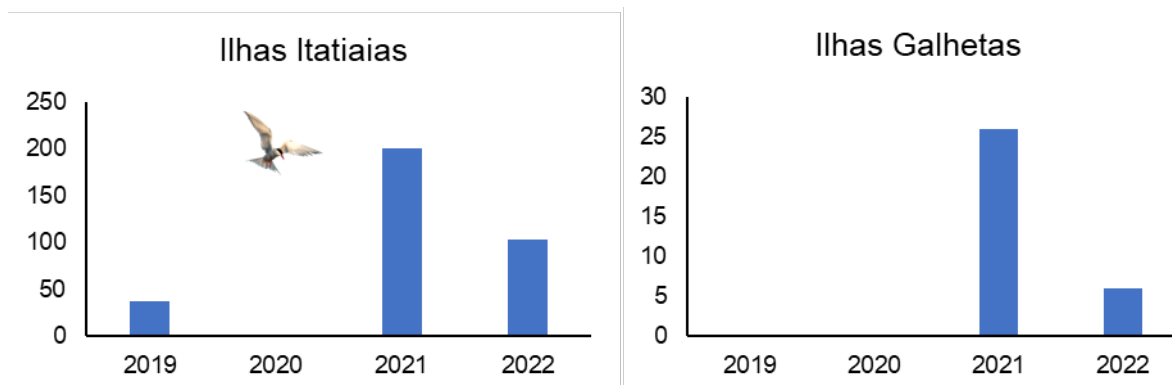
A população reprodutiva de *S. leucogaster* que vem sendo monitorada na ilha Santa Bárbara em Abrolhos variou entre 4 e 82 adultos reprodutores, nos períodos chuvosos de 2018 a 2023, com os maiores números populacionais no início do período (outubro) encerrando o ciclo reprodutivo da espécie na ilha. A corte, formação do casal e escolha dos ninhos ocorre principalmente nos meses mais secos (abril/maio). A postura e cria do filhote ocorre entre os meses de maio e outubro, o que explica as maiores quantidade de adultos ainda no ninho protegendo seus filhotes. A partir deste mês, durante o restante do período chuvoso, a espécie não reproduz no local e os adultos registrados nos ninhos entre novembro e março são reprodutores que iniciaram suas posturas tardiamente ou reiniciaram sua reprodução com a postura de novos ovos.

Figura 38: Variações interanuais do tamanho populacional de *Sula leucogaster* nidificantes em Abrolhos nos períodos secos - (abril a setembro), com base em 17 a 33 ninhos ativos.



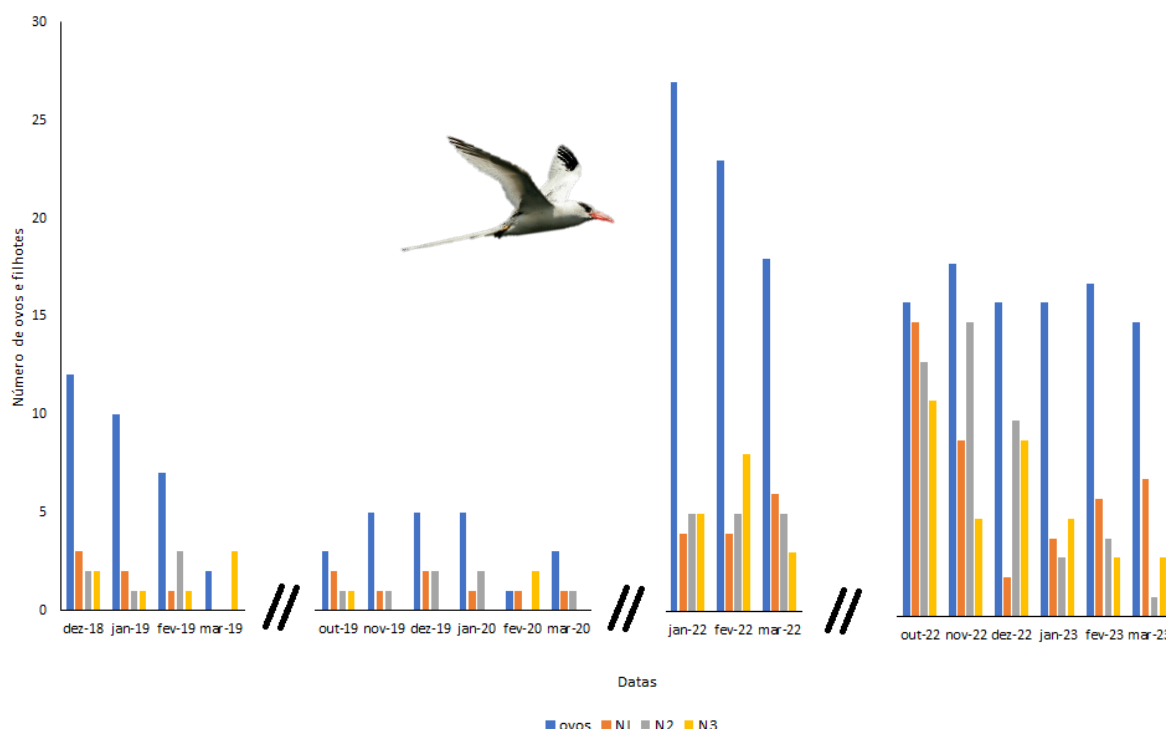
A população reprodutiva de *S. leucogaster* que vem sendo monitorada na ilha Santa Bárbara em Abrolhos variou entre 10 e 68 adultos reprodutores, nos períodos secos de 2019 a 2022, indicando um aumento populacional no meio do período (maio a julho), o que coincide com o pico do período reprodutivo da espécie na ilha Santa Bárbara. A corte, formação do casal e escolha dos ninhos ocorre principalmente nos meses de abril/maio. A postura e cria do filhote ocorre entre os meses de maio e outubro, o que explica as maiores quantidade de adultos no ninho protegendo seus ovos e filhotes.

Figura 39: Variações interanuais do tamanho populacional de *Sterna hirundinacea* nidificantes em ilhas de Vila Velha (Itatiaias) e Vitória (Galhetas) no Espírito Santo, com base em número de adultos.



Dados obtidos nas expedições realizadas pela equipe do PMBA/Fest durante o inverno, pico reprodutivo da espécie nas colônias visitadas no Espírito Santo (Ilhas Itatiaia e Galheta), mostram que o número de adultos reprodutores variou entre 6 e 200 adultos. Essa enorme variação pode ser explicada pelo comportamento de alternância de sítios reprodutivos deste grupo de aves migratórias ao longo dos anos. No Espírito Santo, a espécie costuma concentrar ou distribuir sua população reprodutiva entre as ilhas de Vitória, Vila Velha, Guarapari e Itapemirim, em simpatria com o outro trinta-réis migratório de bico amarelo, *Thalasseus acutiflavus*. No entanto, vale ressaltar que na área estudada o arquipélago das Itatiaia tem as maiores ilhas e é tradicionalmente o sítio mais utilizado e representativo na região, o que explica os maiores tamanhos populacionais encontrados. Além disso, a diminuição das atividades de proteção e fiscalização das ilhas litorâneas do Espírito Santo realizada desde 1988 pela Associação Vila-Velhense de Proteção Ambiental – AVIDEPA vem contribuindo para o retorno das ameaças à espécie e pode também explicar a variação encontrada. Vale ressaltar que a espécie vem diminuindo suas populações ao longo dos anos em toda a costa brasileira. Na temporada reprodutiva de 1994, o número de pares reprodutivos nas Ilhas Itatiaia chegou a 490 ninhos.

Figura 40: Variações interanuais da fenologia reprodutiva de *Phaethon aethereus* nidificantes em Abrolhos nos períodos chuvosos - (outubro a março) com base no monitoramento de 3 a 45 ninhos ativos.



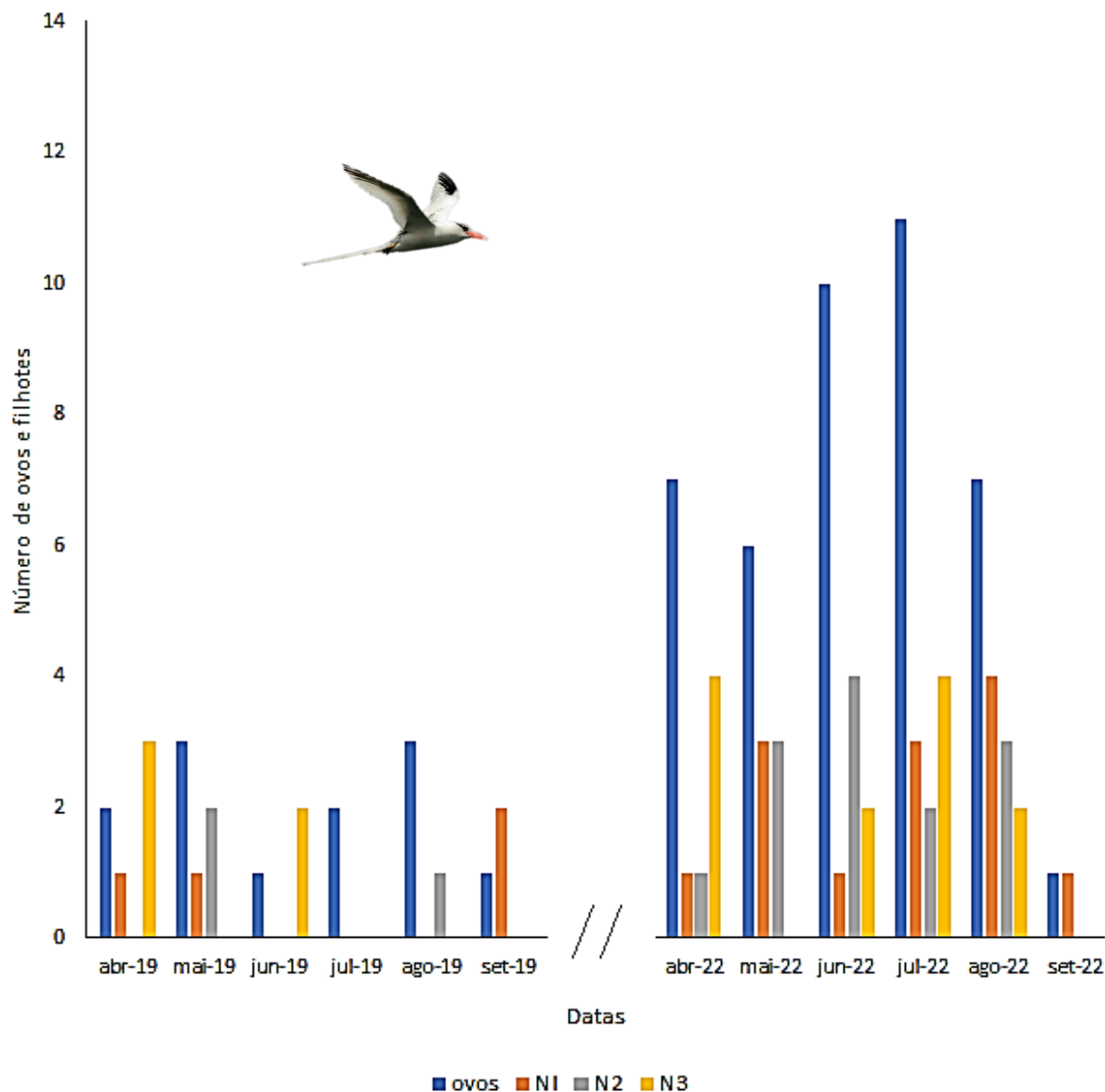
Dados de monitoramento na colônia da ilha Santa Bárbara, a maior do arquipélago, nos períodos chuvosos mostram que *P. aethereus* tem um de seus picos reprodutivos entre os meses de novembro e dezembro, quando ocorre a maior quantidade de posturas. No entanto, o registro de ovos nos meses anteriores está relacionado ao outro pico reprodutivo em meados de junho e julho. Por outro lado, os registros de ovos nos meses subsequentes estão relacionados ao tempo de incubação (42–44 dias) ou ainda posturas tardias ou reposturas. A maioria dos filhotes abandonam o ninho em meados de fevereiro e março, após um período de desenvolvimento em torno de 90 dias. Os dados mostram ainda que a grande maioria dos ovos postos não apresentaram sucesso na eclosão, gerando filhotes recém-nascidos (N1) em seguida. Além disso, a temporada reprodutiva de 2022 foi a mais produtiva e de maior sucesso, apresentando as maiores quantidades de ovos e filhotes nos vários estágios de desenvolvimento, com destaque para o mês de outubro que reúne filhotes recém-nascidos nesta temporada e filhotes já em desenvolvimento, nascidos na temporada anterior. Por outro lado, as temporadas reprodutivas de 2019 e 2020 geraram menos filhotes. Diversos aspectos podem influenciar a variação da fenologia entre os anos, tais como variações nas condições oceanográficas, disponibilidade de alimento, condição corporal dos adultos. Particularmente em Abrolhos, o aumento na quantidade de ovos pode estar relacionado também ao processo de desratização iniciado em agosto de 2021. No entanto, o fato das grazinas de Abrolhos estarem se alimentando em área contaminada merece atenção para seus efeitos a médio-longo prazo, em especial às taxas de nascimento e desenvolvimento dos filhotes. No período seco das temporadas reprodutivas de 2019 (dezembro 2019 a março 2020) e 2022 (janeiro a março), os filhotes da próxima fase de desenvolvimento (N2) até a fase de abandono do ninho (N3), tiveram pouco sucesso também.

Tabela 27: Variações interanuais do sucesso reprodutivo de *Phaethon aethereus* nidificantes em Abrolhos nos períodos chuvosos (outubro a março) com base no monitoramento de 200 ninhos.

	2018/2019	2019/2020	2020/2021	2021/2022	2022/2023
Ovos eclodidos (N1)	8	9	pandemia	49	66
Ovos postos	57	26	pandemia	149	149
Taxa de eclosão = eclodiram/postos	0,14	0,35	pandemia	0,33	0,44
Filhotes que deixaram o ninho (N3)	10	2	pandemia	56	64
Filhotes nascidos (N1)	8	9	pandemia	49	66
Taxa de sucesso (<i>fledging</i>) = voaram/nascidos	1,30	0,22	pandemia	1,14	0,97

Avaliação do sucesso de eclosão da população reprodutiva de *P. aethereus* a partir de dados obtidos mensalmente pela equipe do PMBA/Fest em parceria com a equipe do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, nos períodos chuvosos de 2018 a 2023 mostrando que a taxa de eclosão ficou entre 18% e 44% e a taxa de sucesso variou entre 22% e 100%. De fato, o sucesso reprodutivo das aves pode variar por diversos fatores, como a taxa de predação, o habitat de nidificação, o cuidado parental, a disponibilidade de alimento e as mudanças no ambiente marinho. As taxas de eclosão da população de Abrolhos no período chuvoso ainda se encontram abaixo dos valores encontrados em colônias do Caribe, área central de distribuição da espécie no Atlântico (eclosão 55-84%) no entanto, já se nota um aumento na última temporada. Por outro lado, a taxa de sucesso dos filhotes nascidos superou as taxas encontradas nas populações do Caribe (sucesso 35%-86%). Ambos os aumentos podem ser reflexo da recente desratização, a qual eliminou o último predador exótico de ovos e filhotes do arquipélago.

Figura 41: Variações interanuais do sucesso reprodutivo de *Phaethon aethereus* nidificantes em Abrolhos nos períodos secos - (abril a setembro) com base no monitoramento de 49 ninhos.



Dados de monitoramento nos períodos secos mostram que no ano de 2019 a colônia de *P. aethereus* foi fortemente afetada com baixo número de ovos e sucesso de filhotes. A ausência de dados durante os períodos secos da pandemia compromete a análise da tendência da reprodução da espécie nesse período climático. No ano de 2022 os números de ovos e filhotes retorna aos valores médios da colônia estudada. Assim como nos períodos chuvosos a grande maioria dos ovos postos não apresentaram sucesso de eclosão, gerando filhotes recém-nascidos (N1) em seguida. No entanto, após o nascimento, as próximas fases de desenvolvimento do filhote (N2), apesar de variáveis, aumenta até a fase de abandono do ninho (N3).

Tabela 28: Variações interanuais das taxas reprodutivas de *Phaethon aethereus* nidificantes em Abrolhos nos períodos secos (abril a setembro) com base no monitoramento de 199 ninhos.

	2019	2020	2021	2022
Ovos eclodidos (N1)	4	pandemia		38
Ovos postos	9	pandemia		82
Taxa de eclosão = eclodiram/postos	0,44	pandemia		0,46
Filhotes que deixaram o ninho (N3)	2	pandemia		28
Filhotes nascidos (N1)	4	pandemia		38
Taxa de sucesso (<i>fledging</i>) = voaram/nascidos	0,50	pandemia		0,74

Avaliação do sucesso de eclosão da população reprodutiva de *P. aethereus* a partir de dados obtidos mensalmente pela equipe do PMBA/Fest em parceria com a equipe do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, nos períodos secos de 2019 a 2022 mostrando que a taxa de eclosão ficou entre 44% e 46% e a taxa de sucesso variou entre 50% e 74%. Comparando com as taxas de eclosão em colônias do Caribe, área central de distribuição da espécie no Atlântico (eclosão 55-84%), as taxas da população de Abrolhos no período seco também são inferiores. Por outro lado, as taxas de sucesso dos filhotes nascidos aumentaram e encontram-se dentro da faixa de valores das populações do Caribe (sucesso 35%-86%). Levando em consideração a recente desratização da ilha espera-se que as taxas aumentem significativamente nos próximos anos.

Tabela 29: Variações interanuais das taxas reprodutivas de *S. leucogaster* nidificantes em Abrolhos nos períodos chuvosos (outubro a março) com base no monitoramento de 36 ninhos.

	2019	2020	2021	2022	2023
Ovos eclodidos (N1)	0				0
Ovos postos	3		pandemia		10
			pandemia		
Taxa de eclosão = eclodiram/postos	0		pandemia		0
Filhotes que deixaram o ninho (N3)	9		pandemia		0
			pandemia		
Filhotes nascidos (N1)	0		pandemia		0
			pandemia		
Taxa de sucesso (<i>fledging</i>) = voaram/nascidos	-				-

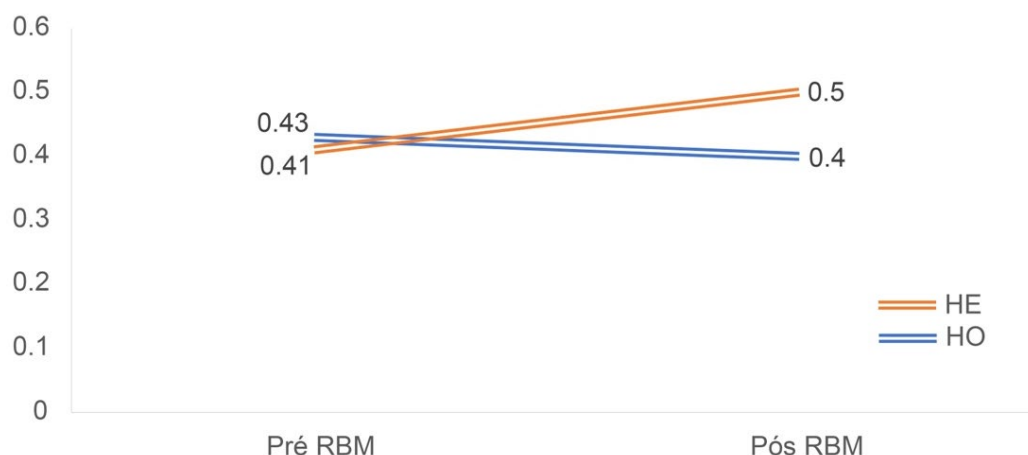
Avaliação do sucesso de eclosão da população reprodutiva de *S. leucogaster* a partir de dados obtidos mensalmente pela equipe do PMBA/Fest em parceria com a equipe do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos. A ausência de dados de 2021 e 2022 comprometeu a análise entre o período do relatório. No entanto, percebe-se em 2023 um número maior de ovos postos em relação ao mesmo período de 2019. Vários fatores podem influenciar a dinâmica populacional da espécie, mas os dados demonstram o início de uma temporada reprodutiva em fevereiro de 2023. O baixo número de filhotes que deixaram o ninho é explicado pelo tempo de desenvolvimento do filhote, que atinge a idade de vôo fora do período chuvoso.

Tabela 30: Variações interanuais das taxas reprodutivas de *S. leucogaster* nidificantes em Abrolhos nos períodos secos (abril a setembro) com base no monitoramento de 33 ninhos.

	2019
Ovos eclodidos (N1)	22
Ovos postos	38
Taxa de eclosão = eclodiram/postos	0,58
Filhotes que deixaram o ninho (N3)	9
Filhotes nascidos (N1)	22
Taxa de sucesso (<i>fledging</i>) = voaram/nascidos	0,41

Avaliação do sucesso de eclosão da população reprodutiva de *S. leucogaster* a partir de dados obtidos mensalmente pela equipe do PMBA/Fest em parceria com a equipe do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, em 2019 mostrando a taxa de eclosão de 58% e a taxa de sucesso de 41%. A ausência de dados de 2021 e 2022 comprometeu a análise entre o período do relatório. No entanto, em 2019, quando a colônia foi monitorada durante todo o ano a espécie obteve sucesso reprodutivo mediano, visto que, geralmente, mais de 70% das ninhadas de atobás resultam em sucesso. Além disso, o fato de a espécie estar apresentando alta taxa de eclosão dos ovos e de sobrevivência a partir do primeiro estágio do filhote demonstra que a diminuição da população pode estar relacionada à mortalidade de adultos e/ou jovens imaturos, os quais têm geralmente uma taxa de sobrevivência mais baixa. No entanto, outros fatores associados ao clima ao longo de várias estações, características funcionais e processos demográficos também podem influenciar a dinâmica populacional da espécie.

Figura 42: Comparação dos valores de heterozigosidade observada (HO) e esperada (HE) para amostras de *Sula leucogaster* coletadas antes do Rompimento da Barragem de Fundão (Pré RBM) e depois (Pós RBM).



