



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

Isabel Fortes Rodrigues

**FENOLOGIA REPRODUTORA, DIETA,  
ECOLOGIA TRÓFICA E DISTRIBUIÇÃO DE  
PEDREIRINHO (*HYDROBATES JABEJABE*)  
NO ILHÉU RASO, CABO VERDE**

Dissertação no âmbito do Mestrado em Ecologia, orientada pelo  
Doutor Vitor Hugo Rodrigues Paiva e Professor Doutor Jaime  
Albino Ramos e apresentada ao Departamento de Ciências da Vida  
da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de  
Coimbra.

Outubro de 2021

Dissertação apresentada à Universidade de Coimbra para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de mestre em Ecologia, realizada sob a orientação do Doutor Vítor Hugo Rodrigues Paiva (Universidade de Coimbra) e do Professor Doutor Jaime Albino Ramos (Universidade de Coimbra).

**Isabel Fortes Rodrigues**

Departamento Ciências da Vida

Universidade de Coimbra

Coimbra|2021

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer todos que me ajudaram direta ou indiretamente no meu trabalho final.

Esta tese não poderia ter sido concluída sem a ajuda do projeto *Alcyon* - Conservação de aves marinhas de Cabo Verde, coordenado pela BirdLife International ([www.birdlifeinternational.org](http://www.birdlifeinternational.org)) e financiado pela fundação MAVA (<http://mava-foundation.org/>), MARE - Universidade de Coimbra e a ONG Biosfera I.

Muito obrigada pela oportunidade de fazer parte deste projecto, e por ter recebido a Bolsa de estudo no âmbito do projeto *Alcyon*.

Agradecimentos especiais a Nathalie Melo, Kenny Delgado, Stefan Antunes, Júnior Almeida, Catelene Monteiro, Kevin Gomes, Ivan da Graça, Pedro Geraldes, Ruben Sequeira, Ivânia Pinto, Davidson Ferreira, Kleiton da Graça, Emerson Carlos, pela ajuda nos trabalhos de campo.

A Vitor Paiva e ao Professor Jaime Ramos, para além da ajuda no trabalho de campo, por toda a orientação e feedback.

A Diana Matos, Ivo Sarmento e Ana Carreiro pela ajuda nos trabalhos de laboratório, principalmente no laboratório do MARE pelas análises de isótopos estáveis.

Um agradecimento especial a minha família e ao meu namorado por aguentar a mim e ao meu humor este ano, em tempos difíceis, ficando muitas vezes com a nossa filha para eu poder escrever em paz, porque as vezes não era fácil.

A todos os meus professores e colegas de mestrado pela amizade principalmente o Felipe Machado, pelo apoio e pelos bons momentos.

Obrigado a todos vocês!

## RESUMO

O pedreirinho é uma espécie de ave marinha classificada recentemente como endêmica de Cabo Verde. Não existe muita informação sobre a espécie por ser uma ave marinha muito pequena, que regressa às suas colónias apenas à noite, e efetua a sua postura em cavidades de falésias escarpadas e altas, frequentemente com um acesso praticamente impossível. Muitas das informações são baseadas em espécies aparentadas que nidificam em outros arquipélagos da Macaronésia como as ilhas dos açores e da Madeira. Com este trabalho pretende-se atualizar algumas informações sobre a biologia desta espécie, principalmente em termos da fenologia reprodutora e dieta. Assim, procedeu-se ao estudo da fenologia reprodutora, ecologia trófica e a dieta da população de pedreirinho (*Hydrobates jabejabe*) que nidifica em Cabo Verde, entre Janeiro e Novembro 2019. O trabalho foi dividido em 2 objetivos distintos: 1) avaliar o estatuto fenológico, a fenologia reprodutora e a abundância e a distribuição nas áreas de reprodução, através de captura/recaptura com redes verticais, e utilizando aparelhos de gravação automatizados (ARUs) no ilhéu Raso e na ilha de Santo Antão; 2) avaliar a dieta e a ecologia trófica da população nidificante no ilhéu Raso, durante o ano, através da análise de DNA nas fezes e da análise de isótopos estáveis ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ) no sangue recolhidos durante um ano. Em termos da fenologia reprodutora os resultados mostraram que esta espécie apresenta apenas uma população reprodutora nos meses de verão, mas com uma época reprodutora comparávelmente mais alargada. Com os dados dos ARUs, constatou-se que a fase da lua pode influenciar a taxa de vocalizações dos pedreirinhos, as quais foram significativamente mais elevadas na ausência de lua em relação às outras fases da lua, e que no Ilhéu Raso, houve uma maior taxa de vocalização do que na ilha de Santo Antão, pela ausência de poluição luminosa noturna. O DNA de presas nas fezes revelou uma dieta composta fundamentalmente por peixes, com a espécie *Exocoetus volitans* a ter maior predominância (F.O. = 17,39%), logo seguida de *Argyropelecus sladeni* (13,04%). As famílias mais importantes na dieta foram Sternoptychidae, seguida de Exocoetidae e Myctophidae. A ecologia isotópica mostrou uma dieta de nível trófico inferior e locais de alimentação mais costeiros durante a fase reprodutora quando comparado com o período não reprodutor.

**Palavras-chave:** Fenologia reprodutora, gravadores automatizados (ARUs), Dieta, Ecologia trófica, isótopos estáveis, *Hydrobates jabejabe*

## ABSTRACT

The Cabo Verde Storm petrel is a species of seabird recently classified as endemic to Cabo Verde. There is not much information about the species as it is a very small seabird, which only returns to its colonies at night, and lays the egg in cavities of steep and high cliffs, often with virtually impossible access. Much of the information is based on related species that nest in other Macaronesian archipelagos such as the Azores and Madeira islands. With this work we intend to update some information about the biology of this species, mainly in terms of reproductive phenology and diet. Thus, we proceeded to study the reproductive phenology, trophic ecology and diet of the population of Cabo Verde Storm petrel (*Hydrobates jabejabe*) breeding in Cabo Verde, between January and November 2019. The work was divided into 2 distinct objectives: 1) assess the phenological status, reproductive phenology and abundance and distribution in breeding areas, through capture/recapture with vertical networks, and using automated recording devices (ARUs) in Raso Islet and Santo Antão Island; 2) evaluate the diet and trophic ecology of the breeding population in Raso islet, during the year, through DNA analysis in feces and analysis of stable isotopes ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) in blood collected during one year. In terms of reproductive phenology, the results showed that this species has only a population breeding during summer months, but with a comparably longer breeding season. With the data from the ARUs, it was found that the moon phase can influence the rate of vocalizations of storm petrel, which were significantly higher in the absence of moon compared to other moon phases, and that in Raso Islet there was a greater vocalization rate when compared to Santo Antão Island, due to the absence of nocturnal light pollution. The prey DNA on the feces revealed a diet based on fish, with the species *Exocoetus volitans* being the most predominant (O.F. = 17.39%), followed by *Argyropelecus sladeni* (13.04%). Most important families in the diet were Sternoptychidae, followed by Exocoetidae and Myctophidae. The stable isotopic ecology showed a diet of lower trophic level and coastal feeding locations during the breeding phase when compared to the non-breeding period.

**Keywords:** Reproductive Phenology, Automated Recorders (ARUs), Diet, Trophic Ecology, Stable Isotopes, *Hydrobates jabejabe*

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	7
<b>1.1. Contexto Geral</b> .....	7
<b>1.2. Métodos Bioacústicos para estimar o tamanho populacional</b> .....	8
<b>1.3. Ecologia Trófica</b> .....	9
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	11
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	12
<b>3.1. Área de estudo</b> .....	12
<b>3.2. Espécie de estudo</b> .....	13
<b>3.4. Distribuição e tamanho populacional</b> .....	14
<b>3.5. Fenologia reprodutora</b> .....	15
<b>3.6. Amostragem biológica</b> .....	17
<b>3.7. Composição da dieta e ecologia trófica</b> .....	18
<b>3.8. Análise de dados</b> .....	19
<b>4. RESULTADOS</b> .....	21
<b>4.1. Fenologia e abundância relativa</b> .....	21
<b>4.2. Fenologia reprodutora</b> .....	22
<b>4.3. Dieta</b> .....	24
<b>4.4. Isótopos estáveis</b> .....	26
<b>5. DISCUSSÃO</b> .....	27
<b>5.1. Factores ambientais com influência na fenologia de reprodução e distribuição de <i>Hydrobates jabejabe</i></b> .....	27
<b>5.2. Ecologia alimentar</b> .....	28
<b>5.3. Ecologia isotópica</b> .....	29
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	30
<b>7. ANEXOS</b> .....	32
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	34

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Localização das áreas de amostragem de pedreirinho (*Hydrobates jabejabe*) (ilhas a negro) no Barlavento de Cabo Verde (Ilha de Santo Antão e Ilhéu Raso).