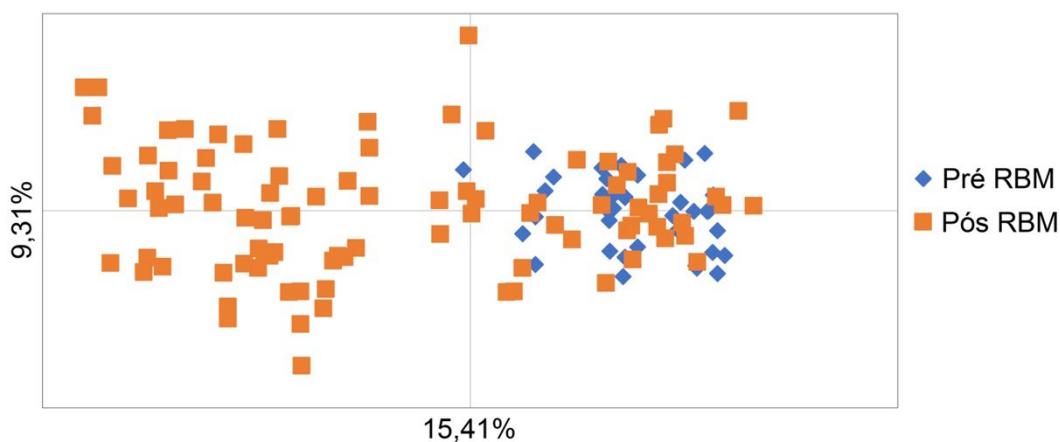
A HO é uma medida da diversidade genética atual de uma população, que indica a proporção de indivíduos que possuem dois alelos diferentes em um locus específico (proporção de indivíduos heterozigotos), enquanto a HE refere-se à proporção de heterozigotos que seria esperada em uma população, se a frequência de cada alelo não mudasse de geração para geração (população em equilíbrio de Hardy-Weinberg). Nos resultados aqui apresentados, se observa uma diminuição na HO nas amostras coletadas pós RBM (0,4), em comparação aos amostrados previamente ao RBM (0,43). Adicionalmente, o valor do coeficiente de endogamia (índice que indica desvios no Equilíbrio de Hardy-Weinberg – EHW, pela presença de cruzamentos entre indivíduos aparentados, ou próximos geneticamente - FIS), foi significativo ($p \leq 0,0001$) para amostras coletadas pós RBM (Tabela 29) indicando que há um déficit de indivíduos heterozigotos maior do que o esperado para estas amostras, o que pode ser causado por endogamia.

Figura 43: Comparação dos valores de Riqueza alélica e diversidade gênica para amostras de *Sula leucogaster* coletadas antes do Rompimento da Barragem de Fundão (Pré RBM) e depois (Pós RBM).



A diversidade gênica, definida como a probabilidade de que dois alelos amostrados aleatoriamente de uma população sejam diferentes (Ney, 1973), apresentou-se maior nas amostras pós RBM (0.45) quando comparadas às amostras coletadas antes do RBM (0.40). A riqueza alélica, uma medida do número de alelos por locus, também se mostrou ligeiramente maior nas amostras pós RBM (3.92) do que nas amostras pré RBM (3.21). Embora esta medida seja altamente dependente do tamanho efetivo da população e, portanto, deve ser padronizada por ser muito sensível a tamanhos irregulares de amostras, isto foi corrigido utilizando o método de rarefação (Hurlbert, 1971; El Mousadik & Petit, 1996;), implementado no programa Fstat (Goudet, 1995).

Figura 44: Análise de Coordenadas Principais (PCoA) comparando a distância genética entre as amostras de *Sula leucogaster* analisadas antes do Rompimento da Barragem de Fundão (Pré RBM) e depois Rompimento da Barragem de Fundão (Pós RBM).



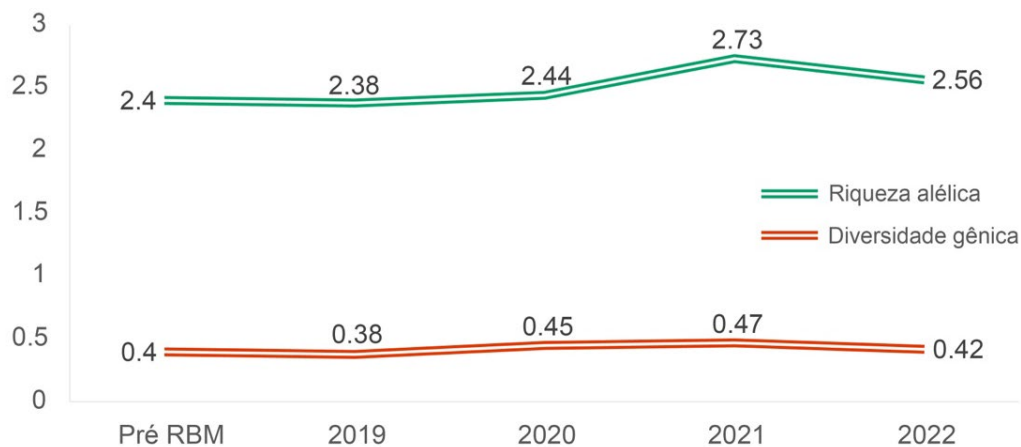
A análise mostra que, embora exista sobreposição da composição dos alelos, as amostras coletadas depois do RBM apresentam uma composição de alelos distinta das amostras coletadas antes do rompimento. Cabe mencionar que tais diferenças observadas podem estar associadas a variações na amostragem ao longo dos anos e a representatividade da amostra em relação ao total da população.

Figura 45: Comparação dos valores de heterozigosidade observada (HO) e esperada (HE) para amostras de *Sula leucogaster* por ano de coleta. Pré RBM = dados coletados antes do Rompimento da Barragem de Fundão. Valor de FIS significativo ($p \leq 0,0001$) para amostras coletadas em 2021 indica que há um déficit de indivíduos heterozigotos do que o esperado para estas amostras.



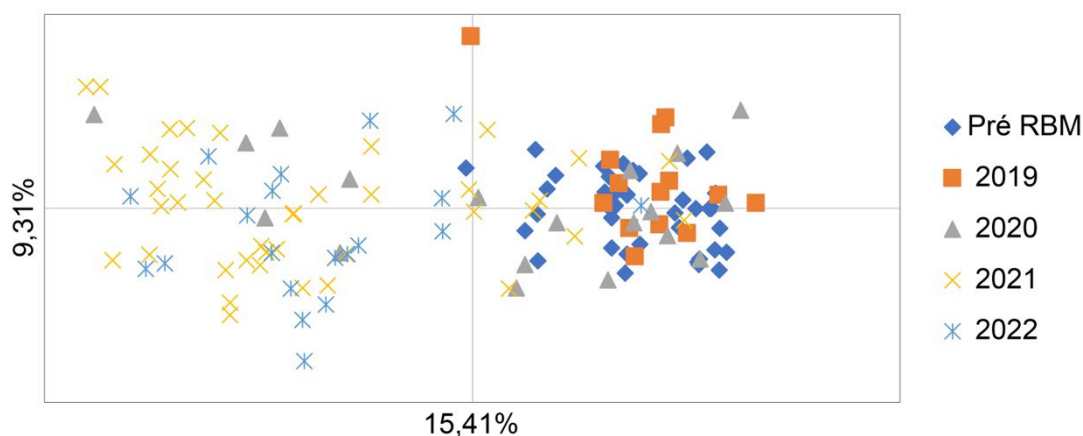
A comparação dos dados por ano de coleta não demonstrou grande variação para os índices de HO e HE, sendo o valor HO mais alto encontrado de 0,43 (para amostras coletadas antes do RBM e em 2019) e o mais baixo de 0,39 (para amostras coletadas no ano de 2021). Valores de HE variaram de 0,41 (para amostras coletadas antes do RBM) até 0,52 (para amostras coletadas em 2021). Um valor de FIS significativo ($p \leq 0,0001$) foi estimado para amostras coletadas em 2021. As amostras coletadas no ano de 2021 também apresentaram o maior número de alelos (36) em comparação aos outros anos (Tabela 30). Entretanto, esses novos alelos aparecem em homozigose na população e valores de HO, HE e FIS mostram que há um déficit de indivíduos heterozigotos para alguns loci analisados, desviando do EHW, o que pode ser causado por endogamia. Cabe mencionar que tais diferenças observadas podem estar associadas a variações na amostragem ao longo dos anos e a representatividade da amostra em relação ao total da população.

Figura 46: Comparação dos valores de Riqueza alélica e diversidade gênica para amostras de *Sula leucogaster* por anos de coleta. Pré RBM = dados coletados antes do Rompimento da Barragem de Fundão.



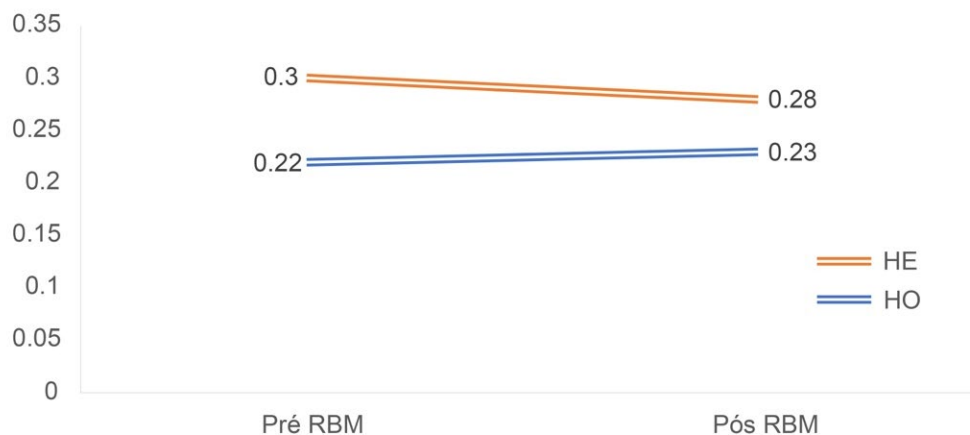
Os valores de riqueza alélica oscilaram ao longo dos anos de amostragem, começando com 2.40 (para amostras pré RBM), caindo na amostragem de 2019 e voltando a subir nos anos de 2020 e 2021, com nova queda em 2022. Valores de diversidade gênica começaram em 0.40 (para amostras pré RBM) com leve aumento ao longo dos anos de 2020 - 2022.

Figura 47: Análise de Coordenadas Principais (PCoA) comparando a distância genética entre as amostras de *Sula leucogaster* analisadas por ano de coleta. Pré RBM = dados coletados antes do Rompimento da Barragem de Fundão.



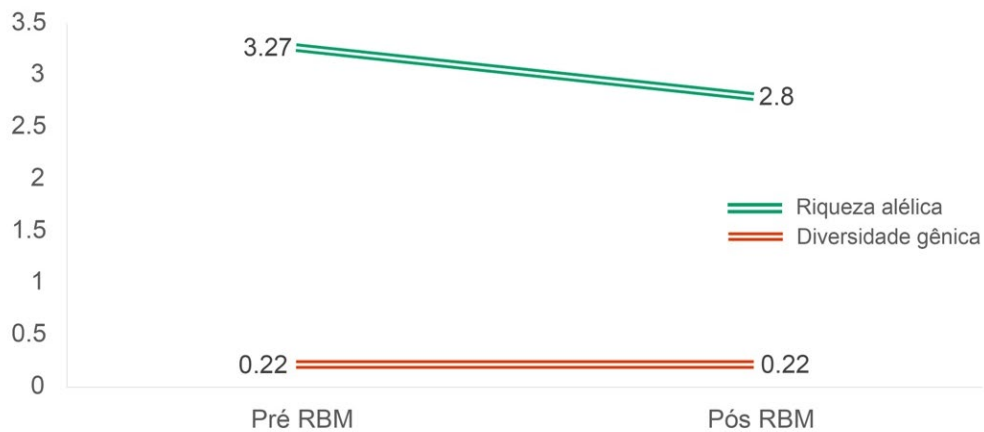
Esta análise detalha mais a mudança na composição de alelos, demonstrando que amostras de 2020 começam a diferenciar-se das demais dos anos anteriores, com alelos novos aparecendo no ano de 2021 e 2022. A análise mostra que a composição gênica dos loci analisados está em processo de diferenciação com uma diferença marcante na distância genética dos dados a partir de 2020. Por ser uma espécie que apresenta filopatria natal e é monogâmica, é inesperado encontrar uma composição tão distinta de alelos daqueles amostrados antes do RBM. A nova composição alélica, bem como maiores valores de riqueza alélica e diversidade gênica encontrados podem ser explicados por uma colonização de novos casais oriundos de outras ilhas para o arquipélago de Abrolhos. Enquanto nos momentos Pré RBM e 2019 a composição genética é semelhante, a partir de 2020 houve uma mudança importante nesta composição, o que pode indicar uma substituição de indivíduos em Abrolhos no ano de 2021. Mudanças ambientais podem ocasionar diminuição do número de indivíduos de populações locais, dando oportunidade para que outros indivíduos migrantes ocupem a área em questão. A perda de uma única colônia pode resultar na perda de variação genética, prejudicando a capacidade da espécie de se adaptar a qualquer tipo de alterações a longo prazo. Por outra parte, embora o fluxo gênico facilitado por dispersão seja raro, ele pode ocorrer em aves marinhas filopátricas e altamente móveis (Milot et al., 2008), causando mudanças nas frequências alélicas e na diversidade gênica das populações. Cabe mencionar que tais diferenças observadas podem estar associadas a variações na amostragem ao longo dos anos e a representatividade da amostra em relação ao total da população.

Figura 48: Comparação dos valores de heterozigosidade observada (HO) e esperada (HE) para amostras de *Phaethon aethereus* coletadas antes do Rompimento da Barragem de Fundão (Pré RBM) e depois (Pós RBM). Valor de FIS significativo ($p \leq 0,0001$) para amostras coletadas pré RBM e pós RBM indica que há um déficit de indivíduos heterozigotos do que o esperado para estas amostras.



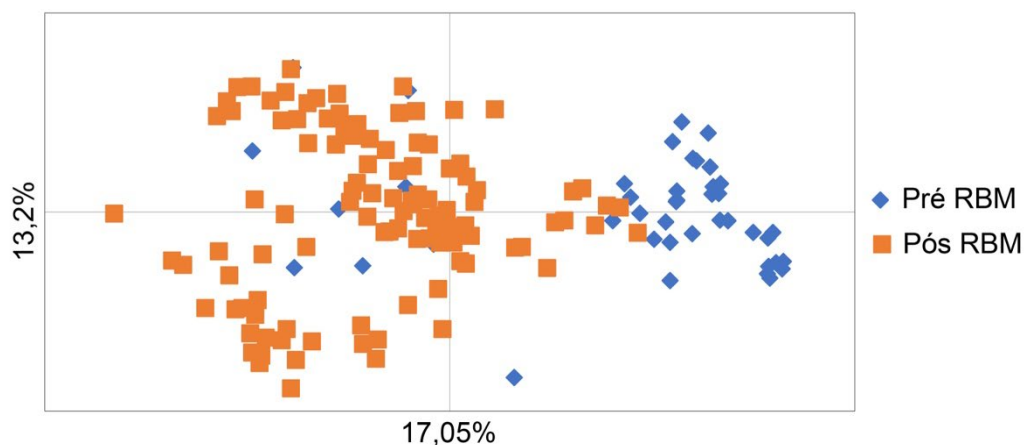
Nesta espécie, a heterozigosidade média observada se manteve quase igual entre as amostras coletadas pré e após RBM. Já a heterozigosidade média esperada, diminuiu de 0,30 (pré RBM) a 0.28 (após o RBM). Valor de FIS significativo ($p \leq 0,0001$) para amostras coletadas pré RBM e pós RBM indica que há um déficit de indivíduos heterozigotos maior do que o esperado para estas amostras (Tabela 31).

Figura 49: Comparação dos valores de Riqueza alélica e diversidade gênica para amostras de *Phaethon aethereus* coletadas antes do Rompimento da Barragem de Fundão (Pré RBM) e depois (Pós RBM).



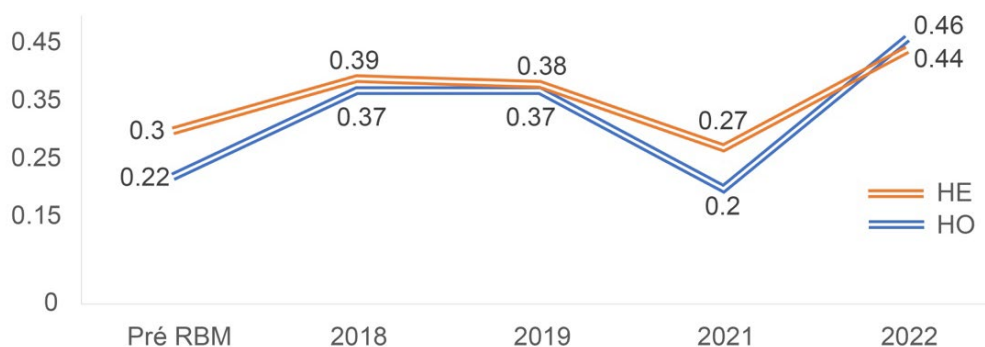
A diversidade gênica entre os conjuntos de dados pré e pós RBM se manteve constante (0.22). Já a riqueza alélica apresentou queda para amostras coletadas pós o RBM (3.27 para amostras pré RBM e 2.80 para amostras pós RBM).

Figura 50: Análise de Coordenadas Principais (PcoA) comparando a distância genética entre as amostras de *Phaethon aethereus* analisadas antes do Rompimento da Barragem de Fundão (Pré RBM) e depois Rompimento da Barragem de Fundão (Pós RBM).



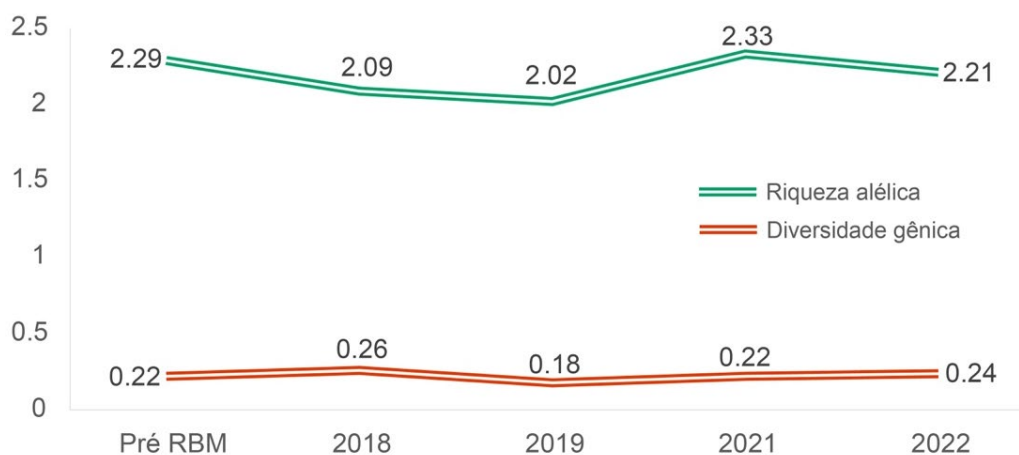
A análise revelou 17% de distância genética no eixo 1. Embora exista pouca sobreposição dos pontos entre pré e pós o RBM, a composição alélica mostra-se substancialmente distinta entre os dois conjuntos de dados. Cabe mencionar que tais diferenças observadas podem estar associadas a variações na amostragem ao longo dos anos e a representatividade da amostra em relação ao total da população.

Figura 51: Comparação dos valores de heterozigosidade observada (HO) e esperada (HE) para amostras de *Phaethon aethereus* por ano de coleta. Pré RBM = dados coletados antes do Rompimento da Barragem de Fundão. Valor de FIS significativo ($p \leq 0,0001$) para amostras coletadas pré RBM e em 2021 indica que há um déficit de indivíduos heterozigotos do que o esperado para estas amostras.



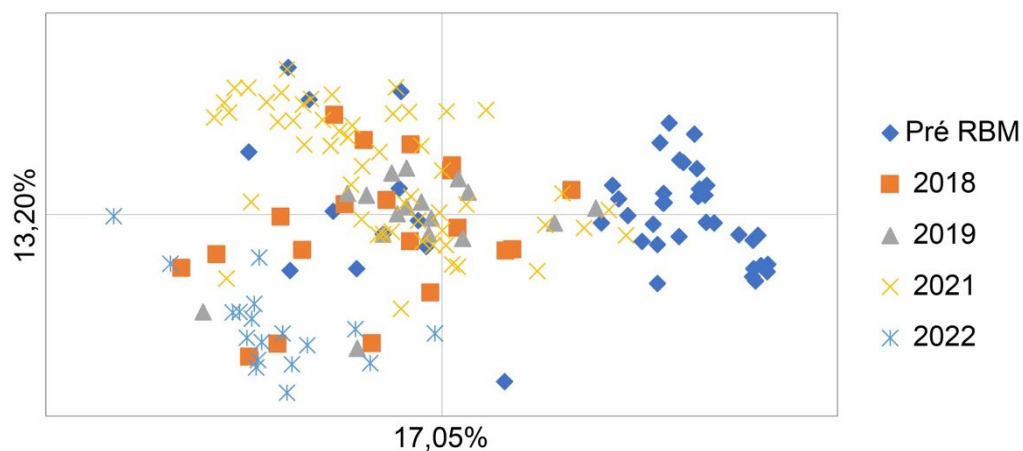
Os valores de HO e HE apresentaram oscilações ao longo dos anos amostrados, sendo mais altos no ano de 2022 (HO = 0,46 e HE = 0,44), e apresentando uma queda em 2021 com valores mais próximos aos encontrados para amostras coletadas antes do RBM. Valor de FIS significativo ($p \leq 0,0001$) para amostras coletadas pré RBM e em 2021 indica que há um déficit de indivíduos heterozigotos maior do que o esperado para estas amostras.

Figura 52: Comparação dos valores de Riqueza alélica e diversidade gênica para amostras de *Phaethon aethereus* por anos de coleta. Pré RBM = dados coletados antes do Rompimento da Barragem de Fundão.



Os índices de diversidade gênica e riqueza alélica oscilaram pouco ao longo dos anos, e mesmo em comparação à amostragem feita antes do RBM, ficando em torno de 0.2 e 2, respectivamente.

Figura 53: Análise de Coordenadas Principais (PcoA) comparando a distância genética entre as amostras de *Phaethon aethereus* analisadas por ano de coleta. Pré RBM = dados coletados antes do Rompimento da Barragem de Fundão.



Quando comparados os dados antes e depois do RBM, a análise de PCoA revelou uma relativa distância genética. Porém, quando analisada por ano de coleta, esta análise mostrou que não há diferença substancial na composição de alelos dos conjuntos de dados amostrados entre os anos de 2018, 2019, 2021 e 2022. Diferentemente de *Sula leucogaster*, para a qual a análise de PCoA indicou uma mudança substancial na composição alélica para as amostras coletadas em 2021, *Phaethon aethereus* já mostra essa mudança a partir de 2018.

Tabela 31: Parâmetros de diversidade genética de marcadores microssatélites analisados para as duas espécies antes e depois do rompimento da barragem de Fundão. Heterozigosidades observada (H_O) e esperada (H_E), coeficiente de endogamia (F_{IS}).

	<i>Sula leucogaster</i>		<i>Phaethon aethereus</i>	
	Pré	Pós	Pré	Pós
Nº amostral	41	94	48	111
Nº loci analisados	9	9	10	10
H_O	0,43	0,40	0,22	0,23
H_E	0,41	0,50	0,30	0,28
F_{IS}	-0,04	0,18*	0,26*	0,17*
Média de alelos	3,22 (29)	4,5 (41)	3,3 (33)	3,1 (31)
Riqueza alélica	3,21	3,92	3,27	2,80
Diversidade gênica	0,40	0,45	0,22	0,22
Proporção de loci polimórficos (%)	100	100	80	90

* Indica desvios significativos do Equilíbrio de Hardy-Weinberg ($P < 0,0001$).

Um total de 135 indivíduos da espécie *Sula leucogaster* foram analisados para nove regiões diferentes dos respectivos genomas (loci) contendo marcadores do tipo SSR. Desvios consistentes no desequilíbrio de ligação não foram encontrados para nenhum conjunto de dados desta espécie. As regiões analisadas exibiram um total de 29 variantes (alelos) (média de 3.22 alelos por locus) para as amostras coletadas antes do RBM e 41 alelos (média de 4.5 alelos por locus) para as amostras coletadas depois do RBM. Todas as regiões analisadas apresentaram variantes genéticas para ambos os conjuntos de dados. Valores descritivos da diversidade genética (média de alelos, riqueza alélica e diversidade gênica) encontrados para indivíduos de *S. leucogaster* amostrados após o RBM, mostram-se mais altos em relação aos amostrados antes do RBM, indicando há um aporte de novos alelos chegando na população do arquipélago de Abrolhos. Não entanto, o F_{IS} foi estimado em -0.04 (para amostras pré RBM) e 0.18 (para amostras pós RBM), sendo este último significativo para desvio do EHW, indicando que existe um número maior de indivíduos homozigotos do que o esperado para estas amostras. Para a espécie *Phaethon aethereus*, um total de 159 indivíduos foram analisados para 10 diferentes loci. Não foram encontrados desvios consistentes do desequilíbrio de ligação para nenhum conjunto de dados desta espécie. Na comparação entre dados pré e pós RBM, oito regiões analisadas foram variáveis para o conjunto pré RBM e nove foram variáveis para as amostras pós RBM. O F_{IS} estimado apresentou valor de 0.26 (amostras pré RBM) e 0.17 (amostras pós RBM), sendo ambos significativos para desvios no EHW. Esta espécie teve uma sutil perda de alelos na comparação entre os conjuntos de dados pré (33) e pós RBM (31). O número de alelos por locus teve um decréscimo considerável em relação às amostras coletadas antes do RBM, porém a diversidade gênica se manteve estável. Valores de heterozigosidade esperada e observada variaram pouco entre as amostragens feitas antes e depois do RBM. Porém a significância dos valores de F_{IS} para ambas as amostragens denota que esta espécie já sofre um desequilíbrio nas proporções de indivíduos heterozigotos e homozigotos desde antes do RBM.

Tabela 32: Parâmetros de diversidade genética de marcadores microssatélites analisados por ano de coleta para *Sula leucogaster*. Heterozigosidades observada (HO) e esperada (HE), coeficiente de endogamia (FIS).

	Pré	2019	2020	2021	2022
Nº amostral	41	14	19	41	20
Nº loci analisados	9	9	9	9	9
H _O	0,43	0,43	0,41	0,39	0,40
H _E	0,41	0,43	0,46	0,52	0,44
F _{IS}	-0,04	0,01	0,10	0,24*	0,08
Média de alelos	3,22 (29)	2,77 (25)	2,88 (26)	4 (36)	3,33 (30)
Riqueza alélica	2,40	2,38	2,44	2,73	2,56
Diversidade gênica	0,40	0,38	0,45	0,47	0,42
Proporção de loci polimórficos (%)	100	88,8	100	100	100

* Indica desvios significativos do Equilíbrio de Hardy-Weinberg ($P < 0,0001$).

Descrições dos padrões apresentados nessa tabela são mencionados nas legendas da Figura 45 e Figura 46.

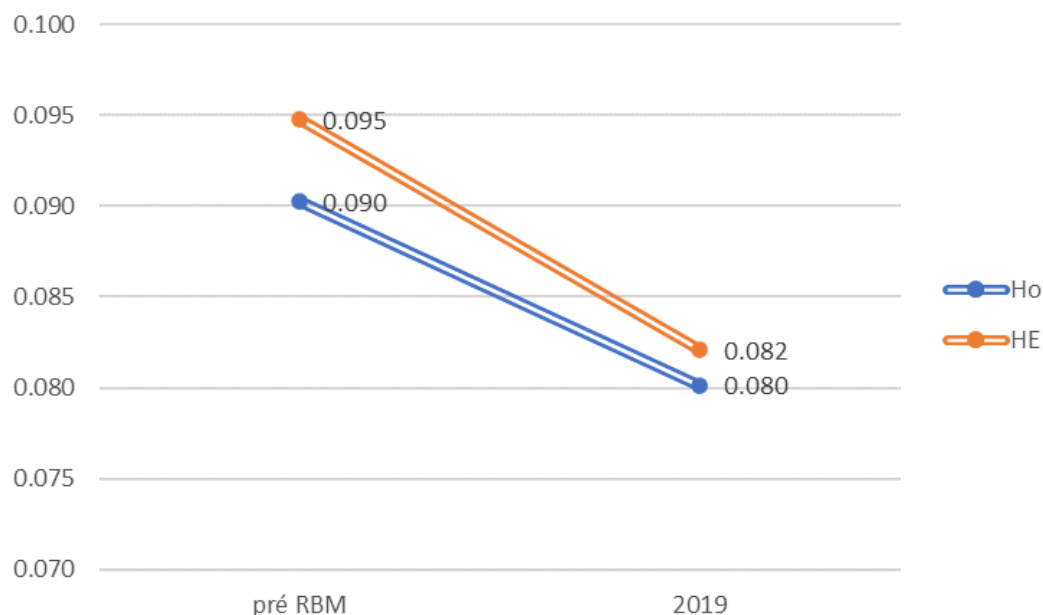
Tabela 33: Parâmetros de diversidade genética de marcadores microssatélites analisados por ano de coleta para *Phaethon aethereus*: Heterozigosidades observada (HO) e esperada (HE), coeficiente de endogamia (FIS).

	Pré	2018	2019	2021	2022
Nº amostral	48	20	17	56	18
Nº loci analisados	10	10	10	10	10
H _O	0.22	0.37	0.37	0.20	0.46
H _E	0.30	0.39	0.38	0.27	0.44
F _{IS}	0.26*	0.04	0.03	0.26*	-0.03
Média de alelos	3.3 (33)	2.2 (22)	2.1 (21)	3.1 (31)	2.2 (20)
Riqueza alélica	2.29	2.09	2.02	2.33	2.21
Diversidade gênica	0.22	0.26	0.18	0.22	0.24
Proporção de loci polimórficos (%)	80	70	60	90	50

* Indica desvios significativos do Equilíbrio de Hardy-Weinberg ($P < 0.0001$).

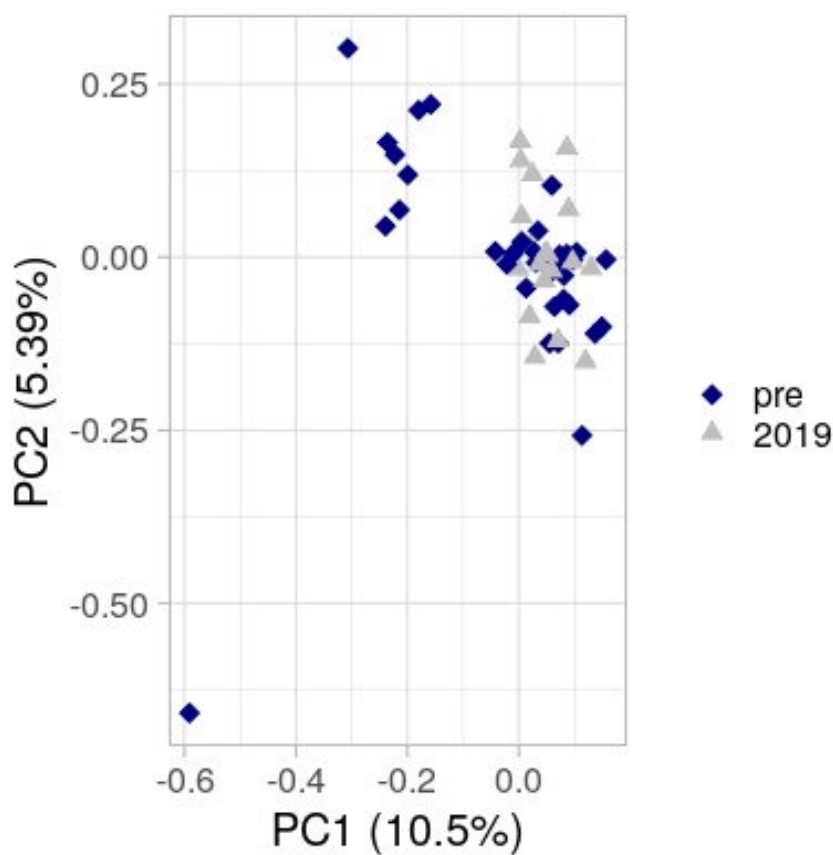
A comparação por ano de amostragem revela que dados pré RBM apresentaram mais alelos (33) do que qualquer ano de amostragem posterior, mesmo apresentando um N amostral ligeiramente mais baixo em comparação ao ano de 2021. A proporção de loci polimórficos também foi menor nos anos de 2019 e 2022. Quando analisados o valor do coeficiente de endogamia (FIS), os dois conjuntos de dados que apresentaram significância para desvios do EHW foram justamente os de valores mais baixos para HO e HE (pré RBM e 2021). Esta espécie teve uma sutil perda de alelos na comparação entre os conjuntos de dados pré e pós RBM. O número de alelos por locus teve um decréscimo considerável em relação às amostras coletadas antes do RBM, porém a diversidade gênica se manteve estável. Quando analisados por ano de amostragem, valores de riqueza alélica e diversidade gênica não oscilam muito. A discrepância de valores observada anteriormente entre dados pré e pós RBM (Tabela 29) deve-se ao conjunto de dados de 2021, que apresentou quase o dobro do número de alelos (comparado aos anos de 2018, 2019 e 2022). Embora o FIS, quando analisado por ano, tenha sido significativo apenas para os dados pré RBM e de 2021, existem indícios de que estas flutuações no número de heterozigotos na população efetiva possam ocorrer de forma recorrente. É importante ressaltar que a diversidade encontrada para esta espécie no arquipélago de Abrolhos é maior do que a encontrada para populações do Pacífico (Castillo-Guerrero et al., 2020), mesmo tendo um tamanho de população reprodutora estimada em apenas ~ 250 pares (Mancini et al. 2016). Portanto, a conservação das populações de *P. aethereus*, neste local, é extremamente necessária para manutenção de um pool genético diverso na espécie.

Figura 54: Comparação dos valores de heterozigosidade observada (HO) e esperada (HE) estimadas com base nos dados de NGS (marcadores SNPs), para amostras de *Sula leucogaster* coletadas antes do Rompimento da Barragem de Fundão (Pré RBM) e no ano 2019.



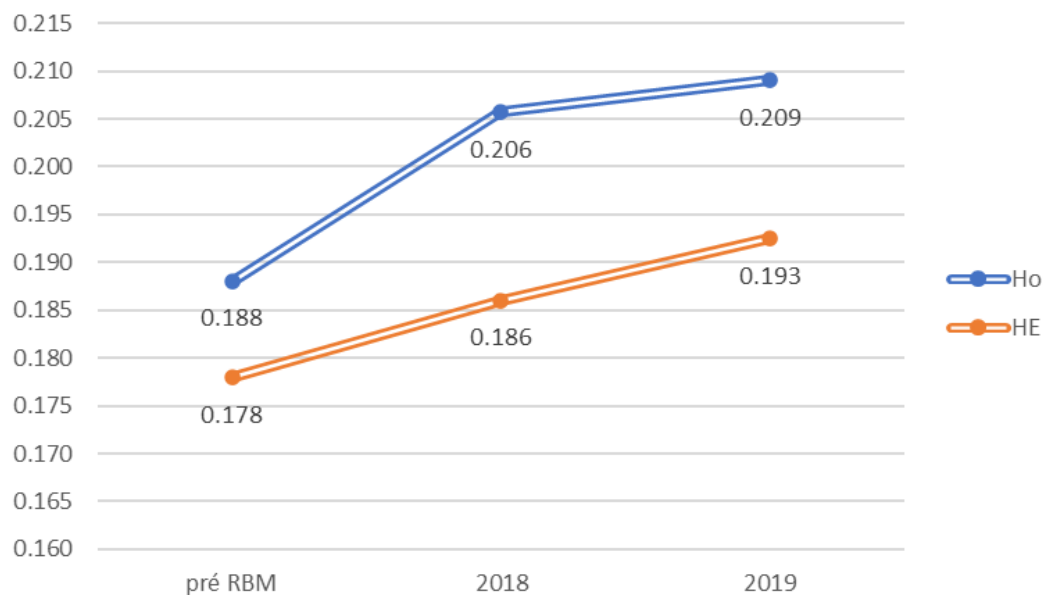
Análises exploratórias utilizando técnicas de sequenciamento de Nova Geração (Next Generation Sequencing – NGS) foram realizadas para um conjunto de dados iniciais, abrangendo amostras coletadas antes do RBM e até o ano de 2019. As heterozigosidades observadas (HO) e esperadas (HE) para esta espécie antes do RBM foram de 0,090 e 0,095, respectivamente, mostrando uma leve diminuição para o ano de 2019 (HO = 0,080 e HE = 0,082). Apesar das diferenças entre as HO e HE, o valor do coeficiente de endogamia (FIS) apresentou valores muito próximos de zero e nenhum dos dados apresentou desvio significativo do EHW.

Figura 55: Análise de Coordenadas Principais (PCA) baseado nos marcadores SNPs, comparando a distância genética entre as amostras de *Sula leucogaster* analisadas antes do Rompimento da Barragem de Fundão (Pré) e no ano 2019.



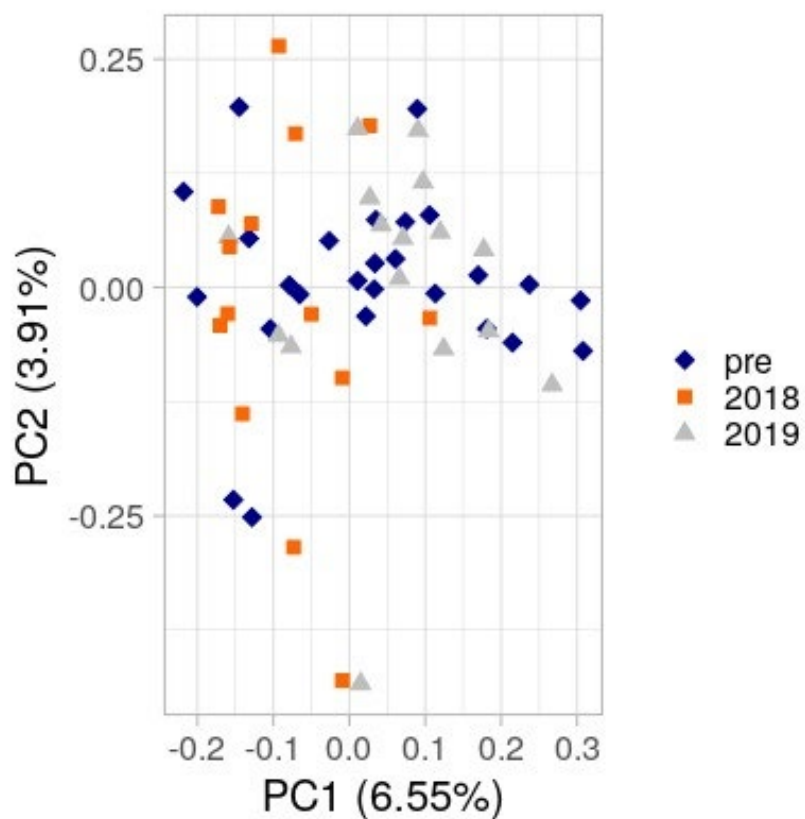
A análise mostra uma ampla sobreposição na composição genética nos dois conjuntos de dados. No entanto, parece existir uma maior amplitude na composição genética pré-rompimento do que no ano de 2019.

Figura 56: Comparação dos valores de heterozigosidade observada (HO) e esperada (HE) baseado nos marcadores SNPs, para amostras de *Phaethon aethereus* coletadas antes do Rompimento da Barragem de Fundão (Pré RBM) e nos anos 2018 e 2019.



As HO e HE amostram um incremento gradual ao longo dos anos. O valor da HO foi de 0,188 pré RBM, 0,206 no ano 2018 e 0,209 no ano 2019, enquanto a HE foi de 0,178 pré RBM, 0,186 no ano 2018 e 0,193 no ano 2019. O F_{IS} apresentou valores negativos para todos os dados, indicando que a população se encontra em EHW ao longo dos anos amostrados.

Figura 57: Análise de Coordenadas Principais (PCA) baseado nos marcadores SNPs, comparando a distância genética entre as amostras de *Phaethon aethereus* analisadas antes do Rompimento da Barragem de Fundão (Pré) e nos anos 2018 e 2019.



O resultado desta análise mostra uma completa superposição dos dados, indicando que, com este método, não se observam divergências genéticas entre os distintos anos amostrados.

Tabela 34: Parâmetros de diversidade genética de marcadores SNPs para as populações analisadas: Heterozigosidades observada (HO) e Esperada (HE), coeficiente de endogamia (F_{IS}), Diversidade nucleotídica (π) e Proporção de loci polimórficos dada em porcentagem (P).

	<i>Sula leucogaster</i>		<i>Phaethon aethereus</i>		
	pré RBM	2019	pré RBM	2018	2019
Nº amostral	36	20	26	14	16
Nº loci	287	287	200	200	200
HO	0,090	0,080	0,188	0,206	0,209
HE	0,095	0,082	0,178	0,186	0,193
F_{IS}	0,023	0,009	-0,032	-0,032	-0,018
π^*	0,0011	0,0010	0,0009	0,0010	0,0010
P (%)	45,29	30,31	79,5	73,5	77,5

* Valores estimados considerando todos os sítios (variantes e invariantes) para *S. leucogaster* (N = 106104) e *P. aethereus* (N = 86104).

Para as duas espécies foram analisados 56 indivíduos. No caso de *Sula leucogaster*, 36 amostras correspondem ao período pré rompimento e 20 ao ano de 2019, enquanto para *Phaethon aethereus*, 26 indivíduos foram amostrados pré rompimento, 14 no ano 2018, e 16 no ano 2019. Após aplicar todos os filtros, foram retidos 287 SNPs (*Single Nucleotide Polymorphism*) para *S. leucogaster* e 200 para *P. aethereus*, com base nos quais foram calculados os índices de diversidade, HO, HE e F_{IS} e a proporção de loci polimórficos. As heterozigosidades (HO e HE) encontradas para as duas espécies apresentaram valores baixos, sendo menores que os reportados anteriormente com base nos marcadores de microsatélites. Além disso, não foram encontradas diferenças significativas entre as HO e HE para nenhuma das espécies, e valores de F_{IS} negativos ou muito próximos de zero, demonstrando que, sob este método de análise, não houve desvios do EHW para nenhuma das amostras analisadas. Grandes diferenças entre os valores de diversidade genética estimados com SNPs e microsatélites têm sido reportadas em diversos estudos (Sunde et al. 2020, Zimmerman et al. 2020), e podem ser explicadas pelas características inerentes aos processos mutacionais de ambos os marcadores. Assim, a alta taxa de mutação e o alto grau de polimorfismo nos microsatélites em comparação aos SNPs, podem gerar valores inflados nas heterozigosidades (Hamblin et al. 2007), fazendo que os valores absolutos entre ambos os métodos não sejam diretamente comparáveis. No entanto, uma baixa diversidade para as duas espécies é detectada por ambos os métodos, coincidindo com o padrão encontrado em estudos prévios (Castillo-Guerrero et al. 2020, Morris-Pocock et al. 2011, 2012, Nunes et al. 2017). A diversidade nucleotídica (π), que expressa o grau de polimorfismo em uma população no nível de nucleotídeos (Nei & Li, 1979), foi estimada considerando todos os sítios (variantes e invariantes) para evitar viés associados à presença de dados faltantes. Assim, um total de 106104 sítios foram avaliados para *S. leucogaster* e 86104 para *P. aethereus*, encontrando valores baixos e muito similares para ambas às espécies ao longo dos anos amostrados (~0,001), o que coincide com estimações de π reportadas em estudos anteriores para distintas localidades de *Sula* spp. (Morris-Pocock et al. 2011, 2012) e outras aves marinhas (Mancilla-Morales et al. 2022). A proporção de loci polimórficos encontrada com este método mostrou uma leve diminuição nas duas espécies, nos anos pós rompimento, em comparação com os valores pré rompimento. Essa diminuição foi maior para *S.*

leucogaster (de 45 a 30%) que para *P. aethereus* (de 79 a 73 e 77% para os anos pré, 2018 e 2019, respectivamente). A análise completa com as amostras dos anos faltantes permitirá avaliar com maior profundidade os padrões de diversidade destas espécies ao longo do tempo, assim como confirmar e aprofundar as tendências evidenciadas até o momento com os marcadores de microsatélites. É muito importante destacar que mudanças significativas nas estruturas genéticas das populações acontecem em tempos geracionais, em especial para as espécies de aves marinhas que são alvo do presente monitoramento, as quais possuem tempos de geração de cerca de 15 a 20 anos. Nesse contexto, o presente monitoramento deveria ser continuado em longo prazo, a fim de poder confirmar as tendências aqui encontradas.

Tabela 35: Lista das amostras coletadas por espécie, por ano no Arquipélago de Abrolhos, durante o período chuvoso e seco, até o quarto ano de monitoramento e período chuvoso do quinto ano.

Legenda: N: total de indivíduos amostrados no período; * amostras não coletadas devido à pandemia de COVID-19; - não tiveram amostras coletadas no período.