**Figura 2.** Espécie de pedreirinho (*Hydrobates jabejabe*) no Ilhéu Raso. (© Kenny Delgado)

**Figura 3.** Mudança de cartão de memória e pilhas num dos ARUs utilizados no Ilhéu Raso. (© Joana Bores)

**Figura 4.** Rede de neblina para captura de pedreirinho (*Hydrobates jabejabe*) a ser montada no Ilhéu Raso antes do anoitecer. (© Joana Bores)

**Figura 5.** Aspecto da placa de incubação em aves, indicador de diferentes fases do período

**Figura 6.** Recolha de dados biométricos (**A**- medição de asa) e anilhagem (**B**) do pedreirinho (*Hydrobates jabejabe*) depois de serem capturados na rede de neblina, no Ilhéu Raso. (© Kenny Delgado)

**Figura 7.** Recolha de dados biológicos (**A**- Sangue e **B**- Fezes) do pedreirinho (*Hydrobates jabejabe*) depois de serem capturados na rede de neblina, no Ilhéu Raso. (© Kenny Delgado)

**Figura 8.** Número de vocalizações  $5\text{min}^{-1}$  ( $\pm\text{SD}$ ) de populações de pedreirinho (*Hydrobates jabejabe*) em Sto. Antão (vermelho) e Ilhéu Raso (preto) ao longo das diferentes fases da lua.

**Figura 9.** Número médio ( $\pm\text{SD}$ ) de vocalizações de pedreirinho (*Hydrobates jabejabe*) no Ilhéu Raso entre Janeiro e Novembro de 2019.

**Figura 10.** Frequência de ocorrência mensal de pedreirinhos capturados com redes verticais no Ilhéu Raso entre Janeiro e Novembro 2019, com pelada de incubação

**Figura 11.** Resíduos da regressão (mediana, quartis 25-75%, variação excluindo *outliers* e *outliers*) do efeito do peso na asa dos pedreirinhos (*Hydrobates jabejabe*) capturados em redes verticais no Ilhéu Raso, entre Janeiro e Novembro de 2019.

**Figura 12.** Frequência de ocorrência de famílias (A) e (B) espécies de presas na dieta de pedreirinho (*Hydrobates jabejabe*) do Ilhéu Raso, Cabo Verde.

**Figura 13.** Valores dos isótopos de azoto ( $\delta^{15}\text{N}$ ) e carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) (mediana, quartis 25-75%, variação excluindo *outliers* e *outliers*) do sangue de pedreirinhos (*Hydrobates jabejabe*) capturados em redes verticais entre Janeiro e Outubro de 2019.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Contexto Geral

As aves marinhas são por definição, espécies que vivem e sobrevivem a partir do ambiente marinho dependendo cerca de 90% do seu tempo de vida neste ambiente e apresentando uma distribuição bastante ampla pelos oceanos, desde as regiões marinhas tropicais às polares (Schreiber & Burger, 2001). Algumas espécies alimentam-se em águas com determinadas amplitudes térmicas, estando distribuídas por zonas específicas (tropicais, subtropicais, temperadas ou subantárticas), enquanto outras têm áreas de invernada diferentes das áreas de reprodução, realizando longas migrações de milhares de quilómetros, em resposta à sazonalidade da produtividade marinha (Brooke, 2004).

As aves marinhas são na sua maioria predadores de topo e representam alterações que ocorrem em níveis tróficos inferiores. Como tal, têm vindo a ser estudadas como bons exemplos de indicadores ecológicos, podendo funcionar como ‘sentinelas’ de alterações nos ecossistemas marinhos (Furness & Camphuysen, 1997). Isto porque a maioria das aves são facilmente detetáveis tanto em alto mar como em terra, alimentam-se nos oceanos mas reproduzem-se em terra, em grandes colónias, permitindo obter um grande número de amostragens para estudar a sua biologia, fisiologia, ou condição corporal, e estes factos aliados à grande distribuição de locais de reprodução das aves, faz com que possamos estudar os diversos fatores de stress (e.g. concentração de metais pesados acumulados nas suas penas) em diversos locais do mundo (Niemi & McDonald, 2004).

Devido à sua mobilidade e longevidade, as aves marinhas têm ainda a vantagem de responder às alterações do ecossistema marinho onde estão inseridas em diferentes escalas espaciais e temporais, como é o caso de alguns Procellariiformes, que durante a sua época de reprodução, procuraram alimento perto do local de nidificação para poderem visitar com frequência o ninho para incubar o ovo ou alimentar as suas crias, mas fora da época reprodutora fazem longas viagens para explorar outras fontes de alimento, e assim refletem condições de habitats completamente diferentes nas diferentes fases dos seus ciclos de vida (Diamond & Devlin, 2003).

No grupo das aves marinhas podemos encontrar diferentes Ordens, sendo uma delas a ordem Procellariiformes, dividida em quatro famílias: Diomedidae (albatrozes), Procellariidae (Petréis e Pardelas), Hydrobatidae (Painhos) e Pelecanoididae (Petréis



mergulhadores). Os Procelariiformes estão entre as aves marinhas mais oceânicas, passando a maior parte do tempo no mar, vindo a terra apenas para nidificar. A chegada a colônia, é quase sempre ao anoitecer para evitar possíveis predadores (April Hedd & Montevecchi, 2006), e os ninhos são construídos em cavidades no solo (Hazevoet, 1995). A maioria das espécies coloca apenas um ovo por temporada, e não efetua uma postura de reposição caso o ovo seja perdido, resultando assim no insucesso da sua época reprodutora. Muitas das espécies optam por não se reproduzir em alguns anos (anos sabáticos) (Schreiber & Burger, 2001).

Os Procellariiformes estão entre as ordens mais ameaçadas do mundo e o seu estatuto de conservação deteriorou-se mais rapidamente do que qualquer outro grupo de aves nos últimos tempos (Dias et al., 2019). As ameaças incluem os impactos da pesca e da poluição, da perturbação humana terrestre, da modificação do habitat e dos predadores introduzidos (Croxall et al., 2012; Dias et al., 2019). Os impactos de predadores introduzidos têm sido particularmente negativos para os Hydrobatidae, devido ao seu pequeno porte, o que os tornam bastante vulneráveis a fatores de predação como ratos introduzidos em ilhas oceânicas onde esta família tipicamente nidifica (Matias & Catry, 2010). Além disso, muitos juvenis ficam desorientados pelas luzes artificiais enquanto tentam fazer os seus primeiros voos para o mar (Rodríguez & Rodríguez, 2009), levando-os à morte por predação ou fome, devido aos ferimentos, ou por serem incapazes de levantar voo (Rodríguez et al., 2017).

## **1.2. Métodos Bioacústicos para estimar o tamanho populacional**

Para avaliar a distribuição e o tamanho populacional ou a abundância relativa de aves na colônia ao longo da época de reprodução de algumas espécies de Procellariiformes, várias técnicas têm vindo a ser utilizadas para localizar os locais de reprodução e monitorização das respetivas colônias. O método bioacústico é uma técnica muito útil para recolha de dados para pesquisa ecológica e monitorização, porque muitas espécies usam o som como o principal método de comunicação ou para encontrar os parceiros na colônia durante a noite e têm vocalizações muito distintas entre espécies (Shonfield & Bayne, 2017). Graças aos avanços tecnológicos e computacionais, hoje pode-se recolher informações bioacústicas através de gravadores automatizados (*Automatic Recording Units* – ARUs) que podem ser usados para gravar as vocalizações

noturnas das aves marinhas e assim efetuar a sua monitorização (Furnas & Callas, 2015). Podem ser implementados em lugares remotos e de difícil acesso e programados para registar a atividade vocal durante um período de tempo especificado e depois analisados em diferentes *softwares*. Esta técnica pode diminuir o tempo de trabalho no campo e reduzir o impacto causado pelos investigadores nas colónias (Blumstein et al., 2011; Campbell & Francis, 2012). No entanto, variáveis ambientais podem interferir na recolha de dados, com por exemplo a iluminação da lua, que pode afetar o número de visitas aos ninhos durante à noite, e assim os padrões de vocalização e/ ou os indivíduos podem reduzir as suas vocalizações em noites de maior luminosidade, como possível estratégia de fuga a predadores (Borker et al., 2014).