Espécies/Período		Chuvoso (outubro-março)				Seco (abril-setembro)			
<i>Phaethon aethereus</i>	N	Esfregaços	Suabes	Sangue	N	Esfregaços	Suabes	Sangue	
Ano 1 (2018/2019)	22	22	22	22	16	16	16	16	
Ano 2 (2019/2020)	27	27	27	27	*	*	*	*	
Ano 3 (2020/2021)	27	20	27	20	30	30	27	30	
Ano 4 (2021/2022)	21	21	21	21	19	19	19	19	
Ano 5 (2022/2023)	20	20	20	20	-	-	-	-	
<i>Sula leucogaster</i>	N	Esfregaços	Suabes	Sangue	N	Esfregaços	Suabes	Sangue	
Ano 1 (2018/2019)	-	-	-	-	33	33	20	33	
Ano 2 (2019/2020)	21	21	21	21	*	*	*	*	
Ano 3 (2020/2021)	20	20	16	16	20	20	20	20	
Ano 4 (2021/2022)	11	10	11	11	21	21	21	21	
Ano 5 (2022/2023)	21	21	21	21	-	-	-	-	

Para a coleta de amostras biológicas, foram realizadas expedições ao Arquipélago de Abrolhos. Ano um, estação chuvosa (novembro de 2018 e fevereiro 2019), no qual foram amostrados 22 indivíduos de *Phaethon aethereus* e estação seca (abril de 2019) no qual foram amostrados 16 indivíduos de *P. aethereus* e 33 indivíduos de *Sula leucogaster*. Ano dois, na estação chuvosa (fevereiro de 2020) foram amostrados 27 indivíduos de *P. aethereus* e 21 indivíduos de *S. leucogaster*. Contudo, não foram realizadas coletas da estação seca no ano de 2020 devido à pandemia de COVID-19. Ano três de monitoramento, foram coletadas amostras na estação chuvosa (fevereiro de 2021) de 27 indivíduos de *P. aethereus* e 20 indivíduos de *S. leucogaster*. Na estação seca (agosto de 2021) foram amostrados 30 indivíduos *P. aethereus* e 20 indivíduos de *S. leucogaster*. No quarto ano de monitoramento, na estação chuvosa (março de 2022) foram amostrados 21 indivíduos de *P. aethereus* e 11 indivíduos de *S. leucogaster*. Na estação seca (agosto de 2022), foram amostrados 19 indivíduos de *P. aethereus* e 21 indivíduos de *S. leucogaster*. No quinto ano de monitoramento, na estação chuvosa (março de 2023), foram amostrados 20 indivíduos de *P. aethereus* e 21 de *S. leucogaster*. Dos indivíduos

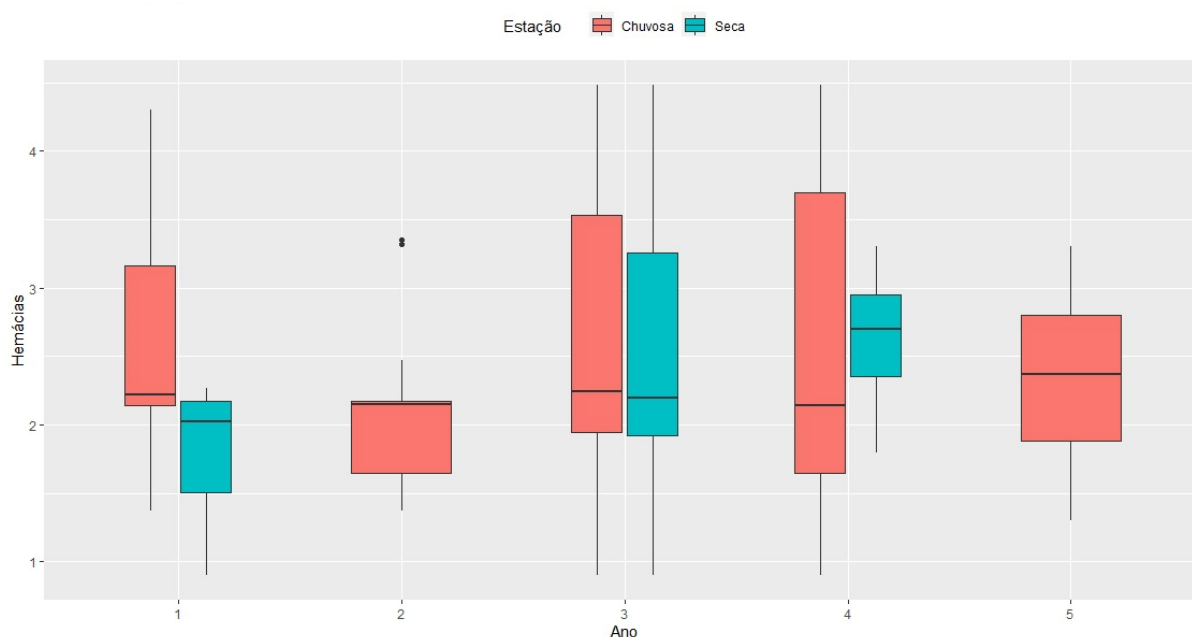
amostrados, foram realizados coleta de sangue, esfregaços sanguíneos, suabes de orofaringe e cloaca.

Tabela 36: Lista das amostras coletadas por espécie de Sternidae, por ano, na Foz do Rio Doce, durante o período chuvoso, no quinto ano de monitoramento. Legenda: N: total de indivíduos amostrados no período.

Foz do Rio Doce				
Espécies/Período	Chuvoso (outubro-março)			
<i>Sterna hirundo</i>	N	Esfregaços	Suabes	Sangue
Ano 5 (2022/2023)	23	23	23	23
<i>Sternula superciliaris</i>	N	Esfregaços	Suabes	Sangue
Ano 5 (2022/2023)	4	4	4	4
<i>Thalasseus acutiflavus</i>	N	Esfregaços	Suabes	Sangue
Ano 5 (2022/2023)	9	9	9	9

No quinto ano de monitoramento, na estação chuvosa (dezembro de 2022), foram amostrados 23 indivíduos de *Sterna hirundo*, 4 de *Sternula superciliaris*, e 9 de *Thalasseus acutiflavus*. Dos indivíduos amostrados, foram realizados coleta de sangue, esfregaços sanguíneos, suabes de orofaringe e cloaca.

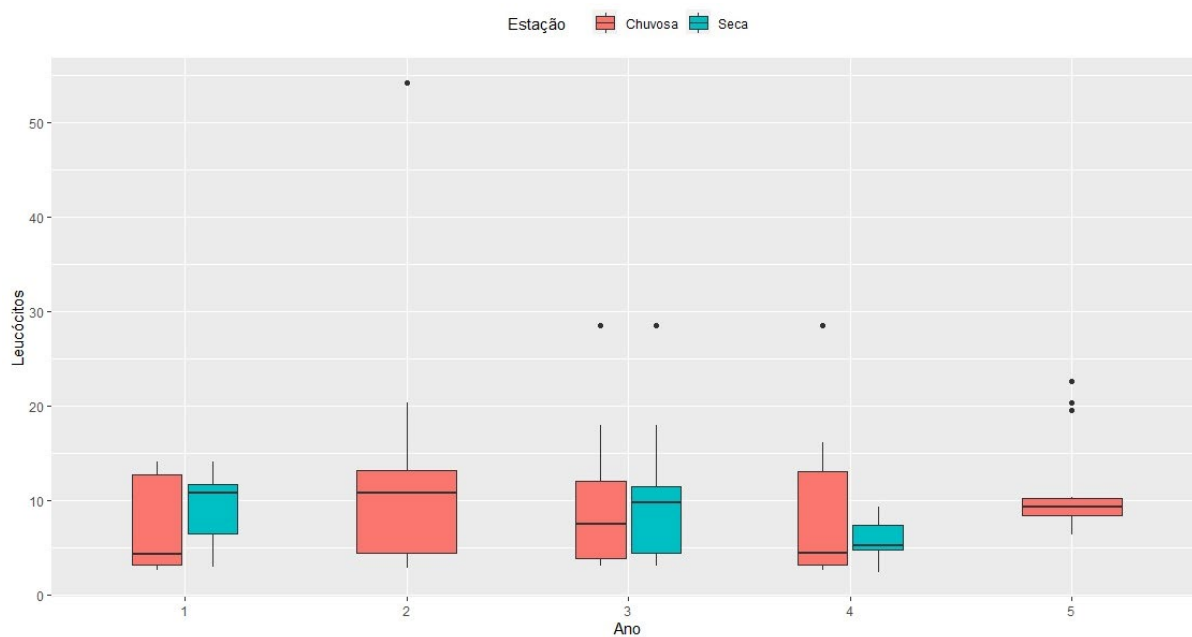
Figura 58: Boxplot da contagem hemácias de *Phaethon aethereus*, por estação durante os quatro anos de monitoramento e período chuvoso do quinto ano no arquipélago de Abrolhos. No Ano 2, na estação seca, as amostras não foram coletadas devido à pandemia de COVID-19. Resultados apresentados, mostram que, as aves estavam em condição satisfatórias de saúde, não demonstrando alterações significativas entre os períodos, estação e ano de coleta. As contagens de hemácias mantiveram-se dentro de esperado de uma ave hígida, com alguns valores abaixo no primeiro ano na estação seca e no quarto e quinto ano na estação chuvosa.



O resultado das contagens das hemácias realizadas, no geral, indicou que as aves estavam em condição satisfatórias de saúde neste método analítico, não sendo visto diferenças, da contagem de hemácias, entre os semestres e estações de coleta, não mostrando diferença significativa entre

períodos e anos (uma baixa contagem foi vista no primeiro ano na estação seca e no quarto e quinto ano na estação chuvosa). As contagens de hemácias mantiveram-se dentro de esperado de uma ave hígida. Contudo, a partir da campanha de abril de 2019 no Arquipélago de Abrolhos, as aves apresentaram uma aparente desidratação, verificada no momento da venopunção, especialmente nas contagens da estação chuvosa. Esse mesmo evento foi observado nas campanhas dos anos seguintes, 2020 (ano 02), 2021 (ano 03) e 2022 (ano 04), mas não sendo significativo para alterações no hemograma e hematoscopia (em lâmina pontos de hemoconcentração). No quinto ano, na estação chuvosa, foi possível constatar, em alguns indivíduos uma baixa contagem de hemácias, o que poderia configurar o início de um processo de anemia. Contudo, não foram vistas em extensão sanguínea, sinais de regeneração. No geral, as aves amostradas nesse período apresentaram valores de contagem dentro do esperado.

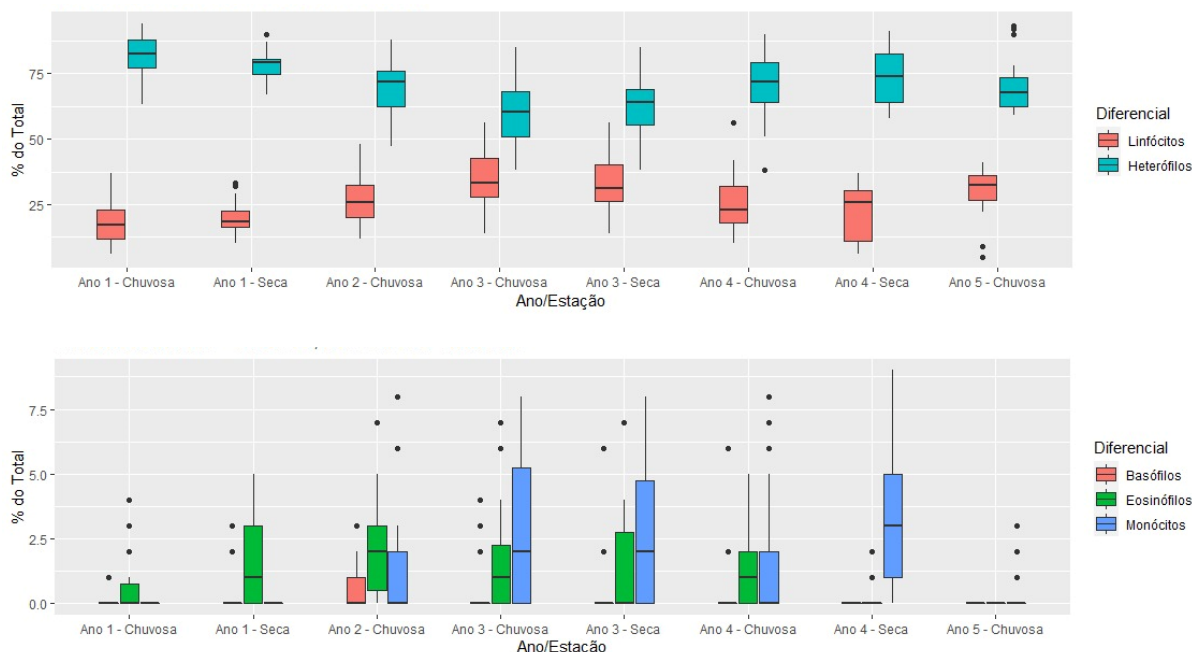
Figura 59: Boxplot da contagem de leucócitos de *Phaethon aethereus*, por estação durante os quatro anos de monitoramento e período chuvoso do quinto ano no arquipélago de Abrolhos. No Ano 2, na estação seca, as amostras não foram coletadas devido à pandemia de COVID-19. Resultados apresentados, mostram que, as aves estavam em condição satisfatórias de saúde, não demonstrando alterações significativas entre os períodos, estação e ano de coleta. No geral, as contagens de leucócitos mantiveram-se dentro da normalidade de uma ave hígida, com algumas observações no segundo ano, na estação chuvosa, no terceiro ano em ambas as estações no quarto e quinto ano, na estação chuvosa, poucos indivíduos apresentaram uma contagem superior de leucócitos.



O resultado da contagem de leucócitos realizadas indicou que as aves estavam em condição satisfatórias de saúde, neste método analítico, não sendo visto diferenças, da contagem de leucócitos, entre os semestres e estações de coleta, não mostrando diferença significativa entre períodos e anos na grande maioria das aves. No geral, as contagens de leucócitos mantiveram-se dentro de esperado de uma ave hígida. Contudo, a partir da campanha de abril de 2019 no Arquipélago de Abrolhos, as aves apresentaram uma aparente desidratação, verificada no momento da venopunção. Esse mesmo evento foi observado nas campanhas dos anos seguintes, 2020 (ano 02), 2021 (ano 03) e 2022 (ano 04), mas não sendo significativo para alterações. Além disso, tivemos um indivíduo no segundo ano, na estação chuvosa, no terceiro ano em ambas as estações, no quarto ano na estação chuvosa, e no

quinto ano, três indivíduos, na estação chuvosa, apresentaram uma contagem superior de leucócitos, configurando uma discreta leucocitose. No entanto, não foram vistos sinais de regeneração.

Figura 60: Boxplot da contagem dos parâmetros hematológicos (diferenciais) de *Phaethon aethereus*, nas estações chuvosa e seca durante os quatro anos de monitoramento e período chuvoso do quinto ano. Linfócitos e heterófilos são mostrados na figura de cima, enquanto basófilos, eosinófilos e monócitos são mostrados na figura de baixo.



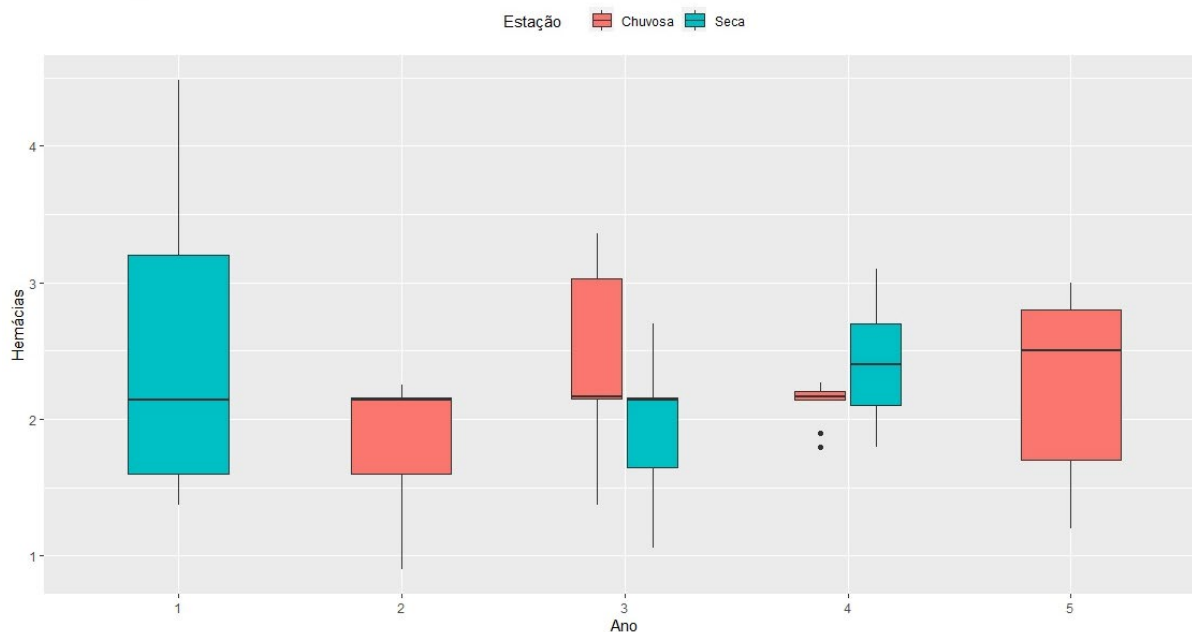
No Ano 2, na estação seca, as amostras não foram coletadas devido à pandemia de COVID-19. Resultados apresentados, mostram que as aves estavam em condição satisfatórias de saúde, não demonstrando alterações significativas entre os períodos, estação e ano de coleta, apenas em três indivíduos do quinto ano, estação chuvosa, a contagem de heterófilos foi observada acima da normalidade. Uma predominância relativa de heterófilos sobre os linfócitos foi observada em todos os períodos analisados, sendo os heterófilos com maior frequência em relação a todos os tipos celulares diferenciais. Em nenhuma amostra foi observado heterófilos imaturos ou qualquer sinal de regeneração, o que caracterizaria processos inflamatórios e/ou infecciosos agudos. Os outros tipos leucocitários apresentaram-se dentro do limite de normalidade para indivíduos saudáveis, incluindo eosinófilos e monócitos e basófilos, cuja presença é escassa. Os resultados da contagem dos parâmetros hematológicos (diferenciais) não indicaram nenhuma anormalidade. No quinto ano de monitoramento, apenas três indivíduos, tiveram a contagem de heterófilos acima da normalidade. Uma predominância relativa de heterófilos sobre os linfócitos foi observada em todos os períodos analisados, sendo a presença de heterófilos com maior frequência em relação a todos os tipos celulares diferenciais (linfócito, basófilo, eosinófilo e monócito), comumente reportado na literatura para aves piscívoras e carnívoras. Em nenhuma amostra foi observado heterófilos imaturos, o que caracterizaria processos inflamatórios e/ou infecciosos agudos. Os outros tipos leucocitários apresentaram-se dentro do limite de normalidade para os indivíduos, incluindo eosinófilos e monócitos e basófilos, cuja presença é escassa.

Tabela 37: Parâmetros hematológicos de *Phaethon aethereus* amostrados no arquipélago dos Abrolhos durante os quatro anos de monitoramento em estações seca e chuvosa, demonstrados com os intervalos de valores médios, mínimos e máximos. No Ano 2 na estação seca, as amostras não foram coletadas devido à pandemia de COVID-19. Basófilos, Eosinófilos, Linfócitos, Heterófilos e Monócitos estão representados em %. Legenda: Min – Mínimo; Máx – Máximo.

	Ano 1						Ano 2			Ano 3						Ano 4						Ano 5		
	Chuvoso			Seco			Chuvoso			Chuvoso			Seco			Chuvoso			Seco			Chuvoso		
	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.
Hemácia	2,5	1,4	3,7	1,9	1,4	2,3	1,9	1,9	1,9	2,7	1,4	4,5	2,5	1,4	4,3	2,7	1,4	4,9	2,6	1,8	3,3	2,3	1,3	3,3
Leucócito	7,7	2,9	13,2	8,7	2,9	10,9	7,6	7,6	7,6	9,0	3,1	28,6	8,6	3,1	18,6	7,7	2,7	18,6	6,0	2,4	9,4	10,8	6,4	22,6
Basófilos	0,1	0,0	1,0	0,3	0,0	3,0	0,6	0,6	0,6	0,3	0,0	6,0	0,3	0,0	6,0	0,5	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Eosinófilos	0,6	0,0	4,0	1,4	0,0	5,0	3,5	3,5	3,5	1,7	0,0	7,0	1,6	0,0	7,0	1,4	0,0	5,0	0,3	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0
Linfócitos	18,7	6,0	37,0	20,3	10,0	33,0	28,1	28,1	28,1	34,9	14,0	56,0	32,6	14,0	56,0	25,0	10,0	56,0	21,8	6,0	37,0	29,5	5,0	41,0
Heterófilos	80,6	63,0	94,0	78,0	67,0	90,0	66,7	66,7	66,7	59,8	38,0	85,0	62,8	38,0	85,0	71,3	38,0	90,0	74,0	58,0	91,0	69,9	59,0	93,0
Monócitos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	1,2	1,2	2,7	0,0	8,0	2,7	0,0	8,0	1,8	0,0	8,0	3,4	0,0	9,0	0,4	0,0	3,0
Campos por 100	80,6	53,0	126,0	83,8	45,0	119,0	97,7	97,7	97,7	87,4	52,0	140,0	84,0	30,0	140,0	86,3	52,0	124,0	40,3	22,0	60,0	87,5	25,0	115,0

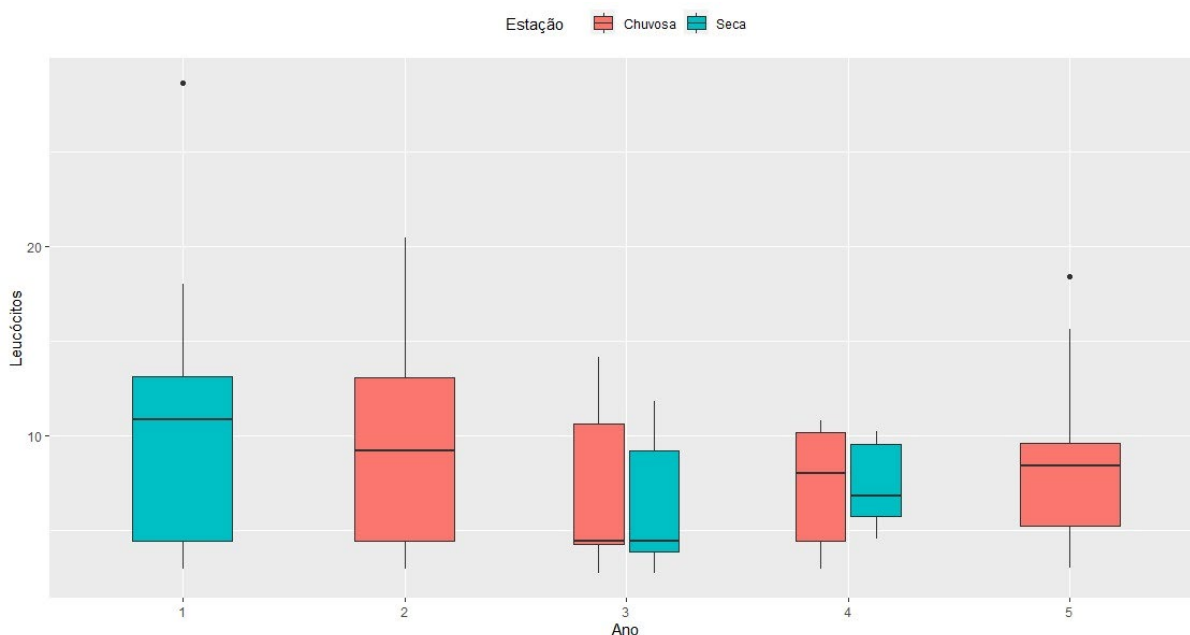
Os parâmetros hematológicos de *Phaethon aethereus* amostrados no arquipélago dos Abrolhos durante os quatro anos de monitoramento em estações seca e chuvosa, foram demonstrados com os intervalos de valores médios, mínimos e máximos para termos um comparativo desses valores durante os anos e períodos sendo demonstrado os valores de contagem de hemácia, leucócitos e percentuais de heterofilos, linfócitos, basófilos, eosinófilos e monócitos analisados pela hematoscopia avaliados em extensão sanguínea na contagem em campos de 100 células.

Figura 61: Boxplot da contagem de hemácias de *Sula leucogaster*, por estação durante os quatro anos de monitoramento e período chuvoso do quinto ano no arquipélago de Abrolhos. Ano 1, foram coletadas somente amostras no período de seca. No Ano 2, na estação seca, as amostras não foram coletadas devido à pandemia de COVID-19. Resultados apresentados, mostram que, as aves estavam em condição satisfatórias de saúde, não demonstrando alterações significativas entre os períodos, estação e ano de coleta. As contagens de hemácias mantiveram-se dentro de esperado de uma ave hígida.



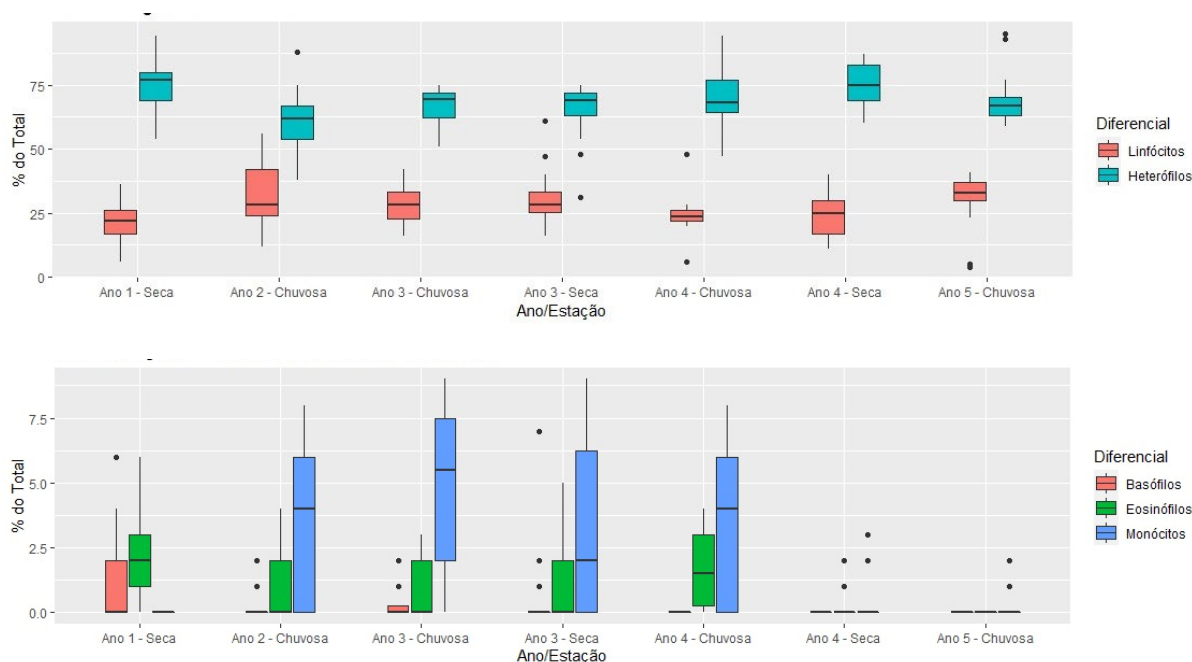
O resultado da contagem de hemácias realizado indicou que as aves estavam em condição satisfatórias de saúde, neste método analítico, não sendo visto diferenças, da contagem de hemácias, entre os semestres e estações de coleta, não mostrando diferença significativa entre períodos e anos. As contagens de hemácias mantiveram-se dentro de esperado de uma ave hígida. Contudo, a partir da campanha de abril de 2019 no Arquipélago de Abrolhos, as aves apresentaram uma aparente desidratação, verificada no momento da venopunção. Esse mesmo evento foi observado nas campanhas dos anos seguintes, 2020 (ano 02), 2021 (ano 03) e 2022 (ano 04), mas não sendo significativo para alterações no hemograma e hematoscopia (em lâmina pontos de hemoconcentração).

Figura 62: Boxplot da contagem de leucócitos de *Sula leucogaster*, por estação durante os quatro anos de monitoramento e período chuvoso do quinto ano no arquipélago de Abrolhos. Ano 1, foram coletadas somente amostras na seca. No Ano 2, na estação seca, as amostras não foram coletadas devido à pandemia de COVID-19. Resultados apresentados, mostram que, no geral, as aves estavam em condição satisfatórias de saúde, não demonstrando alterações significativas entre os períodos, estação e ano de coleta. As contagens de leucócitos mantiveram-se dentro de esperado de uma ave hígida, sendo observado uma contagem alta de leucócitos em poucos indivíduos do primeiro ano, na estação seca, segundo ano na estação chuvosa e quinto ano na estação chuvosa.



O resultado da contagem de leucócitos realizadas indicou que as aves estavam em condição satisfatórias de saúde, neste método analítico, não sendo visto diferenças, da contagem de leucócitos, entre os semestres e estações de coleta, não mostrando diferença significativa entre períodos e anos. As contagens de leucócitos mantiveram-se dentro de esperado de uma ave hígida. Contudo, a partir da campanha de abril de 2019 no Arquipélago de Abrolhos, as aves apresentaram uma aparente desidratação, verificada no momento da venopunção. Esse mesmo evento foi observado nas campanhas dos anos seguintes, 2020 (ano 02), 2021 (ano 03) e 2022 (ano 04), mas não sendo significativo para alterações. Apesar de no geral as aves apresentarem contagens dentro da normalidade, foi observado uma contagem alta de leucócitos em poucos indivíduos do primeiro ano, na estação seca, segundo ano na estação chuvosa e quinto ano na estação chuvosa, configurando uma discreta leucocitose. No entanto, não foram vistos sinais de regeneração.

Figura 63: Boxplot dos parâmetros hematológicos (diferenciais) de *Sula leucogaster*, nas estações chuvosa e seca durante os quatro anos de monitoramento e período chuvoso do quinto ano. Linfócitos e heterófilos são mostrados na figura de cima, enquanto basófilos, eosinófilos e monócitos são mostrados na figura de baixo. No Ano 2, na estação seca, as amostras não foram coletadas devido à pandemia de COVID-19. Resultados apresentados, mostram que, as aves estavam em condição satisfatórias de saúde, não demonstrando alterações significativas entre os períodos, estação e ano de coleta. Uma predominância relativa de heterófilos sobre os linfócitos foi observada em todos os períodos analisados, sendo os heterófilos com maior frequência em relação a todos os tipos celulares diferenciais. Em nenhuma amostra foi observado heterófilos imaturos, o que caracterizaria processos inflamatórios e/ou infecciosos agudos. Os outros tipos leucocitários apresentaram-se dentro do limite de normalidade para indivíduos sadios, incluindo eosinófilos e monócitos e basófilos, cuja presença é escassa.



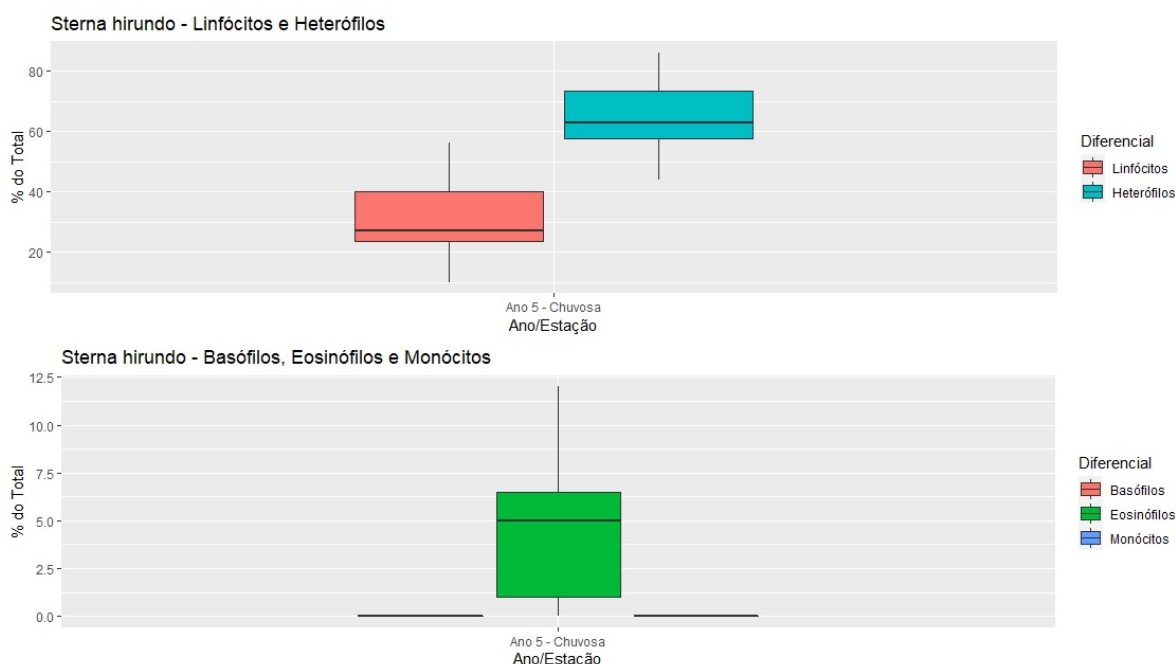
Os resultados da contagem dos parâmetros hematológicos (diferenciais) não indicaram nenhuma anormalidade. Uma predominância relativa de heterófilos sobre os linfócitos foi observada em todos os períodos analisados, sendo a presença de heterófilos com maior frequência em relação a todos os tipos celulares diferenciais (linfócito, basófilo, eosinófilo e monócito), comumente reportado na literatura para aves piscívoras e carnívoras. Em nenhuma amostra foi observado heterófilos imaturos, o que caracterizaria processos inflamatórios e/ou infecciosos agudos. Os outros tipos leucocitários apresentaram-se dentro do limite de normalidade para os indivíduos, incluindo eosinófilos e monócitos e basófilos, cuja presença é escassa.

Tabela 38: Parâmetros hematológicos de *Sula leucogaster* amostrados no arquipélago dos Abrolhos durante os quatro anos de monitoramento em estações seca e chuvosa, demonstrados com os intervalos de valores médios, mínimos e máximos No Ano 2 na estação seca, as amostras não foram coletadas devido à pandemia de COVID-19. Basófilos, Eosinófilos, Linfócitos, Heterófilos e Monócitos estão representados em %. Legenda: Min – Mínimo; Máx – Máximo.

	Ano 1			Ano 2			Ano 3						Ano 4						Ano 5		
	Seco			Chuvoso			Chuvoso			Seco			Chuvoso			Seco			Chuvoso		
	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.
Hemácia	2,0	1,4	3,7	1,9	1,4	2,5	2,1	1,0	3,2	2,0	1,1	2,7	2,1	1,8	2,3	2,4	1,8	3,1	2,3	1,2	3,0
Leucócito	7,8	2,9	10,9	7,3	2,9	11,8	6,2	2,7	10,9	6,2	2,7	11,8	7,2	2,9	10,8	7,3	4,5	10,2	8,5	3,0	18,4
Basófilos	1,1	0,0	6,0	0,1	0,0	2,0	0,3	0,0	2,0	0,6	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Eosinófilos	1,9	0,0	6,0	1,1	0,0	4,0	0,9	0,0	3,0	1,0	0,0	5,0	1,8	0,0	4,0	0,1	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0
Linfócitos	21,8	6,0	36,0	32,8	12,0	56,0	27,9	16,0	42,0	30,2	16,0	61,0	24,5	6,0	48,0	24,4	11,0	40,0	29,7	4,0	41,0
Heterófilos	75,2	54,0	94,0	61,6	38,0	88,0	66,0	51,0	75,0	65,1	31,0	75,0	70,2	47,0	94,0	75,0	60,0	87,0	70,1	59,0	95,0
Monócitos	0,0	0,0	0,0	3,6	0,0	8,0	5,1	0,0	9,0	3,2	0,0	9,0	3,5	0,0	8,0	0,5	0,0	3,0	0,2	0,0	2,0
Campos por 100	95,7	48,0	184,0	76,3	47,0	97,0	77,2	13,0	113,0	90,3	30,0	135,0	80,9	48,0	107,0	48,2	28,0	80,0	81,6	28,0	115,0

Os parâmetros hematológicos de *Sula leucogaster* amostrados no arquipélago dos Abrolhos durante os quatro anos de monitoramento em estações seca e chuvosa, foram demonstrados com os intervalos de valores médios, mínimos e máximos para termos um comparativo desses valores durante os anos e períodos sendo demonstrado valores de contagem de hemácia, leucócitos e percentuais de heterofilos, linfócitos, basófilos, eosinófilos e monócitos analisados pela hematoscopia avaliados em extensão sanguínea na contagem em campos de 100 células.

Figura 64: Boxplot da contagem dos parâmetros hematológicos (diferenciais) de *Sterna hirundo*, na estação chuvosa do quinto ano de monitoramento. Linfócitos e heterófilos são mostrados na figura de cima, enquanto basófilos, eosinófilos e monócitos são mostrados na figura de baixo.



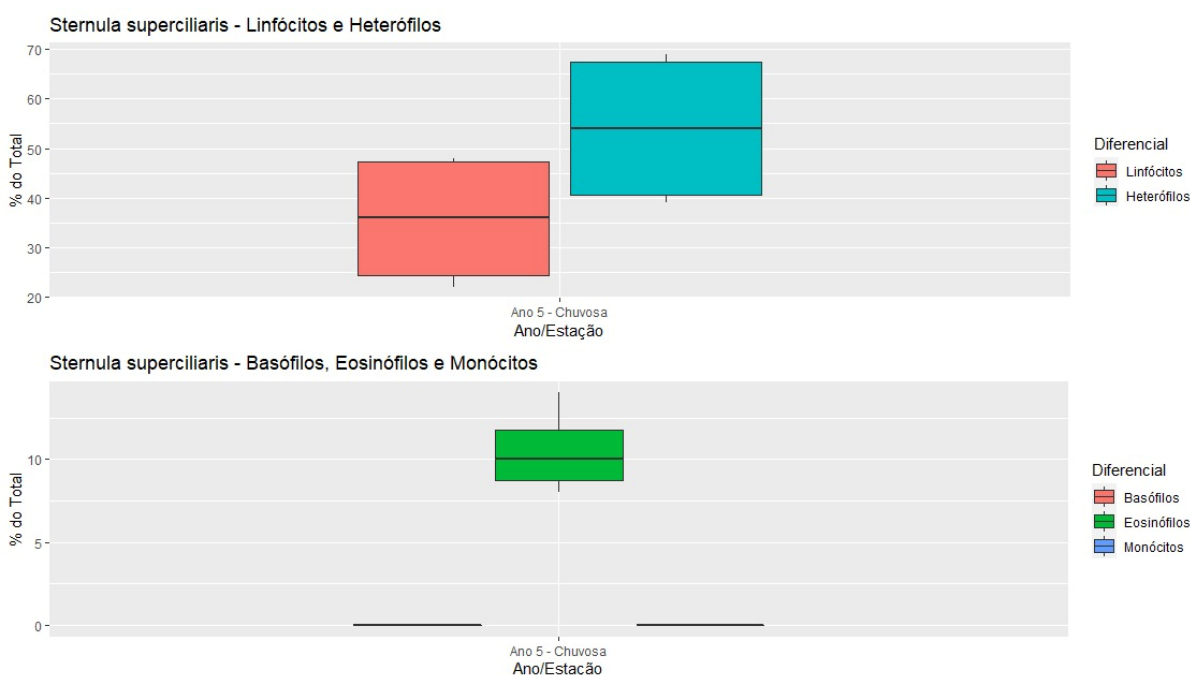
Resultados apresentados demonstram quem uma predominância de heterófilos sobre os linfócitos foi observada, sendo os heterófilos com maior frequência em relação a todos os tipos celulares diferenciais. Em nenhuma amostra foi observado heterófilos imaturos ou qualquer sinal de regeneração, o que caracterizaria processos inflamatórios e/ou infecciosos agudos. Os outros tipos leucocitários apresentaram-se dentro do limite de normalidade para indivíduos sadios, incluindo eosinófilos mais frequente que monócitos e basófilos, cuja presença é escassa. Os resultados da contagem dos parâmetros hematológicos (diferenciais) não indicaram nenhuma anormalidade, apesar da contagem de heterófilos estar elevada. Uma heterofilia relativa sobre os linfócitos foi observada em todos os períodos analisados, sendo a presença de heterófilos com maior frequência em relação a todos os tipos celulares diferenciais (linfócito, basófilo, eosinófilo e monócito), comumente reportado na literatura para aves piscívoras e carnívoras. Em nenhuma amostra foi observado heterófilos imaturos ou qualquer outra alteração de regeneração, o que caracterizaria processos inflamatórios e/ou infecciosos agudos. Os outros tipos leucocitários apresentaram-se dentro do limite de normalidade para os indivíduos, incluindo eosinófilos mais frequente que monócitos e basófilos, cuja presença é escassa.

Tabela 39: Parâmetros hematológicos de *Sterna hirundo* amostrados na foz do Rio Doce na estação chuvosa do quinto ano de monitoramento, demonstrados com os intervalos de valores médios, mínimos e máximos. Legenda: Min – Mínimo; Máx – Máximo; * Não tiveram amostras coletadas no período.

	Chuvoso			Seco		
	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.
Hemácia	*	*	*	*	*	*
Leucócito	*	*	*	*	*	*
Basófilos %	0,00	0,00	0,00	*	*	*
Eosinófilos %	4,74	0,00	12,00	*	*	*
Linfócitos %	30,96	10,00	56,00	*	*	*
Heterófilos %	64,74	44,00	86,00	*	*	*
Monócitos %	0,00	0,00	0,00	*	*	*
Campos por 100	65,83	36,00	98,00	*	*	*

Os parâmetros hematológicos de *Sterna hirundo* amostrados na foz do Rio Doce, Espírito Santo, durante o quinto ano de monitoramento na estações chuvosa, foram demonstrados com os intervalos de valores médios, mínimos e máximos para termos um comparativo desses valores durante os anos e períodos sendo demonstrado valores de contagem de percentuais de heterófilos, linfócitos, basófilos, eosinófilos e monócitos analisados pela hematoscopia avaliados em extensão sanguínea na contagem em campos de 100 células.

Figura 65: Boxplot da contagem dos parâmetros hematológicos (diferenciais) de *Sternula superciliaris*, na estação chuvosa do quinto ano de monitoramento. Linfócitos e heterófilos são mostrados na figura de cima, enquanto basófilos, eosinófilos e monócitos são mostrados na figura de baixo. Resultados apresentados demonstram quem uma predominância de heterófilos sobre os linfócitos foi observada, sendo os heterófilos com maior frequência em relação a todos os tipos celulares diferenciais. Em nenhuma amostra foi observado heterófilos imaturos ou qualquer sinal de regeneração, o que caracterizaria processos inflamatórios e/ou infecciosos agudos. Os outros tipos leucocitários apresentaram-se dentro do limite de normalidade para indivíduos saudáveis, incluindo eosinófilos mais frequente que monócitos, cuja presença é escassa.



Os resultados da contagem dos parâmetros hematológicos (diferenciais) não indicaram nenhuma anormalidade. apesar da contagem de heterófilos estar elevada. Uma heterofilia relativa sobre os linfócitos foi observada em todos os períodos analisados, sendo a presença de heterófilos com maior frequência em relação a todos os tipos celulares diferenciais (linfócito, basófilo, eosinófilo e monócito), comumente reportado na literatura para aves piscívoras e carnívoras. Em nenhuma amostra foi observado heterófilos imaturos ou qualquer outra alteração de regeneração, o que caracterizaria processos inflamatórios e/ou infecciosos agudos. Os outros tipos leucocitários apresentaram-se dentro do limite de normalidade para os indivíduos, incluindo eosinófilos, mais frequente que monócitos e basófilos, cuja presença é escassa.

Tabela 40: Parâmetros hematológicos de *Sternula superciliaris* amostrados na foz do Rio Doce, Espírito Santo, na estação chuvosa do quinto ano de monitoramento, demonstrados com os intervalos de valores médios, mínimos e máximos. Legenda: Min – Mínimo; Máx – Máximo; * Não tiveram amostras coletadas no período.

	Chuvoso			Seco		
	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.
Hemácia	*	*	*	*	*	*
Leucócito	*	*	*	*	*	*
Basófilos %	0,00	0,00	0,00	*	*	*
Eosinófilos %	10,50	8,00	14,00	*	*	*
Linfócitos %	35,50	22,00	48,00	*	*	*
Heterófilos %	54,00	39,00	69,00	*	*	*
Monócitos %	0,00	0,00	0,00	*	*	*
Campos por 100	87,00	84,00	91,00	*	*	*

Os parâmetros hematológicos de *Sternula superciliaris* amostrados na foz do Rio Doce, Espírito Santo, durante o quinto ano de monitoramento na estações chuvosa, foram demonstrados com os intervalos de valores médios, mínimos e máximos para termos um comparativo desses valores durante os anos e períodos sendo demonstrado valores de contagem de percentuais de heterofilos, linfócitos, basófilos, eosinófilos e monócitos analisados pela hematoscopia avaliados em extensão sanguínea na contagem em campos de 100 células.

Figura 66: Boxplot da contagem dos parâmetros hematológicos (diferenciais) de *Thalasseus acutiflavus*, na estação chuvosa do quinto ano de monitoramento. Linfócitos e heterófilos são mostrados na figura de cima, enquanto basófilos, eosinófilos e monócitos são mostrados na figura de baixo. Resultados apresentados demonstram que uma predominância de heterófilos sobre os linfócitos foi observada, sendo os heterófilos com maior frequência em relação a todos os tipos celulares diferenciais. Em nenhuma amostra foi observado heterófilos imaturos ou qualquer sinal de regeneração, o que caracterizaria processos inflamatórios e/ou infecciosos agudos. Os outros tipos leucocitários apresentaram-se dentro do limite de normalidade para indivíduos saudáveis, incluindo eosinófilos mais frequentes que monócitos e basófilos, cuja presença é escassa.



Os resultados da contagem dos parâmetros hematológicos (diferenciais) não indicaram nenhuma anormalidade, apesar da contagem de heterófilos estar elevada. Uma heterofilia relativa sobre os linfócitos foi observada em todos os períodos analisados, sendo a presença de heterófilos com maior frequência em relação a todos os tipos celulares diferenciais (linfócito, basófilo, eosinófilo e monócito), comumente reportado na literatura para aves piscívoras e carnívoras. Em nenhuma amostra foi observado heterófilos imaturos ou qualquer outra alteração de regeneração, o que caracterizaria processos inflamatórios e/ou infecciosos agudos. Os outros tipos leucocitários apresentaram-se dentro do limite de normalidade para os indivíduos, incluindo eosinófilos, mais frequentes que monócitos e basófilos, cuja presença é escassa.