A poluição luminosa noturna, também designada por “*Ecological Light Pollution*” (Longcore & Rich, 2004) foi também recentemente identificada como um fator de ameaça para as aves marinhas, em especial para os procellariiformes (Rodríguez et al., 2017). De facto, esta poluição pode conduzir à desorientação no voo noturno de chegada à colónia de reprodução e morte dos indivíduos, devido ao impacto com estruturas Humanas (Rodríguez et al., 2015a) ou predação por animais domésticos (Rodríguez, et al., 2015b). É também conhecido o efeito que pode ter na frequência de vocalizações dos indivíduos à chegada a terra e conseqüente enviesamento na estimativa de abundâncias relativas a partir da frequência de vocalizações individuais (Gineste et al., 2017).

### **1.3. Ecologia Trófica**

Para compreender as interações entre as espécies e o equilíbrio dos ecossistemas, e também para avaliar o impacto das ameaças a esses ecossistemas é importante compreender a ecologia trófica das comunidades (Branco et al., 2005). A sobre-exploração da pesca e as alterações oceanográficas devido às alterações climáticas podem causar transformações nas cadeias alimentares e desestabilizar o equilíbrio dos ecossistemas marinhos, com repercussões ao longo da cadeia trófica até aos predadores de topo, como as aves marinhas (Weimerskirch, 2007). Estudos sobre a dieta de aves marinhas, são indispensáveis para a compreensão do papel funcional dos organismos no ecossistema, fornecendo informações sobre as cadeias alimentares marinhas, a importância e a abundância de presas em diferentes escalas espaciais e temporais, as

dinâmicas predador/presa, o grau de sobreposição de nichos e a competição entre espécies (Weiser & Powell, 2011).

Tradicionalmente, a dieta das aves marinhas tem sido estudada usando métodos convencionais como a análise de regurgitações, análise de conteúdos estomacais obtidos através de lavagens gástricas, análise de fezes e observação direta. Mas como todos os métodos, estes também apresentam as suas desvantagens, visto que refletem a dieta apenas durante o período específico em que as amostras são recolhidas, nomeadamente o período reprodutor, quando as espécies são fáceis de amostrar. Em termos de identificação nem sempre as presas estão em boas condições, devido ao nível avançado da sua digestão. Para complementar as informações dos métodos convencionais, novas técnicas têm sido utilizadas para determinar a ecologia trófica das aves marinhas, como a análise de isótopos estáveis (*Stable Isotope Analysis – SIA*) (Barrett et al., 2007).

A técnica de Análise de Isótopos Estáveis de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e azoto ( $\delta^{15}\text{N}$ ) é cada vez mais utilizada em Ecologia como uma forma de estudar a ecologia trófica das aves marinhas, as posições tróficas das espécies e respetivas variações espaciais e temporais (Ramos et al., 2002). O  $^{15}\text{N}$  é enriquecido a cada nível trófico onde pode aumentar entre 3-5‰, devido a produção de ureia ou ácido úrico, enquanto que o  $^{13}\text{C}$  aumenta apenas 0.8‰ a cada nível trófico e por isso é um bom indicador do local de alimentação, sendo enriquecido em ambientes costeiros e epipelágicos em relação a regiões oceânicas e demersais (Catry et al., 2008). Existem muitos tecidos diferentes onde os isótopos estáveis podem ser quantificados, mas as penas e o sangue são particularmente vantajosos, pois podem ser amostrados de forma pouco intrusiva. O sangue em particular, dá-nos informações acerca das presas ingeridas recentemente, i.e., dieta assimilada nas últimas 4-6 semanas. (Pollet et al., 2014; Paiva et al., 2015).

Outra forma de analisar a dieta de muitas espécies de vertebrados, incluindo aves marinhas, é através de métodos moleculares, onde é detetado DNA de presas presentes nos dejetos e regurgitações do indivíduo (Symondson, 2002). Esta técnica já é extensamente utilizada para estudar a ecologia trófica de animais, mas ainda pouco utilizada para avaliação das preferências alimentares de aves marinhas (Young et al., 2020; McInnes et al., 2021). Como é um método não invasivo, é especialmente útil no estudo da dieta de pequenas aves marinhas, como é o caso do Pedreirinho *Hydrobates jabejabe* (Carreiro et al., 2020).

## 2. OBJETIVOS

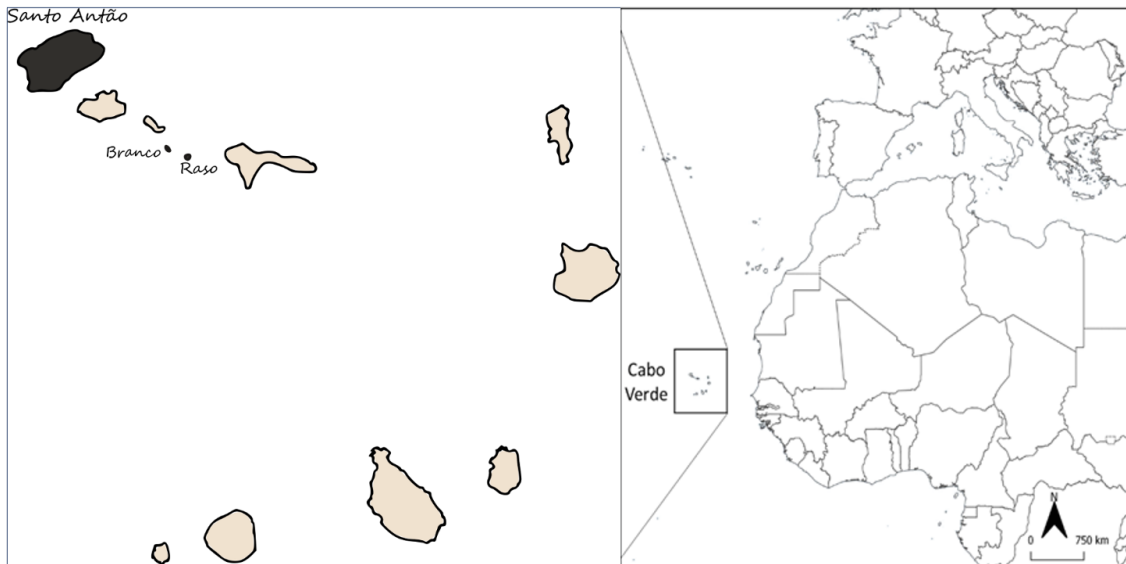
Com este trabalho pretendeu-se identificar os fatores ambientais que influenciam a fenologia, ecologia trófica e dieta da população de pedreirinho que nidifica no ilhéu Raso, Cabo Verde. Procurou-se responder às seguintes questões:

- 1) Terá a fase da lua e a poluição lumínica noturna influência nos padrões de atividade da espécie na chegada às colónias de reprodução?
- 2) Dada a presença de Pedreirinho no Ilhéu Raso durante todo o ano, terá esta população um período reprodutor alargado e menos restrito no tempo quando comparada com outras espécies de procellariiformes?
- 3) Haverá variação da condição corporal dos indivíduos da espécie ao longo do ano? É previsível que durante o período reprodutor a sua condição corporal diminua, em linha com o que sucede com outras espécies de aves marinhas;
- 4) Será a dieta dos pedreirinhos do Ilhéu Raso baseada em pequenos pelágicos, mictofídeos e cefalópodes, à semelhança de espécies próximas como o páinho da Madeira *Hydrobates castro*?
- 5) Existirá sazonalidade na ecologia trófica da população do Ilhéu Raso, com valores mais elevados de  $\delta^{13}\text{C}$  (alimentação em áreas mais costeiras) e  $\delta^{15}\text{N}$  (assimilação de presas de nível trófico superior) durante o período reprodutor em relação ao período não reprodutor?