Tabela 41: Parâmetros hematológicos de *Thalasseus acutiflavus* amostrados na foz do Rio Doce na estação chuvosa do quinto ano de monitoramento, demonstrados com os intervalos de valores médios, mínimos e máximos. Legenda: Min – Mínimo; Máx – Máximo; * Não tiveram amostras coletadas no período.

	Chuvoso			Seco		
	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.
Hemácia	*	*	*	*	*	*
Leucócito	*	*	*	*	*	*
Basófilos %	0,00	0,00	0,00	*	*	*
Eosinófilos %	6,89	3,00	16,00	*	*	*
Linfócitos %	26,56	10,00	41,00	*	*	*
Heterófilos %	66,56	54,00	87,00	*	*	*
Monócitos %	0,00	0,00	0,00	*	*	*
Campos por 100	67,22	49,00	96,00	*	*	*

Os parâmetros hematológicos de *Thalasseus acutiflavus* amostrados na foz do Rio Doce, Espírito Santo, durante o quinto ano de monitoramento na estações chuvosa, foram demonstrados com os intervalos de valores médios, mínimos e máximos para termos um comparativo desses valores durante os anos e períodos sendo demonstrado valores de contagem de percentuais de heterófilos, linfócitos, basófilos, eosinófilos e monócitos analisados pela hematoscopia avaliados em extensão sanguínea na contagem em campos de 100 células.

Tabela 42: Frequência dos microrganismos isolados em cultura de *Phaethon aethereus* no período chuvoso e seco durante os quatro anos de monitoramento e período chuvoso do quinto ano no arquipélago de Abrolhos. *Escherichia coli* foi a bactéria, de importância em saúde pública global, presente em todos os anos e períodos amostrados, com valores altos de frequência especialmente na estação chuvosa seguido de *Klebsiella pneumoniae*, que só não esteve presente no Ano 3 e *Acinetobacter baumannii*. *Staphylococcus aureus*, também de importância, foi a bactéria com altos índices de frequência na estação seca. Legenda: N: Número de amostras analisadas no período; Fr: Frequência; * Não tiveram amostras coletadas no período; - amostras não foram coletadas devido à pandemia de COVID-19.

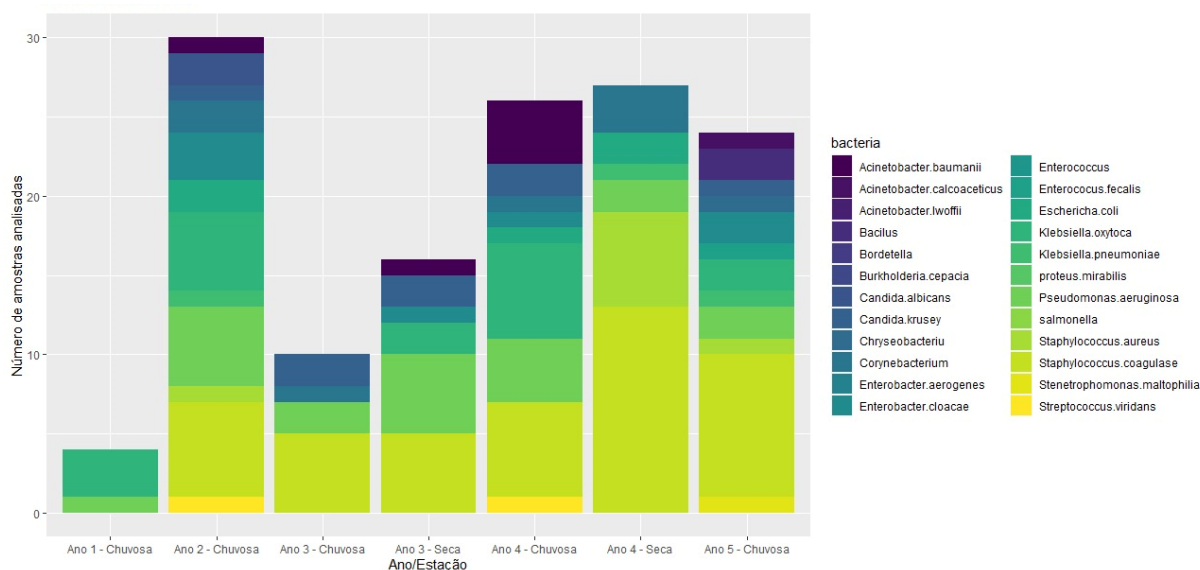
Microorganismos	Ano 1				Ano 2				Ano 3				Ano 4				Ano 5			
	Chuvoso		Seco		Chuvoso		Seco		Chuvoso		Seco		Chuvoso		Seco		Chuvoso		Seco	
	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)
<i>Acinetobacter baumannii</i>	*	*	*	*	27	3,7	-	-	27	7,4	27	7,4	21	9,5	19	0	20	0	*	*
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	*	*	*	*	27	0	-	-	27	0	27	0	21	0	19	0	20	5	*	*
<i>Acinetobacter lwoffii</i>	*	*	*	*	27	0	-	-	27	0	27	0	21	4,7	0	0	20	0	*	*
<i>Bacillus sp</i>	*	*	*	*	27	0	-	-	27	0	27	0	21	4,7	0	0	20	10	*	*
<i>Bordetella sp.</i>	*	*	*	*	27	0	-	-	27	0	27	0	21	4,7	0	0	20	0	*	*
<i>Burkholderia cepacia</i>	*	*	*	*	27	0	-	-	27	0	27	0	21	4,7	0	0	20	0	*	*
<i>Candida albicans</i>	*	*	*	*	27	7,4	-	-	27	3,7	27	0	21	4,7	19	0	20	0	*	*
<i>Candida krusey</i>	*	*	*	*	27	7,4	-	-	27	0	27	0	21	0	19	0	20	5	*	*
<i>Chryseobacterium spp</i>	*	*	*	*	27	0	-	-	27	0	27	0	21	4,7	0	0	20	5	*	*
<i>Corynebacterium spp.</i>	*	*	*	*	27	3,7	-	-	27	0	27	0	21	4,7	19	15,8	20	0	*	*
<i>Enterobacter aerogenes</i>	*	*	*	*	27	11,1	-	-	27	0	27	3,7	21	4,7	19	0	20	0	*	*
<i>Enterobacter cloacae</i>	*	*	*	*	27	3,7	-	-	27	0	27	0	21	0	19	0	20	10	*	*
<i>Enterococcus spp.</i>	*	*	*	*	27	0	-	-	27	0	27	0	21	4,7	0	0	20	0	*	*
<i>Enterococcus faecalis</i>	*	*	*	*	27	0	-	-	27	0	27	0	21	4,7	0	0	20	5	*	*
<i>Escherichia coli</i>	*	*	*	*	27	33,3	-	-	27	7,4	27	18,5	21	19	19	10,5	20	0	*	*
<i>klebsiella oxytoca</i>	*	*	*	*	27	7,4	-	-	27	0	27	0	21	4,7	19	0	20	10	*	*
<i>klebsiella pneumoniae</i>	*	*	*	*	27	18,5	-	-	27	0	27	7,4	21	28,5	19	0	20	5	*	*
<i>Proteus mirabilis</i>	*	*	*	*	27	0	-	-	27	0	27	0	21	4,7	0	0	20	0	*	*
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	*	*	*	*	27	3,7	-	-	27	0	27	3,7	21	19	19	10,5	20	10	*	*

<i>Salmonella</i> spp.	*	*	*	*	27	0	-	-	27	0	27	0	21	4,7	0	0	20	0	*	*
<i>Serratia marcescens</i>	*	*	*	*	27	0	-	-	27	0	27	0	21	4,7	0	0	20	0	*	*
<i>Staphylococcus aureus</i>	*	*	*	*	27	0	-	-	27	3,7	27	11,1	21	19	19	31,5	20	0	*	*
<i>Staphylococcus coagulase negativa</i>	*	*	*	*	27	22,2	-	-	27	18,5	27	0	21	85,7	19	68,4	20	45	*	*
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	*	*	*	*	27	0	-	-	27	0	27	0	21	4,7	0	0	20	5	*	*
<i>Streptococcus viridans</i>	*	*	*	*	27	0	-	-	27	0	27	0	21	4,7	0	0	20	0	*	*

Foram identificadas bactérias de importância em saúde pública e global (estão na lista de bactérias de prioridade da OMS) nas amostras provenientes de Abrolhos, como *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *klebsiella oxytoca*, *klebsiella pneumoniae* e *Enterobacter aerogenes*. Também foram identificadas outras enterobactérias, sendo *Escherichia coli* a espécie de importância mais frequente em todos os anos e períodos amostrados, com valores altos de frequência especialmente na estação chuvosa seguido de *Klebsiella pneumoniae*, que só não esteve presente no Ano 3 e *Acinetobacter baumannii*. *Staphylococcus aureus*, também de importância, foi a bactéria com altos índices de frequência na estação seca Apesar do potencial zoonótico da maior parte das bactérias Gram-negativas, muitas das cepas fazem parte da microbiota de aves marinhas desempenhando um importante papel na manutenção da saúde do organismo, facilitando a absorção de nutrientes, desintoxicação e interações com o sistema imunológico. Outro fator marcante foi o alto número de aves com cultura com perfil multivirulento e multirresistentes. *Staphylococcus coagulase negativa* e *Corynebacterium* spp, ambas fazem parte da microbiota normal epidérmica e mucosas orais e genitais. Nenhuma das cepas encontradas por *Staphylococcus aureus* apresentou característica de MRSA (*Staphylococcus Aureus* Resistente à Meticilina), o que pode caracterizar bactérias de colonizações e/ou saprófitas a espécie dos hospedeiros. Mesmo porque, as mesmas além de não serem MRSA, apresentam multi sensibilidades a vários grupos e gerações de antimicrobianos testados. Na estação chuvosa, do quinto ano de monitoramento, a frequência de isolados foi menor do que os anos anteriores, contudo, foram isoladas duas novas bactérias de importância, *Chryseobacterium* spp. e *Stenotrophomonas maltophilia*, sendo a *S. maltophilia*, uma bactéria com a capacidade de se aderir à superfície mucosa e a dispositivos invasivos, o que torna a diferenciação entre infecção e colonização um verdadeiro desafio. A *S. maltophilia* possui resistência a muitas classes de antibióticos. Tem a capacidade de se aderir a corpos estranhos e formar biofilme, o que confere proteção contra as defesas do hospedeiro e aos agentes antimicrobianos. Possui mecanismos de resistência intrínsecos ou adquiridos, como a produção de beta-lactamases (penicilinas, cefalosporinas e carbapenêmicos), de acetiltransferases (cloranfenicol) e enzimas modificadoras de aminoglicosídeos (aminoglicosídeos), expressão de bombas de efluxo (tetraciclina, cloranfenicol, eritromicina, norfloxacin e ofloxacin), presença de elementos genéticos móveis (sulfametoxazol-trimetoprima), entre outros. As aves amostradas neste estudo apresentaram microrganismos com potencial patogênico, no entanto, a ausência de sinal clínico associada à sensibilidade dos

patógenos a grande parte dos antibióticos a que foram expostos, sugere a higidez dos indivíduos. Este fato não descarta o potencial de transmissão de zoonoses para hospedeiros humanos e outras espécies de animais, uma vez que muitas cepas bacterianas aqui descritas já foram implicadas em quadros nosocomiais graves.

Figura 67: Número de microrganismos isolados em cultura dos suabes coletados de *Phaethon aethereus* no período chuvoso e seco durante os 4 anos de monitoramento e período chuvoso do quinto ano no arquipélago de Abrolhos. No Ano 2, na estação seca, as amostras não foram coletadas devido à pandemia de COVID-19.



A maioria das amostras, das aves, triadas neste trabalho não apresentou isolados bacterianos com os perfis de resistência de interesse pesquisados. Entretanto, tivemos achados de interesse global e isso não significa que esses animais não tenham tido contato e não sejam potenciais disseminadores de bactérias com tais perfis de resistência. Aves migratórias entram em contato com diversos ambientes contrastantes, contendo diferentes gêneros e espécies bacterianas, com uma ampla variedade de perfis de resistência antimicrobiana e podem estar incorporando essas bactérias e/ou seus genes de resistência à sua. Os indivíduos da espécie *P. aethereus* por exemplo, têm suas colônias reprodutivas no arquipélago de Abrolhos e realizam migrações sazonais ao longo da região costeira do Oceano Atlântico. Foram identificadas bactérias de importância em saúde pública e global (estão na lista de bactérias de prioridade da OMS) nas amostras provenientes de Abrolhos, como *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella oxytoca*, *Klebsiella pneumoniae* e *Enterobacter aerogenes*. Também foram identificadas outras enterobactérias, sendo *Escherichia coli* a espécie de importância mais frequente em todos os anos e períodos amostrados, com valores altos de frequência especialmente na estação chuvosa seguido de *Klebsiella pneumoniae*, que só não esteve presente no Ano 3 e *Acinetobacter baumannii*. *Staphylococcus aureus*, também de importância, foi a bactéria com altos índices de frequência na estação seca Apesar do potencial zoonótico da maior parte das bactérias Gram-negativas, muitas das cepas fazem parte da microbiota de aves marinhas desempenhando um importante papel na manutenção da saúde do organismo, facilitando a absorção de nutrientes, desintoxicação e interações com o sistema imunológico. Outro fator marcante foi o alto número de aves com cultura com perfil multirresistente e multirresistentes. *Staphylococcus coagulase negativa* e *Corynebacterium* spp, ambas fazem parte da microbiota normal epidérmica e mucosas orais e genitais. Nenhuma das cepas encontradas por *Staphylococcus aureus* apresentou característica de MRSA (*Staphylococcus Aureus* Resistente à Metilina), o que pode caracterizar bactérias de colonizações e/ou saprófitas a espécie dos hospedeiros. Mesmo porque, as mesmas além de não serem MRSA,

apresentam multi sensibilidades a vários grupos e gerações de antimicrobianos testados. Na estação chuvosa, do quinto ano de monitoramento, foram isoladas duas novas bactérias de importância, *Chryseobacterium* spp. e *Stenotrophomonas maltophilia*, sendo a *S. maltophilia*, uma bactéria com a capacidade de se aderir à superfície mucosa e a dispositivos invasivos, o que torna a diferenciação entre infecção e colonização um verdadeiro desafio. A *S. maltophilia* possui resistência a muitas classes de antibióticos. Tem a capacidade de se aderir a corpos estranhos e formar biofilme, o que confere proteção contra as defesas do hospedeiro e aos agentes antimicrobianos. As aves amostradas neste estudo apresentaram microrganismos com potencial patogênico, no entanto, a ausência de sinal clínico associada à sensibilidade dos patógenos a grande parte dos antibióticos a que foram expostos, sugere a higidez dos indivíduos. Este fato não descarta o potencial de transmissão de zoonoses para hospedeiros humanos e outras espécies de animais, uma vez que muitas cepas bacterianas aqui descritas já foram implicadas em quadros nosocomiais graves.

Tabela 43: Microrganismo com perfil de resistência aos antibióticos testados de importância em saúde global provenientes de suabe coletado em *Phaethon aethereus* no período chuvoso do quarto e quinto anos de monitoramento no arquipélago de Abrolhos.

Estação	Ano	Espécie	Anilha / Registro	Microrganismo com perfil de resistência	Antibiograma / resistência	Antibiograma/sensibilidade
Chuvosa	2022	<i>Phaethon aethereus</i>	P14059	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Imipenem, amicacina, meropenem, ceftriaxona, cefepime, gentamicina, ceftazidima, tobramicina, cefovecina	Ampicilina, ciprofloxacina, marbofloxacina, enrofloxacin, aztreonam, piperacilina tazobactam, amoxicilina clavulanato, cefalexina, tetraciclina, cefoxitina, levofloxacina
Chuvosa	2023	<i>Phaethon aethereus</i>	P11542	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	Sulfametoxazol Trimetoprima	Imipenem , Amicacina, Ampicilina, Meropenem, Ciprofloxacina, Ceftriaxona, Cefepime, Marbofloxacina, Enrofloxacin, Aztreonam, Gentamicina, Ceftazidima, Piperacilina, Tazobactam, Amoxilina clavulanato, Cefalexina, Tobramicina, Tetraciclina, Cefoxitina, Levofloxacina, Cefovecina, Ceftiofur, PenicilinaG

Os mecanismos de resistência de bactérias podem ser intrínsecos ou adquiridos, sendo que os primeiros já estão presentes em todas as amostras de determinadas cepas e os segundos, por sua vez, ocorrem por mutação ou pela transferência de plasmídeos, capazes de carrear mais de um gene de resistência associados (transmissão gênica horizontal). A resistência natural é uma característica intrínseca de um microrganismo, que ocorre sem uma exposição prévia ao antibiótico. Quanto a amostra de *P. aethereus* referente ao quarto ano de monitoramento um isolado de suabe de cloaca referente a coleta de 2022, estação chuvosa, em Abrolhos, apresentou perfil de resistência de interesse – um isolado identificado como *Pseudomonas aeruginosa*, que cresceu no meio de cultura ágar MacConkey suplementado com ciprofloxacina, e um isolado identificado como *Pseudomonas aeruginosa*, que cresceu na placa de MacConkey suplementado com colistina. O isolado apresentou resistência aos antibióticos: Imipenem, amicacina, meropenem, ceftriaxona, cefepime, gentamicina, ceftazidima, tobramicina, cefovecina testadas. No quinto ano de monitoramento, estação chuvosa, foi isolado de *P. aethereus*, de Abrolhos, a bactéria *Stenotrophomonas maltophilia* que apresentou resistência a sulfametoxazol-trimetoprima. A importância foi dada a esse isolado pelo fato que a droga de escolha para o tratamento é o sulfametoxazol-trimetoprima.

Tabela 44: Frequência dos microrganismos isolados em cultura de *Sula leucogaster* no período chuvoso e seco durante os 4 anos de monitoramento e período chuvoso do quinto ano, no arquipélago de Abrolhos. *Escherichia coli* foi a bactéria, de importância em saúde pública global, com maior frequência nos anos e períodos amostrados, majoritariamente no período seco, sendo ausente somente na estação chuvosa do terceiro ano, seguido de *Klebsiella pneumoniae* e *Acinetobacter baumannii*. Na estação chuvosa destacam-se *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Escherichia coli*. Legenda: N: Número de amostras analisadas no período; Fr: Frequência; * Não tiveram amostras coletadas no período; - amostras não foram coletadas devido à pandemia de COVID-19.

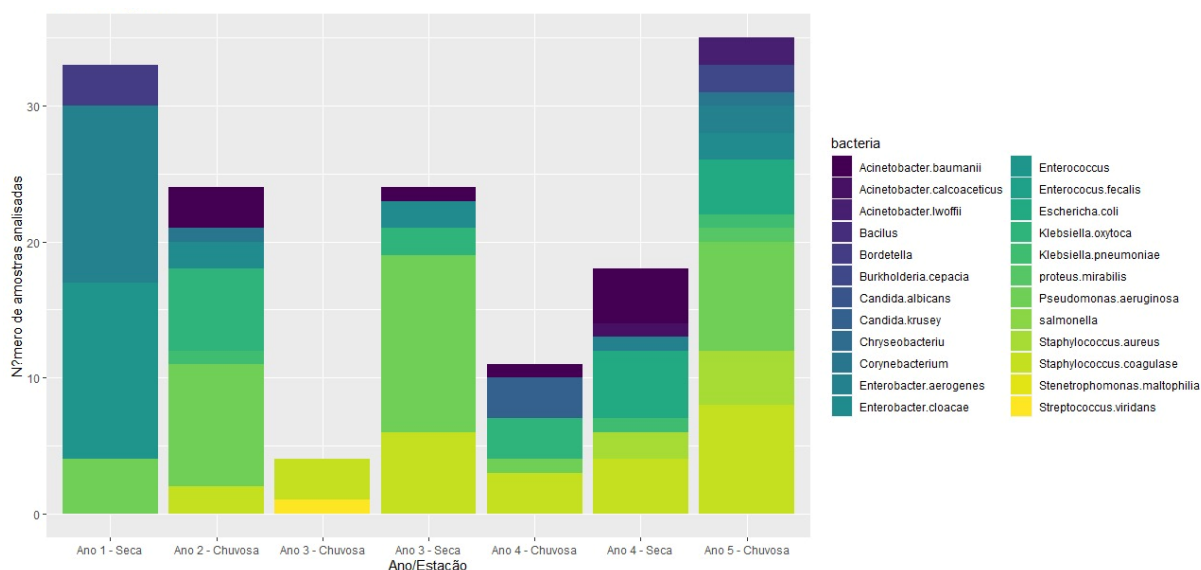
Microorganismos	Ano 1				Ano 2				Ano 3				Ano 4				Ano 5			
	Chuva		Seco		Chuva		Seco		Chuva		Seco		Chuva		Seco		Chuva		Seco	
	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)
<i>Acinetobacter baumannii</i>	*	*	20	0	21	0	-	-	16	0	20	0	10	30	21	19	21	0	*	*
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	*	*	20	0	21	0	-	-	16	0	20	0	10	0	21	4,7	21	0	*	*
<i>Acinetobacter lwoffii</i>	*	*	20	0	21	0	-	-	16	0	20	0	10	0	21	0	21	9,5	*	*
<i>Bacillus sp</i>	*	*	20	0	21	0	-	-	16	0	20	0	10	0	21	0	21	0	*	*
<i>Bordetella spp.</i>	*	*	20	15	21	0	-	-	16	0	20	0	10	0	21	0	21	0	*	*
<i>Burkholderia cepacia</i>	*	*	20	0	21	0	-	-	16	0	20	0	10	0	21	0	21	9,5	*	*
<i>Candida albicans</i>	*	*	20	0	21	0	-	-	16	0	20	0	10	0	21	0	21	0	*	*
<i>Candida krusey</i>	*	*	20	0	21	0	-	-	16	0	20	0	10	0	21	0	21	0	*	*
<i>Chryseobacterium spp</i>	*	*	20	0	21	0	-	-	16	0	20	0	10	0	21	0	21	0	*	*
<i>Corynebacterium spp.</i>	*	*	20	0	21	0	-	-	16	6,2	20	0	10	0	21	0	21	4,7	*	*
<i>Enterobacter aerogenes</i>	*	*	20	0	21	9,5	-	-	16	0	20	10	10	0	21	4,7	21	9,5	*	*
<i>Enterobacter cloacae</i>	*	*	20	0	21	0	-	-	16	6,2	20	0	10	0	21	0	21	9,5	*	*
<i>Enterococcus faecalis</i>	*	*	20	0	21	0	-	-	16	0	20	0	10	0	21	0	21	0	*	*
<i>Enterococcus spp.</i>	*	*	20	65	21	0	-	-	16	0	20	0	10	0	21	0	21	0	*	*
<i>Escherichia coli</i>	*	*	20	20	21	42,8	-	-	16	0	20	55	10	10	21	23,8	21	19	*	*
<i>klebsiella oxytoca</i>	*	*	20	0	21	0	-	-	16	0	20	0	10	0	21	0	21	0	*	*
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	*	*	20	0	21	28,5	-	-	16	0	20	10	10	30	21	0	21	4,7	*	*

Microorganismos	Ano 1				Ano 2				Ano 3				Ano 4				Ano 5			
	Chuva		Seco		Chuva		Seco		Chuva		Seco		Chuva		Seco		Chuva		Seco	
	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)	N	Fr(%)
<i>Proteus mirabilis</i>	*	*	20	0	21	0	-	-	16	0	20	0	10	0	21	0	21	4,7	*	*
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	*	*	20	0	21	14,2	-	-	16	0	20	5	10	0	21	0	21	38	*	*
<i>Salmonella</i>	*	*	20	0	21	0	-	-	16	0	20	0	10	0	21	0	21	0	*	*
<i>Serratia marcescens</i>	*	*	20	0	21	0	-	-	16	0	20	0	10	0	21	0	21	0	*	*
<i>Staphylococcus aureus</i>	*	*	20	0	21	0	-	-	16	0	20	10	10	30	21	9,5	21	19	*	*
<i>Staphylococcus coagulase negativa</i>	*	*	20	0	21	9,5	-	-	16	0	20	20	10	0	21	19	21	38	*	*
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	*	*	20	0	21	0	-	-	16	0	20	0	10	0	21	0	21	0	*	*
<i>Streptococcus viridans</i>	*	*	20	0	21	0	-	-	16	0	20	0	10	0	21	0	21	0	*	*

Foram identificadas bactérias de importância em saúde pública e global (estão na lista de bactérias de prioridade da OMS) nas amostras provenientes de Abrolhos, como *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Kebsiella oxytoca*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter aerogenes* e *Bordetella* spp. Também foram identificadas outras enterobactérias. *Escherichia coli* foi a bactéria, de importância em saúde pública global, com maior frequência nos anos e períodos amostrados, majoritariamente no período seco, sendo ausente somente na estação chuvosa do terceiro ano, seguido de *Klebsiella pneumoniae* e *Acinetobacter baumannii*. Na estação chuvosa destacam-se *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Escherichia coli*. Apesar do potencial zoonótico da maior parte das bactérias Gram-negativas, muitas das cepas fazem parte da microbiota de aves marinhas desempenhando um importante papel na manutenção da saúde do organismo, facilitando a absorção de nutrientes, desintoxicação e interações com o sistema imunológico. Outro fator marcante foi o alto número de aves com cultura com perfil multivirulento e multirresistentes. *Staphylococcus coagulase negativa* e *Corynebacterium* spp, ambas fazem parte da microbiota normal epidérmica e mucosas orais e genitais. Nenhuma das cepas encontradas por *Staphylococcus aureus* apresentou característica de MRSA (*Staphylococcus aureus* Resistente à Meticilina), o que pode caracterizar bactérias de colonizações e/ou saprófitas a espécie dos hospedeiros. Mesmo porque, as mesmas além de não serem MRSA, apresentam multi sensibilidades a vários grupos e gerações de antimicrobianos testados. As aves amostradas neste estudo apresentaram microrganismos com potencial patogênico, no entanto, a ausência de sinal clínico associada à sensibilidade dos patógenos a grande

parte dos antibióticos a que foram expostos, sugere a higidez dos indivíduos. Este fato não descarta o potencial de transmissão de zoonoses para hospedeiros humanos e outras espécies de animais, uma vez que muitas cepas bacterianas aqui descritas já foram implicadas em quadros nosocomiais graves.

Figura 68: Número de microrganismos isolados em cultura dos suabes coletados de *Sula leucogaster* no período chuvoso e seco durante os 4 anos de monitoramento e e período chuvoso do quinto ano no arquipélago de Abrolhos. No Ano 2, na estação seca, as amostras não foram coletadas devido à pandemia de COVID-19.



A maioria das amostras, das aves, triadas neste trabalho não apresentou isolados bacterianos com os perfis de resistência de interesse pesquisados. Entretanto, tivemos achados de interesse global e isso não significa que esses animais não tenham tido contato e não sejam potenciais disseminadores de bactérias com tais perfis de resistência. Aves migratórias entram em contato com diversos ambientes contrastantes, contendo diferentes gêneros e espécies bacterianas, com uma ampla variedade de perfis de resistência antimicrobiana e podem estar incorporando essas bactérias e/ou seus genes de resistência à sua. Os indivíduos da espécie *S. leucogaster* por exemplo, têm suas colônias reprodutivas no arquipélago de Abrolhos e realizam migrações sazonais ao longo da região costeira do Oceano Atlântico. Foram identificadas bactérias de importância em saúde pública e global (estão na lista de bactérias de prioridade da OMS) nas amostras provenientes de Abrolhos, como *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella oxytoca*, *Klebsiella pneumoniae* e *Enterobacter aerogenes* e *Bordetella* spp. Também foram identificadas outras enterobactérias, sendo *Escherichia coli* a espécie de importância mais frequente em todos os anos e períodos amostrados, com valores altos de frequência especialmente na estação chuvosa seguido de *Klebsiella pneumoniae*, que só não esteve presente no Ano 3, e *Acinetobacter baumannii*. *Staphylococcus aureus*, também de importância, foi a bactéria com altos índices de frequência na estação seca. Na estação chuvosa destacam-se *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Escherichia coli*. Apesar do potencial zoonótico da maior parte das bactérias Gram-negativas, muitas das cepas fazem parte da microbiota de aves marinhas desempenhando um importante papel na manutenção da saúde do organismo, facilitando a absorção de nutrientes, desintoxicação e interações com o sistema imunológico. Outro fator marcante foi o alto número de aves com cultura com perfil multirresistente e multivirulento. *Staphylococcus coagulase* negativa e *Corynebacterium* spp., ambas fazem parte da microbiota normal epidérmica e mucosas orais e genitais. Nenhuma das cepas encontradas por *Staphylococcus aureus* apresentou característica de MRSA (*Staphylococcus aureus* Resistente à Meticilina), o que pode caracterizar

bactérias de colonizações e/ou saprófitas a espécie dos hospedeiros. Mesmo porque, as mesmas além de não serem MRSA, apresentam multi sensibilidades a vários grupos e gerações de antimicrobianos testados. As aves amostradas neste estudo apresentaram microrganismos com potencial patogênico, no entanto, a ausência de sinal clínico associada à sensibilidade dos patógenos a grande parte dos antibióticos a que foram expostos, sugere a higidez dos indivíduos. Este fato não descarta o potencial de transmissão de zoonoses para hospedeiros humanos e outras espécies de animais, uma vez que muitas cepas bacterianas aqui descritas já foram implicadas em quadros nosocomiais graves.

Tabela 45: Microrganismo com perfil de resistência aos antibióticos testados de importância em saúde global em *Sula leucogaster* no período chuvoso durante os 5 anos de monitoramento no arquipélago de Abrolhos.

Estação	Ano	Espécie	Anilha / Registro	Microrganismo com perfil de resistência	Antibiograma / resistência	Antibiograma / sensibilidade
Chuvosa	2020	<i>Sula leucogaster</i>	V00167	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Imipenem, amicacina, ampicilina, meropenem, ceftriaxona, cefepime, marbofloxacin, enrofloxacin, aztreonam, gentamicina, piperacilina tazobactam, amoxicilina clavulanato, cefalexina, tobramicina, tetraciclina, cefoxitina, cefovecina Imipenem, amicacina, ampicilina, meropenem, ceftriaxona, cefepime, marbofloxacin, enrofloxacin, aztreonam, gentamicina, piperacilina tazobactam, amoxicilina clavulanato, cefalexina, tobramicina, tetraciclina,	Ciprofloxacina, ceftazidima, levofloxacina
Chuvosa	2020	<i>Sula leucogaster</i>	V00166	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Imipenem, amicacina, ampicilina, meropenem, ceftriaxona, cefepime, marbofloxacin, enrofloxacin, aztreonam, gentamicina, piperacilina tazobactam, amoxicilina clavulanato, cefalexina, tobramicina, tetraciclina,	Ciprofloxacina, ceftazidima, levofloxacina

					cefoxitina, cefovecina	
						Ampicilina, ciprofloxacina, marbofloxacina, enrofloxacin, piperacilina tazobactam, amoxicilina clavulanato, cefalexina, tetraciclina, cefoxitina, piperacilina tazobactam, levofloxacona
Chuvosa	2022	<i>Sula leucogaster</i>	U61550	<i>Acinetobacter baumannii</i>	Imipenem, amicacina, meropenem, ceftriaxona, cefepime, aztreonam, tobramicina, gentamicina, ceftazidima, tobramicina, cefovecina	

Referente as amostras da espécie *S. leucogaster*, três amostras de suabe de cloaca, duas coletada na expedição de 2020 estação chuvosa e uma na expedição seca de 2022. apresentaram perfil de resistência de interesse, após crescer em placas de ágar MacConkey suplementado com colistina, com resultado positivo no teste de disco combinado com EDTA.

Tabela 46: Características epidemiológicas, fenotípicas e genotípicas de bactérias resistentes a antibióticos isoladas da microbiota cloacal de *Phaethon aethereus* em novembro de 2018, estação chuvosa, no primeiro ano de monitoramento.

Característica	P16291 ^a	P16400
Espécie	<i>P. aethereus</i>	<i>P. aethereus</i>
Origem da amostra	Swab de cloaca	Swab de cloaca
Local	Arquipélago de Abrolhos - BA	Arquipélago de Abrolhos - BA
Data de coleta	Novembro/2018	Novembro/2018
Espécie bacteriana	<i>Escherichia coli</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
Perfil fenotípico de resistência	Resistência às quinolonas (NAL, CIP, ENR, LVX, MRB, MFX, NFX, OFX, PFX) ^b	Resistência à colistina (CIM = 8 µg/mL; NP teste positivo; teste de disco combinado com EDTA positivo)
Genes de resistência	---	<i>oqxA</i> , <i>oqxB</i> , <i>fosA</i> , <i>mdfA</i>
Mutações deletérias	---	PhoQ (L272P)
Elementos genéticos móveis	---	ND ^c
Genes de virulência	---	<i>entB</i>
Sorotipo de <i>E. coli</i>	---	NA ^d
Filogrupo de <i>E. coli</i>	---	NA ^d
ST/CC	---	ST34/CC7

^a Isolado não sequenciado, por isso não apresenta todos os resultados;

^b NAL, ácido nalidíxico; CIP, ciprofloxacina; ENR, enrofloxacin; LVX, levofloxacina; MRB, marbofloxacina; MFX, moxifloxacina; NFX, norfloxacina; OFX, ofloxacina; PFX, perfloxacina;

^c ND, não detectado;

^d NA, não se aplica; e NT, não tipado.

Quanto as amostras de *P. aethereus* referente ao primeiro ano de monitoramento dois isolados de suabe de cloaca referente a coleta de novembro de 2018, estação chuvosa, em Abrolhos, apresentaram perfil de resistência de interesse – um isolado identificado como *E. coli* (espécime: P16291), que cresceu no meio de cultura ágar MacConkey suplementado com ciprofloxacina, e um isolado identificado como *Klebsiella pneumoniae* (espécime: P16400), que cresceu na placa de MacConkey suplementado com colistina. O isolado do espécime P16291 apresentou resistência a todas as quinolonas testadas - grupos relacionados de antibióticos derivados do ácido nalidíxico - (ácido nalidíxico, ciprofloxacina, enrofloxacin, levofloxacina, marbofloxacina, moxifloxacina, norfloxacina, ofloxacina e perfloxacina). O isolado do espécime P16400 apresentou resultado positivo no NP teste (indicando a degradação da colistina) e no teste de disco combinado com EDTA. Além disso, a concentração inibitória mínima (CIM) da colistina frente a esse isolado foi de 8 µg/mL, confirmando a resistência do mesmo ao antibiótico testado. Como esses resultados foram indicativos de uma possível produção de *mcr*, esse isolado foi submetido ao sequenciamento de genoma completo. Contudo, a presença do gene *mcr* não foi detectada no genoma dessa amostra. Em contrapartida, foram identificadas mutações pontuais nos genes *pmrA* (L162M), *pmrB* (S79G, V87M, A245E e N275K) e *phoQ* (L272P). Destas, somente a mutação em *phoQ* foi predita como deletéria. Adicionalmente, foram detectados genes de resistência a fluoroquinolonas (*oqxA* e *oqxB*), a fosfomicina (*fosA*) e a

macrolídeos, lincosamidas e estreptogramina B (mdfA). A análise pela ferramenta PlasmidFinder não permitiu a detecção de nenhum plasmídeo. A análise de genes de virulência detectou a presença do gene *entB*, relacionado à biosíntese do sideróforo enterobactina. A análise de MLST, por sua vez, identificou a cepa como pertencente ao ST34, do complexo clonal 7.

Tabela 47: Características epidemiológicas, fenotípicas e genotípicas de bactérias resistentes a antibióticos isoladas da microbiota cloacal de *Sula leucogaster* em abril de 2019, estação seca, no primeiro ano de monitoramento.

Característica	U61943 ^a
Espécie da ave	<i>S. leucogaster</i>
Origem da amostra	Swab de cloaca
Local	Arquipélago de Abrolhos - BA
Data de coleta	Abril/2019
Espécie bacteriana	<i>Escherichia coli</i>
Perfil fenotípico de resistência	Resistência à colistina (teste de disco combinado com EDTA positivo)
Genes de resistência	---
Mutações deletérias	---
Elementos genéticos móveis	---
Genes de virulência	---
Sorotipo de <i>E. coli</i>	---
Filogrupo de <i>E. coli</i>	---
ST/CC	---

^a Isolado não sequenciado, por isso não apresenta todos os resultados.

Referente as amostras da espécie *S. leucogaster*, apenas uma amostra de suabe de cloaca coletada na expedição de abril de 2019 (espécime: U61943), estação seca. apresentou um perfil de resistência de interesse, após crescer em placas de ágar MacConkey suplementado com colistina, com resultado positivo no teste de disco combinado com EDTA. Todas as amostras coletadas durante o segundo, terceiro e quarto ano de monitoramento testadas apresentaram resultados negativos para a presença de bactérias multirresistentes.

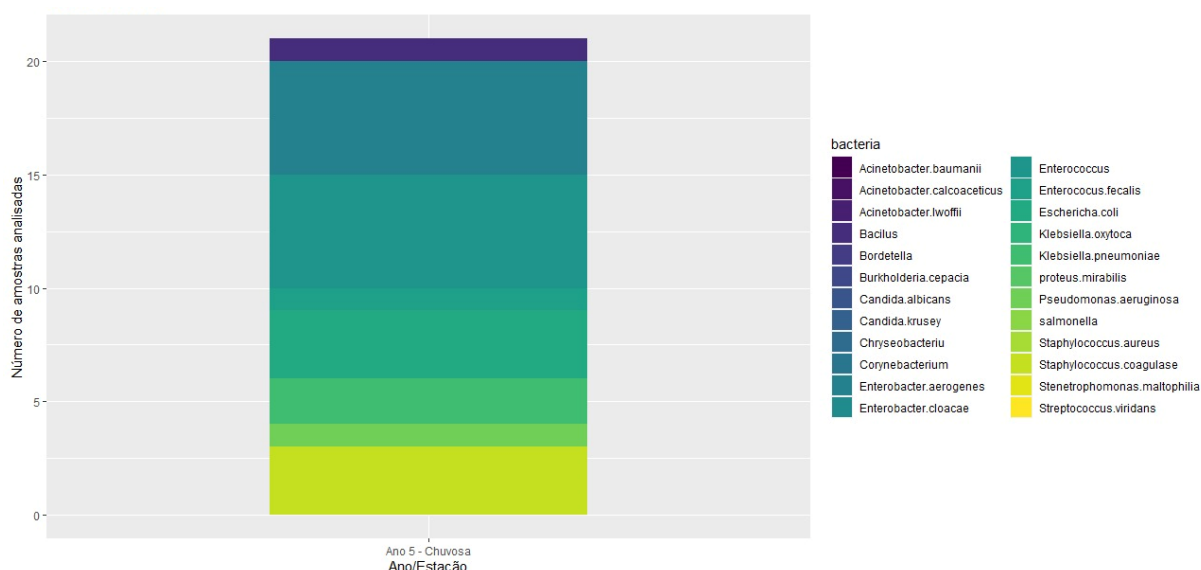
Tabela 48: Frequência dos microrganismos isolados em cultura de *Sterna hirundo* no período chuvoso do 5º ano de monitoramento na foz do Rio Doce, Espírito Santo. *Enterobacter aerogenes*, *Enterococcus* spp., *Escherichia coli* e *Klebsiella pneumoniae* foram as bactérias, de importância em saúde pública global, com maior frequência no período chuvoso, além do primeiro isolado de *Serratia marcescens*. Legenda: N: Número de amostras analisadas no período; Fr: Frequência; * Não tiveram amostras coletadas no período.

Microorganismos	Ano 5			
	Chuvoso		Seco	
	N	Fr(%)	N	Fr(%)
<i>Acinetobacter baumannii</i>	23	0	*	*
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	23	0	*	*
<i>Acinetobacter lwoffii</i>	23	0	*	*
<i>Bacillus</i> sp	23	4,3	*	*
<i>Bordetella</i> spp.	23	0	*	*
<i>Burkholderia cepacia</i>	23	0	*	*
<i>Candida albicans</i>	23	0	*	*
<i>Candida krusey</i>	23	0	*	*
<i>Chryseobacterium</i> spp.	23	0	*	*
<i>Corynebacterium</i> spp.	23	0	*	*
<i>Enterobacter aerogenes</i>	23	21,7	*	*
<i>Enterobacter cloacae</i>	23	0	*	*
<i>Enterococcus faecalis</i>	23	4,3	*	*
<i>Enterococcus</i> spp.	23	21,7	*	*
<i>Escherichia coli</i>	23	13	*	*
<i>klebsiella oxytoca</i>	23	0	*	*
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	23	8,7	*	*
<i>Proteus mirabilis</i>	23	0	*	*
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	23	4,7	*	*
<i>Salmonella</i>	23	0	*	*
<i>Serratia marcescens</i>	23	4,7	*	*
<i>Staphylococcus aureus</i>	23	0	*	*
<i>Staphylococcus coagulase negativa</i>	23	13	*	*
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	23	0	*	*
<i>Streptococcus viridans</i>	23	0	*	*

Foram identificados, bacilos gram negativos fermentadores de glicose, somente um não fermentador entre eles, cocos gram positivos, bacilos gram positivos e raras leveduras. *Enterobacter aerogenes*, *Enterococcus* spp., *Escherichia coli* e *Klebsiella pneumoniae* foram as bactérias, de importância em saúde pública global, com maior frequência no período chuvoso. Vale destacar primariamente, a predominância de mecanismo de resistência AMPC, que são capazes de hidrolisar cefalosporinas de terceira geração, como a ceftriaxona, cefovecina e ceftazidima, mas sabidamente, não têm ação sobre carbapenêmicos. Uma importante particularidade desse mecanismo de resistência, diz respeito, à sua expressão fenotípica no antibiograma, onde a bactéria, poderá apresentar sensibilidades às cefalosporinas, quando a produção da enzima estiver “reprimida.” No entanto, a resistência poderá se desenvolver ao longo da exposição. Em segundo, o bacilo gram negativo classificado como não

fermentador de glicose, são microrganismos aeróbios, não esporulados, que se caracterizam pela incapacidade de utilizar carboidratos como fonte de energia por meio de fermentação, degradando-os pela via oxidativa, porém, também apresentando multi sensibilidades. Outro ponto, foi a presença de gram positivos identificados como *Staphylococcus* coagulase negativa, que fazem parte da microbiota epidérmica, mucosas orais e genitais dessas aves. Os isolados de *Enterococcus* spp., sensíveis a penicilinas de primeira e segunda geração, além das sensibilidades a outros antibióticos, caracterizando uma cepa totalmente poli sensível, além de crescimentos raros leveduriformes de microbiota saprófita.

Figura 69: Número de microrganismos isolados em cultura dos suabes coletados de *Sterna hirundo* do período chuvoso no 5º ano de monitoramento na foz do Rio Doce, Espírito Santo.



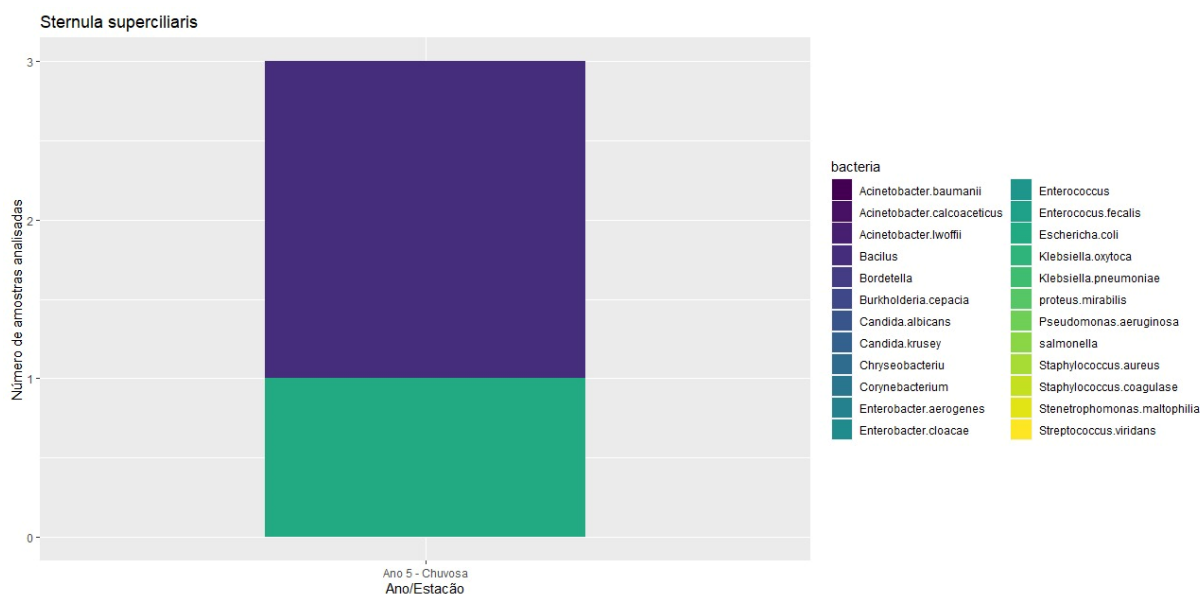
Foram identificados, bacilos gram negativos fermentadores de glicose, somente um não fermentador entre eles, cocos gram positivos, bacilos gram positivos e raras leveduras. *Enterobacter aerogenes*, *Enterococcus* spp., *Escherichia coli* e *Klebsiella pneumoniae* foram as bactérias, de importância em saúde pública global, com maior frequência no período chuvoso. Vale destacar primariamente, a predominância de mecanismo de resistência AMPC, que são capazes de hidrolisar cefalosporinas de terceira geração, como a ceftriaxona, cefovecina e ceftazidima, mas sabidamente, não têm ação sobre carbapenênicos. Uma importante particularidade desse mecanismo de resistência, diz respeito, à sua expressão fenotípica no antibiograma, onde a bactéria, poderá apresentar sensibilidades às cefalosporinas, quando a produção da enzima estiver “reprimida.” No entanto, a resistência poderá se desenvolver ao longo da exposição. Em segundo, o bacilo gram negativo classificado como não fermentador de glicose, são microrganismos aeróbios, não esporulados, que se caracterizam pela incapacidade de utilizar carboidratos como fonte de energia por meio de fermentação, degradando-os pela via oxidativa, porém, também apresentando multi sensibilidades. Outro ponto, foi a presença de gram positivos identificados como *Staphylococcus coagulase* negativa, que fazem parte da microbiota epidérmica, mucosas orais e genitais dessas aves. Os isolados de *Enterococcus* spp., sensíveis a penicilinas de primeira e segunda geração, além das sensibilidades a outros antibióticos, caracterizando uma cepa totalmente poli sensível, além de crescimentos raros leveduriformes de microbiota saprófita.