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Área de estudo

Cabo Verde é um país tropical que fica situado no Oceano Atlântico Norte, aproximadamente a 500 Km da Costa Ocidental Africana, constituído por dez ilhas e nove ilhéus de natureza vulcânica (Fig. 1). O arquipélago é definido de acordo com a natureza dos ventos dominantes sendo dividido em dois grupos: Ilhas de Barlavento compreendendo: Santo Antão, São Vicente, São Nicolau, Santa Luzia (inabitada), Sal e Boavista e ilhas de Sotavento compreendendo: Maio, Santiago, Fogo e Brava. O ilhéu Raso (16°36'40.63" N, 24°35'15.81" W), fica localizado aproximadamente 16 km da ilha de São Nicolau, com uma área de 5.76 km<sup>2</sup> (SEPA, 2004). A maior elevação apresenta uma altitude máxima de 164 m (Ribeira do Ladrão) e apresenta um solo de natureza vulcânica e rochoso (Pastor et al., 2012). O Ilhéu Raso foi declarado como área marinha protegida (Reservas Naturais, Decreto-Lei 97/III/90) por forma a salvaguardar toda a biodiversidade lá existente, e é regularmente visitado por pescadores locais, provenientes principalmente de São Vicente e São Nicolau. Representa uma importante área de nidificação para algumas aves (Vasconcelos et al., 2015), sobretudo marinhas, de entre as quais a Cagarra *Calonectris edwardsii* (espécie endémica), reunindo cerca de 6,544 casais reprodutores (Biosfera, 2018), João-preto *Bulweria bulwerii*, Pedreirinho *Hydrobates jabejabe* (espécie endémica), Rabo-de-Junco *Phaethon aethereus*, Alcatraz *Sula leucogaster*, Pedreiro *Puffinus lherminieri boydi* (Sub-espécie endémica) (Hazevoet, 1994; Pastor et al., 2012).



**Figura 1.** Localização das áreas de amostragem de pedreirinho (*Hydrobates jabejabe*) (ilhas a negro) no Barlavento de Cabo Verde (Ilha de Santo Antão e Ilhéu Raso).

### 3.2. Espécie de estudo

O pedreirinho *Hydrobates jabejabe* (Bocage, 1875), foi reconhecida em 2018, como uma nova espécie taxonomicamente separada do *Hydrobates castro*. Estudos recentes têm mostrado que a população de Cabo Verde é geneticamente distintas das outras populações, apresentando diferenças também nas vocalizações e na filogenia molecular e nomeada como uma espécie endêmica de Cabo Verde, uma vez que apenas se reproduz nas ilhas desta arquipélago (Bolton, 2007; Oliveira et al., 2013; Wallace et al., 2017). Apresenta uma população estimada em mais de 10.000 de indivíduos, mas devido à predação por espécies invasoras, exploração pelo homem e degradação do habitat a população pode estar a diminuir (Fig.2). No entanto, encontra-se no estatuto Pouco Preocupante pela IUCN (Birdlife international, 2018).

Em Cabo Verde, a espécie nidifica em várias ilhas como por exemplo Santo Antão, Santa Luzia, São Nicolau, Sal, Boavista, Maio e Santiago e ilhéus Raso, Branco, ilhéus Rombo. Segundo dados de vocalizações, o ilhéu Raso apresenta maior abundância, provavelmente por haver menos predação no local (Semedo et al., 2020). Devido ao seu pequeno tamanho corporal ainda existe pouca informação sobre sua ecologia e, especificamente, sobre sua ecologia de forrageamento mas sabe-se que os Hydrobatidae alimentam-se principalmente de peixes-lanternas mesopelágicas, que migram

verticalmente para a superfície do oceano durante a noite, crustáceos planctónicos e pequenos cefalópodes (Monteiro & Furness, 1998). A fenologia do pedreirinho ainda é pouca conhecida, dado que, aparentemente, existem ninhos ativos durante quase todo o ano (Hazevoet, 1995). Até agora, não se sabe se esta espécie tem um período reprodutor muito longo ou se se trata de duas populações, nesse caso uma população a nidificar durante o inverno e outra a nidificar durante o verão, à semelhança do que sucede no arquipélago dos Açores com o *Hydrobates castro* (reprodutor de inverno) e *Hydrobates monteiroi* (reprodutor de verão) (Monteiro et al., 1996). Durante o período reprodutor, permanece nas águas de Cabo Verde para alimentar-se, mas a distribuição e a dieta desta espécie fora da época reprodutora ainda é totalmente desconhecida (Alcyon, 2021).



**Figura 2.** Espécie de pedreirinho (*Hydrobates jabejabe*) no Ilhéu Raso. (© Miguel Leqoc)

### **3.4. Distribuição e tamanho populacional**

Para identificar a distribuição e avaliação relativa do tamanho populacional, foram utilizadas unidades de gravação automatizadas (ARUs e Audiomoths; <https://www.openacousticdevices.info>), que foram programadas para gravar as vocalizações durante o período noturno (19:00 – 04:00), gravando 1 minuto a cada 10 minutos, entre Janeiro e Novembro. Estes gravadores foram colocados em cada local de estudo, o mais próximo possível das colónias identificadas anteriormente (Semedo et al., 2020). para melhor deteção de vocalizações durante a noite, tanto no Ilhéu Raso (N = 4 ARUs) como na Ilha de Sto. Antão (N = 3 ARUs). Todas as informações recolhidas foram armazenadas em diferentes cartões de memória, fáceis de armazenar num computador e

as baterias trocadas pelo menos uma vez por mês (Fig. 3). O processamento dos dados de som, para obtenção dos espectros, detecção e quantificação das vocalizações (nº vocalizações por cada 5 min.) foi efetuado com recurso ao *freeware Audacity* e alguns scripts para manipulação dos dados em ambiente R, como algumas funções do pacote *dplyr* (Wichkam et al. 2021) da coleção de pacotes R *tidyverse*.



**Figura 3.** Mudança de cartão de memória e pilhas num dos ARUs utilizados no Ilhéu Raso. (© Joana Bores)

### **3.5. Fenologia reprodutora**

Para avaliação da fenologia reprodutora foram montadas redes verticais (ou de neblina) ao início da noite, no ilhéu Raso nos meses de Janeiro, Maio – Novembro de 2019. Estas foram montadas 1-3 vezes por mês, para captura/recaptura de indivíduos (Fig. 4). A instalação das redes foi feita no mesmo local (Ribeira de Ladrão) durante todas as sessões de amostragem. Estas foram visitadas a cada 15 minutos, para retirar as aves capturadas.

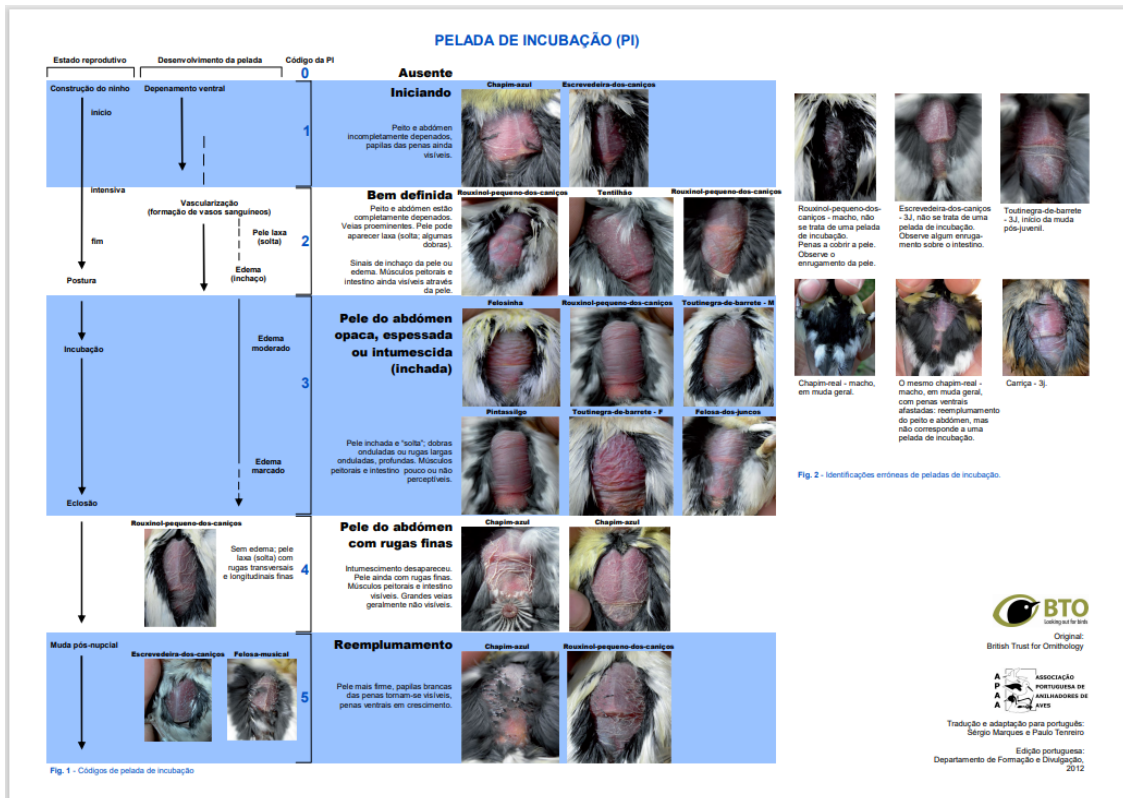




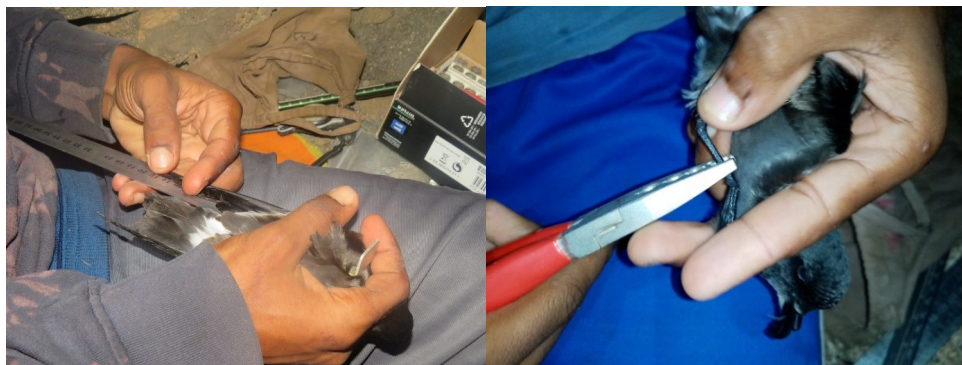
**Figura 4.** Rede de neblina para captura de pedreirinho (*Hydrobates jabejabe*) a ser montada no Ilhéu Raso antes do anoitecer. (© Joana Bores)

Todas as aves capturadas em rede foram marcadas individualmente através de anilhas metálicas e registados os dados biométricos (comprimentos da asa e do tarso, bico, cabeça + bico), peso e registada a presença/ ausência de placa de incubação, usando os códigos 0 a 5 (0 – ausente, 1 – fase de construção do ninho: peito e abdómen sem algumas penas, papilas das penas ainda visíveis, 2 – postura: peito e abdómen estão completamente sem penas, músculo do peito e estômago bem visíveis através da pele, 3 – incubação/eclosão: pele do ventre opaca e grossa, 4 – crias desenvolvidas: pele ainda com rugas finas, músculos peitorais e intestino visíveis, 5 – pós-reprodução: pele mais firme, papilas brancas das penas tornam-se visíveis, penas ventrais em crescimento) (Fig. 5). As biometrias foram recolhidas com recurso a régua metálica (15cm, precisão 1cm), paquímetro (50mm, 1mm) e balança Pesola (100g, 1g) (Fig.6).

---



**Figura 5.** Aspeto da placa de incubação em aves, indicador de diferentes fases do período reprodutor. 0 – ausente, 1 – fase de construção do ninho: peito e abdômen sem algumas penas, papilas das penas ainda visíveis, 2 – postura: peito e abdômen estão completamente sem penas, músculo do peito e estômago bem visíveis através da pele, 3 – incubação/eclosão: pele do ventre opaca e grossa, 4 – crias desenvolvidas: pele ainda com rugas finas, músculos peitorais e intestino visíveis, 5 – pós-reprodução: pele mais firme, papilas brancas das penas tornam-se visíveis, penas ventrais em crescimento.



**Figura 6.** Recolha de dados biométricos (A- medição de asa) e anilhagem (B) do pedreirinho (*Hydrobates jabejabe*) depois de serem capturados na rede de neblina, no Ilhéu Raso. (© Kenny Delgado)

### 3.6. Amostragem biológica

Para análise de isótopos estáveis, foi retirada uma pequena amostra de sangue (2 capilares) das veias metatarsal ou braquial, que foi preservada em álcool a 70% até ser

analisada. Foi ainda retirada a cada indivíduo uma pequena amostra de fezes, diretamente de cada ave para um tubo de 2ml com etanol absoluto, após uma massagem abdominal para facilitar a defecação e também preservadas em etanol a 70% até serem analisadas (Fig.7).



**Figura 7.** Recolha de dados biológicos (A- Sangue e B- Fezes) do pedreirinho (*Hydrobates jabejabe*) depois de serem capturados na rede de neblina, no Ilhéu Raso. (© Kenny Delgado)

### 3.7. Composição da dieta e ecologia trófica

O DNA das amostras foi então extraído num laboratório do CIBIO-InBIO (Universidade do Porto), usando um kit extração de DNA (*Stool DNA isolation kit* - Norgen) e evitando possíveis contaminações. Dois fragmentos de DNA diferentes foram escolhidos para identificar grupos distintos de presas, nomeadamente um *primer* de peixes (mtDNA 12S - *primers MiFish-U*) e um *primer* geral de invertebrados (mtDNA COI – *primers Leray-XT*). As amplificações foram realizadas separadamente para cada conjunto de *primers*, utilizando um kit Multiplex PCR (Qiagen) em reações de 10 $\mu$ l. Os produtos de PCR foram então corridos num sequenciador MiSeq (Illumina) para uma média de 12.000 sequências por amostra. Essas sequências foram processadas bioinformaticamente para remover quaisquer erros de PCR ou de sequenciação. As presas foram identificadas comparando o conjunto final de haplótipos obtidos com o GenBank online, bem como com sequências de amostras de vertebrados e invertebrados recolhidos em Cabo Verde. Quando o mesmo haplótipo correspondeu a mais de uma espécie ou género com probabilidades semelhantes, foram considerados apenas espécies ou géneros de presas potências, com ocorrência conhecida em Cabo Verde. Para avaliar a ecologia trófica as amostras de sangue foram sujeitas a uma análise isotópica para determinar os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e de  $\delta^{15}\text{N}$ . As amostras foram secas a 40°C numa estufa durante 3 dias,

depois moídas, pesadas ( $\sim 0,35$  mg) e encapsuladas em cápsulas de estanho para proceder à sua análise isotópica utilizando o espectrofotómetro de massa (IRMS).

Os dados da intensidade da lua foram extraídos utilizando a função *moonAngle* do pacote de análise R “*oce*” (Kelley & Richards, 2020) como a percentagem de lua iluminada a cada noite associada à fase crescente ou decrescente. Desta forma foram definidas as seguintes categorias: lua nova (0 %), crescente côncava (1-25%), quarto crescente (26-50%), crescente gibosa (51-75%), lua cheia (76-100%), minguante gibosa (100-76%), quarto decrescente (75-51%) e minguante côncava (50-26%). Foram também obtidas imagens de satélite de alta resolução (*rasters*) mensais para mapeamento da poluição lumínica nocturna (*ALAN-Artificial Light At Night*) durante os períodos de operação dos ARUS na ilha de Sto. Antão e Ilhéu Raso, através de produtos VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*). As imagens nocturnas foram descarregadas com uma resolução de 500 x 500 m do *Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Geophysical Data Centre* ([https://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download\\_ut\\_mos.html](https://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_ut_mos.html)). A intensidade de luz artificial (lux) foi calculada para cada mês num raio de 250m de cada um dos locais de amostragem com gravadores automáticos de som (ARUS ou AudioMoths), utilizando a função *extract* do pacote R *raster* (Hijmans, 2021).

### 3.8. Análise de dados

Para analisar a influência da fase da lua (8 categorias, ver métodos), poluição lumínica nocturna (ALAN, variável contínua) e local de amostragem (Ilha de Santo Antão ou Ilhéu Raso) e interação entre os três fatores anteriores (variáveis independentes) no número de vocalizações  $5\text{min}^{-1}$  de pedreirinho (variável de resposta), utilizaram-se *General Linear Models (GLMs)* com distribuição *quasi-poisson (log link function)*.

Para os dados do Ilhéu Raso, dois GLMs foram ainda utilizados para analisar o efeito do mês de amostragem (Janeiro – Dezembro) na (1) frequência de ocorrência de 4 códigos de placa de incubação (códigos 1, 2, 3 e 5, ver métodos) e na (2) condição corporal (resíduos da regressão peso-asa) dos indivíduos capturados nas redes verticais. Tendo em conta a natureza dos dados utilizou-se em ambos os modelos a família *quasibinomial (logit link function)*.