Tabela 49: Frequência dos microrganismos isolados em cultura de *Sternula superciliaris* no período chuvoso do 5º ano de monitoramento na foz do Rio Doce, Espírito Santo. *Escherichia* foi a bactéria, de importância em saúde pública global, com maior frequência no período chuvoso, além de isolados de *Bacillus* sp. Legenda: N: Número de amostras analisadas no período; Fr: Frequência; * Não tiveram amostras coletadas no período.

Microorganismos	Ano 5			
	Chuvoso		Seco	
	N	Fr(%)	N	Fr(%)
<i>Acinetobacter baumannii</i>	4	0	-	-
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	4	0	-	-
<i>Acinetobacter lwoffii</i>	4	0	-	-
<i>Bacillus</i> sp	4	50	-	-
<i>Bordetella</i> spp.	4	0	-	-
<i>Burkholderia cepacia</i>	4	0	-	-
<i>Candida albicans</i>	4	0	-	-
<i>Candida krusey</i>	4	0	-	-
<i>Chryseobacterium</i> spp	4	0	-	-
<i>Corynebacterium</i> spp.	4	0	-	-
<i>Enterobacter aerogenes</i>	4	0	-	-
<i>Enterobacter cloacae</i>	4	0	-	-
<i>Enterococcus faecalis</i>	4	0	-	-
<i>Enterococcus</i> spp.	4	0	-	-
<i>Escherichia coli</i>	4	25	-	-
<i>klebsiella oxytoca</i>	4	0	-	-
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	4	0	-	-
<i>Proteus mirabilis</i>	4	0	-	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	4	0	-	-
<i>Salmonella</i>	4	0	-	-
<i>Serratia marcescens</i>	4	0	-	-
<i>Staphylococcus aureus</i>	4	0	-	-
<i>Staphylococcus coagulase negativa</i>	4	0	-	-
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	4	0	-	-
<i>Streptococcus viridans</i>	4	0	-	-

Foram identificados em sua maioria, bacilos gram negativos fermentadores de glicose, com maior frequência no período e *Escherichia* foi a bactéria, de importância em saúde pública global. Uma importante particularidade desse mecanismo de resistência, diz respeito, à sua expressão fenotípica no antibiograma, onde a bactéria, poderá apresentar sensibilidades às cefalosporinas, quando a produção da enzima estiver “reprimida.” No entanto, a resistência poderá se desenvolver ao longo da exposição. Em segundo, o bacilo gram negativo classificado como não fermentador de glicose, são microrganismos aeróbios, não esporulados, que se caracterizam pela incapacidade de utilizar carboidratos como fonte de energia por meio de fermentação, degradando-os pela via oxidativa, porém, também apresentando multi sensibilidades.

Figura 70: Número de microrganismos isolados em cultura dos suabes coletados de *Sternula superciliaris* do período chuvoso no 5º ano de monitoramento na foz do Rio Doce, Espírito Santo.



Foram identificados em sua maioria, bacilos gram negativos fermentadores de glicose, com maior frequência no período e *Escherichia* foi a bactéria, de importância em saúde pública global. Uma importante particularidade desse mecanismo de resistência, diz respeito, à sua expressão fenotípica no antibiograma, onde a bactéria, poderá apresentar sensibilidades às cefalosporinas, quando a produção da enzima estiver “reprimida.” No entanto, a resistência poderá se desenvolver ao longo da exposição. Em segundo, o bacilo gram negativo classificado como não fermentador de glicose, são microrganismos aeróbios, não esporulados, que se caracterizam pela incapacidade de utilizar carboidratos como fonte de energia por meio de fermentação, degradando-os pela via oxidativa, porém, também apresentando multi sensibilidades.

Tabela 50: Frequência dos microrganismos isolados em cultura de *Thalasseus acutiflavus* no período chuvoso do 5º ano de monitoramento na foz do Rio Doce, Espírito Santo. *Escherichia coli* e *Enterobacter aerogenes* foram as bactérias, de importância em saúde pública global, com maior frequência no período chuvoso, além de isolados de *Bacillus* sp. e *Staphylococcus* coagulase negativa. Legenda: N: Número de amostras analisadas no período; Fr: Frequência; * Não tiveram amostras coletadas no período.

Microorganismos	Ano 5			
	Chuvoso		Seco	
	N	Fr(%)	N	Fr(%)
<i>Acinetobacter baumannii</i>	9	0	-	-
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	9	0	-	-
<i>Acinetobacter lwoffii</i>	9	0	-	-
<i>Bacillus</i> sp.	9	11,1	-	-
<i>Bordetella</i> spp.	9	0	-	-
<i>Burkholderia cepacia</i>	9	0	-	-
<i>Candida albicans</i>	9	0	-	-
<i>Candida krusey</i>	9	0	-	-
<i>Chryseobacterium</i> spp	9	0	-	-
<i>Corynebacterium</i> spp.	9	0	-	-
<i>Enterobacter aerogenes</i>	9	11,1	-	-
<i>Enterobacter cloacae</i>	9	0	-	-
<i>Enterococcus faecalis</i>	9	0	-	-
<i>Enterococcus</i> spp.	9	0	-	-
<i>Escherichia coli</i>	9	33,3	-	-
<i>Klebsiella oxytoca</i>	9	0	-	-
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	9	0	-	-
<i>Proteus mirabilis</i>	9	0	-	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	9	0	-	-
<i>Salmonella</i>	9	0	-	-
<i>Serratia marcescens</i>	9	0	-	-
<i>Staphylococcus aureus</i>	9	0	-	-
<i>Staphylococcus</i> coagulase negativa	9	33,3	-	-
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	9	0	-	-
<i>Streptococcus viridans</i>	9	0	-	-

Foram identificados, bacilos gram negativos fermentadores de glicose, somente um não fermentador entre eles, cocos gram positivos, bacilos gram positivos e raras leveduras. *Escherichia coli* e *Enterobacter aerogenes* foram as bactérias, de importância em saúde pública global, com maior frequência no período chuvoso, além de isolados de *Bacillus* sp. e *Staphylococcus* coagulase negativa. Vale destacar, a predominância de mecanismo de resistência AMPC, que são capazes de hidrolisar cefalosporinas de terceira geração, como a ceftriaxona, cefovecina e ceftazidima, mas sabidamente, não têm ação sobre carbapenêmicos. Uma importante particularidade desse mecanismo de resistência, diz respeito, à sua expressão fenotípica no antibiograma, onde a bactéria, poderá apresentar sensibilidades às cefalosporinas, quando a produção da enzima estiver “reprimida.” No entanto, a resistência poderá se desenvolver ao longo da exposição. Em segundo, o bacilo gram negativo

classificado como não fermentador de glicose, são microrganismos aeróbios, não esporulados, que se caracterizam pela incapacidade de utilizar carboidratos como fonte de energia por meio de fermentação, degradando-os pela via oxidativa, porém, também apresentando multi sensibilidades. Outro ponto, foi a presença de gram positivos identificados como *Staphylococcus* coagulase negativa, que fazem parte da microbiota epidérmica, mucosas orais e genitais dessas aves. Os isolados de *Enterococcus* spp., sensíveis a penicilinas de primeira e segunda geração, além das sensibilidades a outros antibióticos, caracterizando uma cepa totalmente poli sensível, além de crescimentos raros leveduriformes de microbiota saprófita.

Tabela 51: Resultados das análises virais de suabes coletadas em *Phaethon aethereus* e *Sula leucogaster* no período chuvoso e seco durante os 4 anos de monitoramento e período chuvoso do 5º ano no arquipélago de Abrolhos. No Ano 2, na estação seca, as amostras não foram coletadas devido à pandemia de COVID-19. Legenda: Neg – Negativo para todas as amostras; * Amostras não coletadas no período.

Espécies/Período	Chuvoso	Seco	Vírus testados				
<i>Phaethon aethereus</i>	Suabes	Suabes	Influenza	Herpesvírus	Adenovírus	Circovírus	Avulavírus
Ano 1 (2018/2019)	22	16	Neg.	Neg.	Neg.	Neg.	Neg.
Ano 2 (2019/2020)	8	-	Neg.	Neg.	Neg.	Neg.	Neg.
			Herpesvírus	Metapneumovírus	Coronavírus		
Ano 3 (2020/2021)	8	8	Neg.	Neg.	Neg.		
Ano 4 (2021/2022)	8	5	Neg.	Neg.	Neg.		
Ano 5 (2022/2023)	5	*					
<i>Sula leucogaster</i>	Suabes	Suabes	Influenza	Herpesvírus	Adenovírus	Circovírus	Avulavírus
Ano 1 (2018/2019)	*	20	Neg.	Neg.	Neg.	Neg.	Neg.
Ano 2 (2019/2020)	8	-	Neg.	Neg.	Neg.	Neg.	Neg.
			Herpesvírus	Metapneumovírus	Coronavírus		
Ano 3 (2020/2021)	8	8	Neg	Neg	Neg		
Ano 4 (2021/2022)	8	6	Neg	Neg	Neg		
Ano 5 (2022/2023)	4	*	Neg	Neg	Neg		

As amostras de suabe de orofaringe e cloaca coletadas, das espécies *Phaethon aethereus* e *Sula leucogaster*, apresentaram resultados negativos para os vírus testados (Influenza, Newcastle, Herpesvírus, Adenovírus, Circovírus e Avulavírus) no ano 1 e 2. A partir do terceiro ano, o painel viral foi alterado, sendo pesquisados: Herpesvírus, Metapneumovírus e Coronavírus, sendo todos os resultados negativos. O fato de não terem sido isolados fragmentos do genoma viral, não exclui a possibilidade de circulação de diferentes vírus entre os animais. A exclusão de Influenza (IA) e Newcastle (Avulavírus - DNC) foi devido a: “As amostras coletadas para análise de IA e DNC, serão coletadas exclusivamente pelo serviço oficial devem seguir o Plano de Vigilância de IA e DNC publicado em julho de 2022 pelo MAPA e serão processadas exclusivamente pela rede LFDA, de acordo com a programação deste Ministério. Portanto, até que o MAPA altere seu entendimento, o IB- CEAV não pode processar amostras para o diagnóstico de IA seguindo apenas com a realização do diagnóstico desta doença para amostra provenientes do compartimento avícola, exportação e importação de material genético avícola, sendo amostras silvestres, somente

coletado por veterinário do serviço oficial.” Sendo o IB – CEAV o laboratório parceiro para análises virais das amostras de aves marinhas do presente projeto, apesar de ser credenciado pelo MAPA, não estão permitidas as análises de amostras de aves silvestres para fins de pesquisa, até o presente.

Tabela 52: Resultados da análise parasitária de sangue coletadas em *Phaethon aethereus* e *Sula leucogaster* no período chuvoso e seco durante os 4 anos de monitoramento e período chuvoso do 5º ano no arquipélago de Abrolhos. No Ano 2, na estação seca, as amostras não foram coletadas devido à pandemia de COVID-19. Legenda: Neg – Negativo para todas as amostras testadas; *Amostras não coletadas no período.

Espécies/Período	Chuvoso	Seco	Parasita Testado
<i>Phaethon aethereus</i>	Sangue	Sangue	<i>Borrelia</i> spp.
Ano 1 (2018/2019)	22	16	Neg.
Ano 2 (2019/2020)	27	-	Neg
Ano 3 (2020/2021)	20	30	Neg.
Ano 4 (2021/2022)	21	19	Neg.
Ano 5 (2022/2023)	20	*	Neg.
<i>Sula leucogaster</i>	Sangue	Sangue	
Ano 1 (2018/2019)	*	33	Neg.
Ano 2 (2019/2020)	21	-	Neg.
Ano 3 (2020/2021)	16	20	Neg.
Ano 4 (2021/2022)	11	21	Neg.
Ano 5 (2022/2023)	21	*	Neg.

Todas as amostras de sangue de todas as aves testadas apresentaram resultados negativos para *Borrelia* spp. Os achados negativos para *Borrellia* spp. através do sangue não excluem a circulação do patógeno em questão nas aves, já que, autores discutem a dificuldade de se encontrar o parasita no sangue, sendo mais comum ser encontrado diretamente no vetor, no caso, o carrapato.

Tabela 53: Resultados da análise parasitária de sangue coletadas em *Sterna hirundo*, *Sternula superciliaris* e *Thalasseus acutiflavus* no período chuvoso do 5º ano de monitoramento na foz do Rio Doce, Espírito Santo. Legenda: Neg – Negativo para todas as amostras testadas.

Espécies/Período	Chuvoso	Parasita Testado
<i>Sterna hirundo</i>	Sangue	<i>Borrelia</i> spp.
Ano 5 (2022/2023)	23	Neg.
<i>Sternula superciliaris</i>	Sangue	<i>Borrelia</i> spp.
Ano 5 (2022/2023)	4	Neg.
<i>Thalasseus acutiflavus</i>	Sangue	<i>Borrelia</i> spp.
Ano 5 (2022/2023)	9	Neg.

Todas as amostras de sangue de todas as aves testadas apresentaram resultados negativos para *Borrelia* spp. Os achados negativos para *Borrellia* spp. através do sangue não excluem a circulação do patógeno em questão nas aves, já que, autores discutem a dificuldade de se encontrar o parasita no sangue, sendo mais comum ser encontrado diretamente no vetor, no caso, o carrapato.

3 REFERÊNCIAS

- ALVES, V. S., *et al.* Aves marinhas de Abrolhos - Bahia, Brasil. In: BRANCO, J.O. (ed.). **Aves marinhas insulares brasileiras: bioecologia e conservação**. Itajaí: Univali. p. 213–232. 2004.
- BEARHOP, S., RUXTON, G. D., & FURNESS, R. W. Dynamics of mercury in blood and feathers of great skuas. **Environmental Toxicology and Chemistry: an International Journal**, 19(6), 1638–1643. 2000.
- BIBBY, C.; JONES, M.; MARSDEN, S. **Expedition field techniques: bird surveys**. London: Royal Geographical Society, 1992.
- BROWER, J. E.; ZAR, J. H. **Field and laboratory methods for general ecology**. Iowa: HMC Company, p. 194. 1998.
- BROWN, S. C.; BIZARRO, J. J.; CAILLIET, G. M., & EBERT, D. A. Breaking with tradition: redefining measures for diet description with a case study of the Aleutian skate *Bathyraja aleutica* (Gilbert 1896). **Environmental Biology of Fishes**, v. 95, n. 1, p. 3–20. 2011.
- CARREIRO, A. R., *et al.* High-throughput sequencing reveals prey diversity overlap between sympatric Sulids in the tropical Atlantic. **Food Webs**, v. 33, e00258, 2022.
- CHEREL, Y.; HOBSON, K. A. Geographical variation in carbon stable isotope signatures of marine predators: a tool to investigate their foraging areas in the Southern Ocean. **Marine Ecology Progress Series**, v. 329, p. 281–287, 2007.
- BURGER, J., & GOCHFELD, M. **Effects of chemicals and pollution on seabirds**. In: SCHREIBER, E.A. & BURGER, J. (Eds.), *Biology of marine birds* (pp. 503–544). CRC Press. 2001.
- CASTILLO-GUERRERO J.A., PIÑA-ORTIZ A., ENRÍQUEZ-PAREDES L., VAN DER HEIDEN A.M., HERNÁNDEZ-VÁZQUEZ S., SAAVEDRA-SOTELO N.C., FERNÁNDEZ G. Low genetic structure and diversity of Red-billed Tropicbirds in the Mexican Pacific. *Journal of Field Ornithology*, v 91, n 2, p. 142–155. 2020.
- DOMINGUEZ, J. M. L. The coastal zone of Brazil: an overview. **Journal of Coastal Research**, v. 39, p. 16–20, 2006.
- EXCOFFIER, L.; LISCHER, H. E. L. Arlequin suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. **Molecular Ecology Resources**, v. 10, n. 3, p. 564–567, 2010.
- GOUDET, J. FSTAT (Version 1.2): a computer program to calculate F-Statistics. **Journal of Heredity**, v. 86, n. 6, p. 485–486, 1995.
- HOBSON, K. A.; CLARK, R. G. Assessing Avian Diets Using Stable Isotopes II: Factors Influencing Diet-Tissue Fractionation. **The Condor**, v. 94, n.1, p.189–197, 1992.

- HAMBLIN MT, WARBURTON ML, BUCKLER ES. Empirical comparison of simple sequence repeats and single nucleotide polymorphisms in assessment of maize diversity and relatedness. **PLoS ONE**, v. 2 n 12, p. e1367. 2007.
- JONES, B. et al. Widespread gene flow between oceans in a pelagic seabird species complex. **Molecular Ecology**, v. 26, n. 20, 5716–5728, 2017.
- KREBS, C. J. **Ecological methodology**. Menlo Park: Addison-Welley Educational, p. 620, 1999.
- MANCINI, P. L.; BUGONI, L. Resources partitioning by seabirds and their relationship with other consumers at and around a small tropical archipelago. **ICES Journal of Marine Science**, v. 71, n.9, p. 2599–2607, 2014
- MANCINI, P. L.; SERAFINI, P. P.; BUGONI, L. Breeding seabird populations in Brazilian oceanic islands: historical review, update and a call for census standardization. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 24, n. 2, p. 94–115, 2016.
- MANCILLA-MORALES M.D., VELARDE E., AGUILAR A., CONTRERAS-RODRÍGUEZ A., EZCURRA E., ROSAS-RODRÍGUEZ J.A., SOÑANEZ-ORGANIS J.G., RUIZ E.A. Strong Philopatry, Isolation by Distance, and Local Habitat Have Promoted Genetic Structure in Heermann's Gull. *Diversity*, v 14, n 108, p. 1 -23. 2022.
- McMAHON K. W.; HAMADY, L. L.; THORROLD S. R. A review of ecogeochemistry approaches to estimating movements of marine animals. **Limnology and Oceanography**, v. 58, n.2, p.697-714, 2013.
- MILOT E., WEIMERSKIRCH H, & BERNATCHEZ L. The seabird paradox: dispersal, genetic structure and population dynamics in a highly mobile, but philopatric albatross species. **Molecular Ecology**, v. 17, p. 1658–1673, 2008.
- MOLECULAR ECOLOGY RESOURCES PRIMER DEVELOPMENT CONSORTIUM. Permanent genetic resources added to molecular ecology resources database 1 October 2010–30 November 2010. **Molecular Ecology Resources**, v. 11, p. 418–421, 2011.
- MORRIS-POCOCK J. A., ANDERSON D. J. & FRIESEN V. L. Mechanisms of global diversification in the Brown Booby (*Sula leucogaster*) revealed by uniting statistical phylogeographic and multilocus phylogenetic methods. **Molecular Ecology**, v 20, p. 2835–2850. 2011.
- MORRIS-POCOCK J.A., HENNICKE J.C. & FRIESEN V.L. Effects of long-term isolation on genetic variation and within-island population genetic structure in Christmas Island (Indian Ocean) seabirds. *Conservation Genetics*, v 13, p. 1469–1481. 2012.
- NASCIMENTO, I. L. S.; AZEVEDO-JÚNIOR, S.M. Dieta das aves marinhas no Parque Nacional dos Abrolhos, Bahia, Brasil. **Ornithologia**, v. 1, n. 1, p. 75–92. 2005.
- NEI M, & LI WH. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 76, 5269–5273. 1979.

- NUNES G. T., EFE M. A., FREITAS T. R. O, BUGONI L. Conservation genetics of threatened Red-billed Tropicbirds and White-tailed Tropicbirds in the southwestern Atlantic Ocean. **The Condor**, v 119, n 2, p. 251–260. 2017.
- NUNES, G. T.; BERTRAND, S.; BUGONI, L. Seabirds fighting for land: phenotypic consequences of breeding area constraints at a small remote archipelago. **Scientific Reports**, v. 8, n.1, 2018.
- NUNES, G.T., *et al.* Ecological trap for seabirds due to the contamination caused by the Fundão dam collapse, Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 807, 2022.
- PEAKALL, R.; SMOUSE, P. E. GenAEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research: an update. **Bioinformatics**, v. 28, n. 19, p. 2537–2539, 2012.
- PEAKALL, R.; SMOUSE, P. E. GenAEx 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. **Molecular Ecology Notes**, v. 6, n. 1, p. 288–295, 2006.
- PINKAS, L., OLIPHANT M. S., IVERSON, I. L. K. Food habits of albacore, bluefin, tuna, and bonito in Californian waters. **Fisheries Bulletin**, v. 152, p. 1–105, 1971.
- PMBA/FEST. Programa de Monitoramento de Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I. **Relatório Anual do PMBA/FEST RT-39D**, 2021.
- R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Áustria, 2020.
- ROMANUK, T. N.; HAYWARD, A.; HUTCHINGS, J. A. Trophic level scales positively with body size in fishes. **Global Ecology and Biogeography**, v. 20, n. 2, p. 231-240, 2011.
- STROMDAHL, E. Y. et al. DNA evidence of *Borrelia lonestari* in *Amblyomma americanum* (Acari: Ixodidae) removed from humans. **Journal of Clinical Microbiology**, v. 41, p. 5557–5562, 2003.
- SUNDE J, YILDIRIM Y, TIBBLIN P AND FORSMAN A. Comparing the performance of microsatellites and radseq in population genetic studies: analysis of data for pike (*Esox lucius*) and a synthesis of previous studies. **Frontier in Genetics**, v 11 n 218, p. 1-17. 2020.
- TAYLOR, S. A. et al. Isolation and characterization of ten microsatellite loci in blue-footed (*Sula nebouxi*) and Peruvian boobies (*Sula variegata*). **Journal of Ornithology**, v. 151, n. 2, p. 525–528, 2010.
- WOOD, A. G.; NAEF-DAENZER, B.; PRINCE, P. A.; CROXALL, J. P. Quantifying habitat use in satellite-tracked pelagic seabirds: application of kernel estimation to albatross locations. **Journal of Avian Biology**, v. 31, n. 3, p. 278–286, 2000.
- ZIMMERMAN, S.J., ALDRIDGE, C.L. & OYLER-MCCANCE, S.J. An empirical comparison of population genetic analyses using microsatellite and SNP data for a species of conservation concern. **BMC Genomics**, v 21, n 382, p 1-16. 2020.