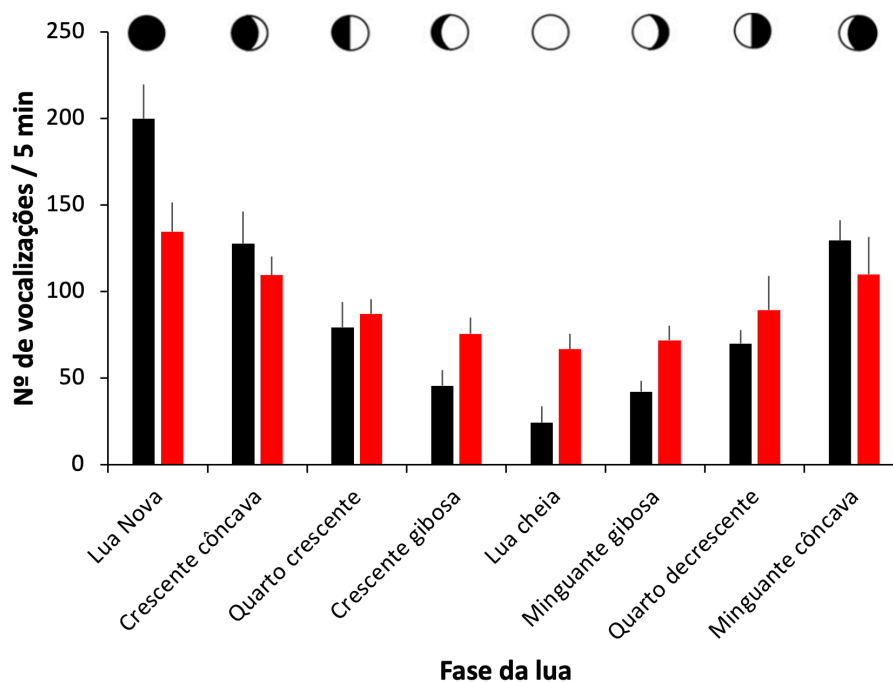
Para interpretação da sazonalidade na ecologia trófica, analisou-se o efeito do mês de amostragem biológica (Janeiro, Junho, Agosto ou Outubro) nos valores de (1)  $\delta^{15}\text{N}$  e (2)  $\delta^{13}\text{C}$  no sangue de pedreirinho. Para ambos os GLM selecionou-se a família *Gaussian* (*log link function*).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Fenologia e abundância relativa

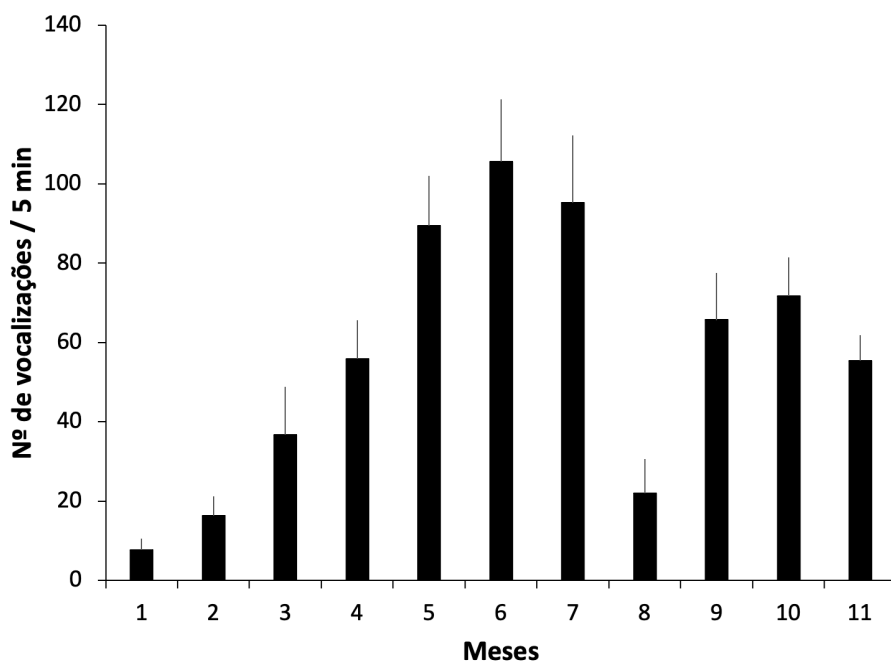
Tanto na Ilha de Santo Antão como no Ilhéu Raso, o número de vocalizações de pedreirinho foi significativamente mais elevado na ausência de lua (lua nova) em relação às outras fases da lua (efeito lua: coef $\pm$ SE,  $3.5 \pm 0.2$ ,  $t = 9.51$ ,  $P = 0.01$ ).

Em Sto. Antão, a poluição lumínica teve um efeito negativo e significativo no número de vocalizações (coef $\pm$ SE,  $-3.9 \pm 0.4$ ,  $t=6.22$ ,  $P=0.01$ ). Além disso, os resultados mostraram um efeito negativo e significativo da interação da fase da lua e intensidade lumínica apenas em Santo Antão (coef $\pm$ SE,  $-4.1 \pm 0.8$ ,  $t = 8.21$ ,  $P=0.001$ ) (Fig. 8).



**Figura 8.** Número de vocalizações  $5\text{min}^{-1}$  ( $\pm$ SD) de populações de pedreirinho (*Hydrobates jabejabe*) em Sto. Antão (vermelho) e Ilhéu Raso (preto) ao longo das diferentes fases da lua.

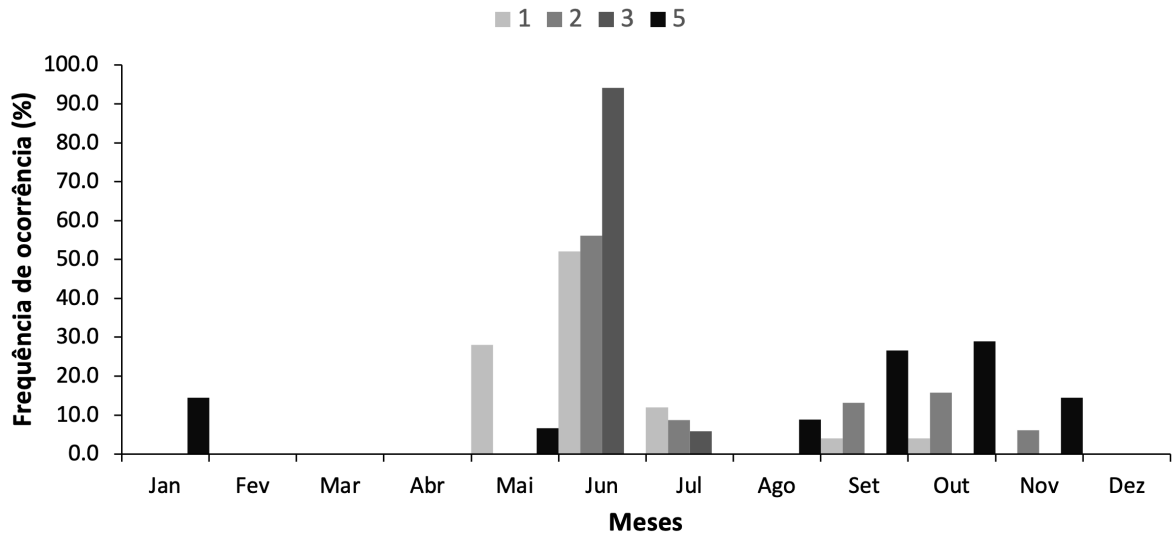
No Ilhéu Raso, o número de vocalizações foi significativamente mais elevado nos meses de Maio a Julho em comparação com os outros meses do ano ( $F_{11,4253} = 32.11$ ,  $P < 0.001$ ). Registou-se também um aumento de vocalizações no Outono (Setembro a Novembro) (Fig. 9).



**Figura 9.** Número médio ( $\pm$ SD) de vocalizações de pedreirinho (*Hydrobates jabejabe*) no Ilhéu Raso entre Janeiro e Novembro de 2019.

## 4.2. Fenologia reprodutora

Ao longo dos meses de amostragem no Ilhéu Raso, verificou-se uma maior frequência de ocorrência (F.O.) de indivíduos com pelada de incubação 1-3, nos meses de verão (Junho-Julho), em relação aos outros meses do ano ( $F_{11,281} = 2.69$ ,  $P = 0.001$ ). Foi notória a presença de placa código 5 (pós reprodução), entre Agosto e Janeiro (Fig. 10). Junho foi o mês com maior quantidade de indivíduos capturados em rede ( $N = 122$ ), Agosto ( $N = 8$ ) e Janeiro ( $N = 13$ ) os com menor quantidade, apesar do esforço de amostragem se ter mantido similar (anexo 2).

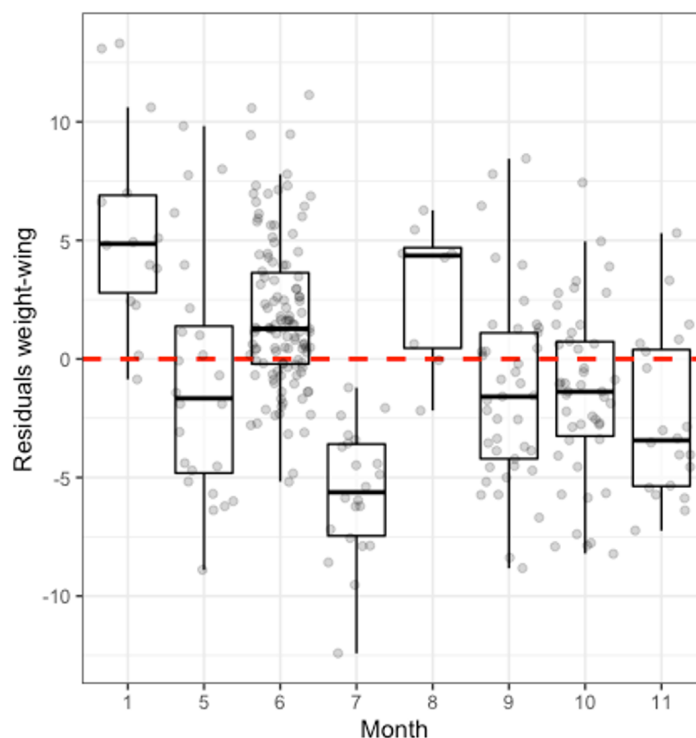


**Figura 10.** Frequência de ocorrência mensal de pedreirinhos capturados com redes verticais no Ilhéu Raso entre Janeiro e Novembro 2019, com pelada de incubação (código 1) a começar a aparecer (início da reprodução); (2) bem definida. Músculo do peito e estômago bem visíveis através da pele (época de postura); (3) Vermelho e com veias salientes. A pele do ventre opaca e grossa (época de incubação/ eclosão); (5) com penas a cobrir o ventre (período pós-reprodução). Não houve amostragem com redes de neblina em Dezembro e entre Fevereiro e Abril.

Durante o período de amostragem, os pedreirinhos da população do Ilhéu Raso apresentaram um peso médio de  $37.31 \pm 18.63$  gr, um tarso e uma asa médios de  $23.12 \pm 9.24$  mm e  $157.09 \pm 10.11$  mm, respetivamente (anexo 1).

No Ilhéu Raso, os indivíduos capturados em rede exibiram uma condição corporal significativamente mais baixa em Julho, e mais elevada em Janeiro, em relação aos demais meses de amostragem ( $F_{7,285} = 3.08$ ,  $P = 0.01$ ) (Fig. 11).





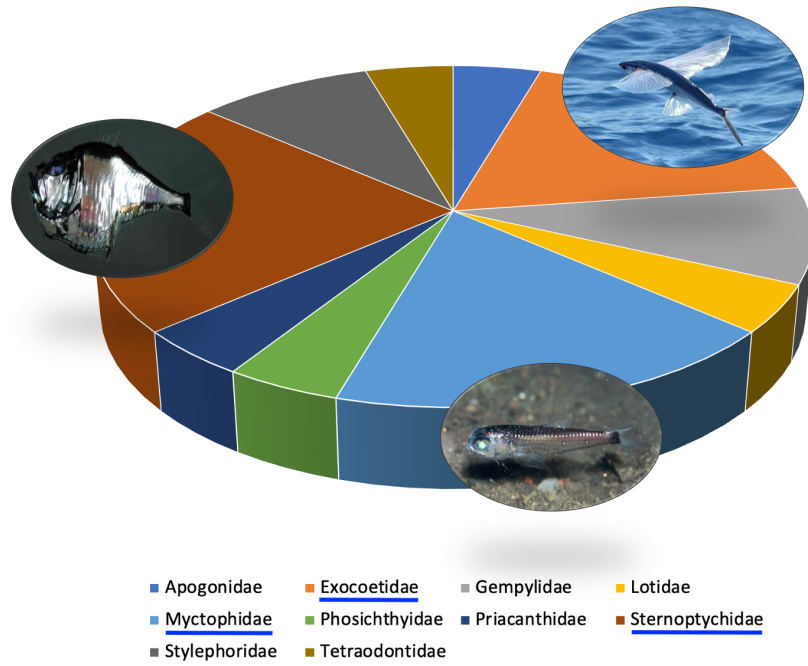
**Figura 11.** Resíduos da regressão (mediana, quartis 25-75%, variação excluindo *outliers* e *outliers*) do efeito do peso na asa dos pedreirinhos (*Hydrobates jabejabe*) capturados em redes verticais no Ilhéu Raso, entre Janeiro e Novembro de 2019.

### 4.3. Dieta

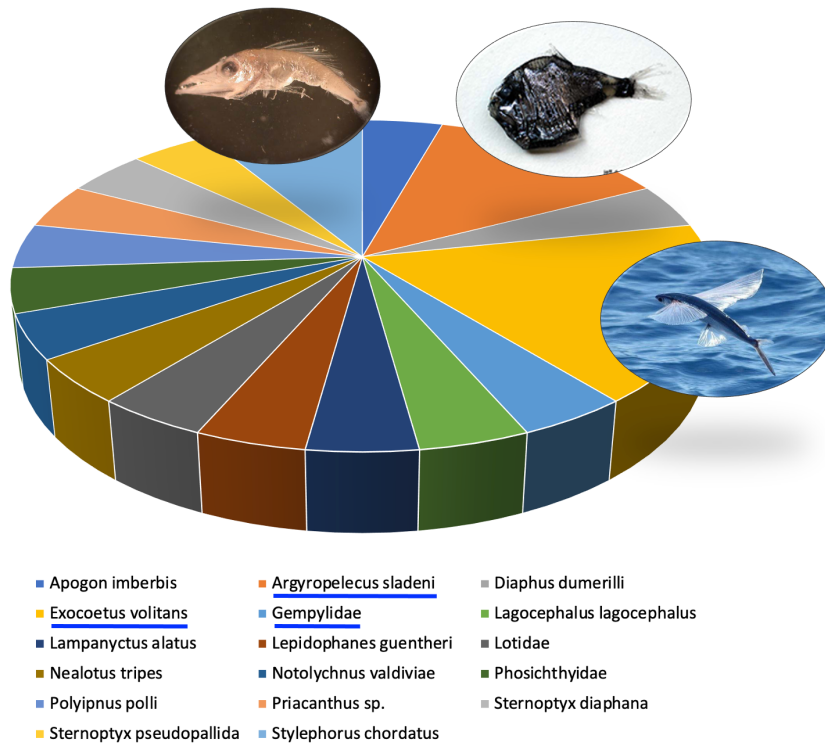
Da análise da composição da dieta pelo DNA, de presas nas fezes de pedreirinho do Ilhéu Raso, resultou uma predominância das famílias Sternoptychidae (F.O. = 22,72%), Exocoetidae (18,18%) e Myctophidae (18,18%), logo seguidas das famílias Gempylidae (9,09%) e Stylephoridae (9,09%). As restantes famílias repartiram equitativamente a sua preponderância na dieta da espécie, cada uma delas com 4,55% de frequência de ocorrência (Fig. 12A).

Em relação às espécies detetadas na dieta, verificou-se a preponderância de *Exocoetus volitans* (F.O. = 17,39%), logo seguida de *Argyropelecus sladeni* (13,04%) e *Stylephorus chordatus* (8,70%). Todas as restantes espécies foram detetadas com um peso igual na dieta, com 4,35% cada uma (Fig. 12B).

A



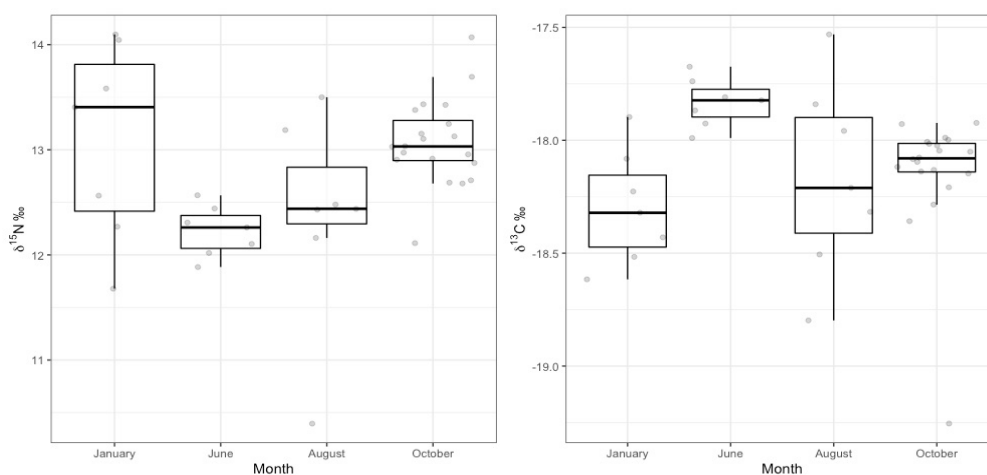
B



**Figura 12.** Frequência de ocorrência de famílias (A) e (B) espécies de presas na dieta de pedreirinho (*Hydrobates jabejabe*) do Ilhéu Raso, Cabo Verde.

#### 4.4. Isótopos estáveis

Registaram-se valores de  $\delta^{15}\text{N}$  no sangue de pedreirinho significativamente mais baixos durante Junho em relação a Agosto, Outubro ou Janeiro ( $F_{3,37} = 3.45$ ,  $P = 0.03$ ). Por outro lado, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  foram significativamente mais elevados em Junho, do que nos restantes meses ( $F_{3,37} = 4.44$ ,  $P = 0.01$ ) (Fig. 13).



**Figura 13.** Valores dos isótopos de azoto ( $\delta^{15}\text{N}$ ) e carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) (mediana, quartis 25-75%, variação excluindo *outliers* e *outliers*) do sangue de pedreirinhos (*Hydrobates jabejabe*) capturados em redes verticais entre Janeiro e Outubro de 2019.

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. Factores ambientais com influência na fenologia de reprodução e distribuição de *Hydrobates jabejabe*.

A avaliação da atividade vocal noturna usando gravadores automatizados para obter informações sobre a estimativa de a abundância de uma população já foi aplicada a muitas espécies de Procelariiformes (Campos et al., 2019). Para analisar as taxas de vocalizações é preciso ter em conta algumas variáveis ambientais, como a luminosidade da lua ou de poluição lumínica noturna (Gaston et al., 2015). A atividade vocal em aves marinhas noturnas é reduzida durante as noites com luar mais intenso e durante o início da fase reprodutora (Bretagnolle et al., 2000; Brooke, 2004). Neste trabalho podemos constatar que a fase da lua teve influência na taxa de vocalizações de pedreirinho, as quais foram significativamente mais elevadas na ausência de lua em relação às outras fases da lua. Para além da fase lua, a poluição luminosa noturna também pode influenciar na taxa média de vocalizações (Keitt et al., 2004). No Ilhéu Raso, onde não existe iluminação artificial, houve uma maior taxa de vocalização comparativamente à ilha habitada de Santo Antão, mesmo na ausência de lua. Normalmente, as aves marinhas evitam voltar às suas colónias quando há muita luz para evitar possíveis predadores, reduzindo assim as suas vocalizações (April Hedd & Montevecchi, 2006).

Nos meses de Junho e Julho, os números de vocalizações registados foram comparativamente maiores, sendo provavelmente indicativo do início da fase reprodutora (fase de incubação) da espécie. Durante a fase de incubação as vocalizações são mais intensas, mas a partir da segunda semana do mês de julho, as crias começam a nascer e os adultos diminuem as suas vocalizações. Segundo Bolton (2001) a taxa de vocalização do páinho de Monteiro diminui com o avanço da fase reprodutora dos indivíduos. Verificou-se ainda que no mês de Maio houve uma alta taxa de vocalização, que é quando os adultos começam a vocalizar para encontrar os seus parceiros (Harris, 1969).

Os nossos resultados suportam a hipótese de que a espécie tem apenas uma população reprodutora (Verão) um pouco mais alargada, mas ainda assim próxima da fenologia da população de páinho de Monteiro, que se reproduz no Ilhéu da Praia, Ilha Graciosa, Açores ( Monteiro & Furness, 1998; Bolton et al., 2008). O facto do período reprodutor ser mais alargado no Pedreirinho, quando comparado com o do páinho de Monteiro, pode igualmente estar associado ao ambiente tropical de Cabo Verde, onde a

sazonalidade nos padrões de disponibilidade de recursos é comparativamente menos marcada.

## 5.2. Ecologia alimentar

Relativamente à dieta do pedreirinho, a família Sternoptychidae (mesopelágica) mostrou-se bastante relevante, seguido de Exocoetidae (epipelágica) e Myctophidae (mesopelágica). As espécies de *Exocoetus volitans* e *Argyropelecus sladeni* surgem como as espécies de peixes mais importantes na sua dieta. Alguns estudos apontam que a dieta dos painhos é baseada principalmente em peixes pelágicos e cefalópodes (Hedd et al., 2009; Paiva et al., 2018), à semelhança de espécies de pequeno porte como o pintaíno *Puffinus baroli* nas ilhas de Porto Santo e Selvagem Grande (Ramos et al., 2015). No entanto, os nossos resultados mostram uma dieta essencialmente baseada em peixe, sendo algumas das famílias reportadas pela primeira vez na dieta de painhos (*Hydrobates* sp.).

A presença de Myctophidae na dieta de pedreirinho está em linha com o reportado para outras espécies de painhos (Monteiro et al., 1996<sup>a</sup>; Monteiro & Furness, 1998), como a população de painho da Madeira a reproduzir na Ilha Berlenga (Carreiro et al., 2020). A presença de presas mesopelágicas (Myctophidae e Sternoptychidae) na dieta indica que a espécie pode pescar de forma oportunista à noite, visto que estas presas habitam em regiões profundas do oceano durante o dia, mas fazem migrações verticais até à superfície à noite, em especial os primeiros estadios de desenvolvimento destas presas (Monteiro & Furness, 1998; Catul et al., 2011).

Os indivíduos mostraram ter uma boa condição corporal no início da época reprodutora (Junho), a qual decresceu até atingir o valor mais baixo numa fase mais avançada do período reprodutor (Julho). Por outro lado, a melhor condição corporal foi atingida em Janeiro, ou seja, durante o período não reprodutor, i.e. quando os adultos já estão livres das obrigações parentais e procuram alimento só para eles próprios (Fairhurst et al., 2017; Gatt et al., 2021). Isto poderá dever-se ao facto de que durante a fase de incubação e na fase não reprodutora, os indivíduos fazem viagens mais longas em busca de alimento e podem explorar áreas mais produtivas, mas durante a fase de nascimento e desenvolvimento das crias, os adultos têm que alimentá-las mais frequentemente,

realizando viagens mais curtas e em locais mais próximos da colónia (Cerveira et al., 2020; Paiva et al., 2015; Tyson et al., 2017).

### 5.3. Ecologia isotópica

Existiu uma variação sazonal na ecologia trófica (valores médios de  $\delta^{15}\text{N}$  e  $\delta^{13}\text{C}$ ) do pedreirinho. Os resultados evidenciaram que a espécie se alimenta em níveis tróficos distintos, durante o período não reprodutor e reprodutor. No período não reprodutor (mês de Janeiro) a espécie alimentou-se em níveis tróficos mais elevados (valores de  $\delta^{15}\text{N}$  mais altos). Este resultado poderá ser indicativo de uma dieta mais diversificada, dado que nessa fase os adultos já estão livres das tarefas parentais e da necessidade de procurar alimento nos arredores da colónia de reprodução, como sucede com o páinho de Monteiro (Ramos et al., 2018), a cagarra (Ramos et al., 2020) ou a cagarra de Cabo Verde *Calonectris edwardsii* (Ramos et al., 2018). No período reprodutor (Junho, Agosto e Outubro), a espécie prefere alimentar-se de presas de níveis tróficos mais baixos, com menores valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , o que poderá ser explicado, pela seleção de presas mais pequenas para as crias, numa área de procura mais restrita em torno da colónia durante a época reprodutora (Brisson-Curadeau & Elliott, 2019).

Durante o período reprodutor, o sangue dos pedreirinhos apresentou valores mais enriquecidos no isótopo de carbono (valores de  $\delta^{13}\text{C}$  mais elevados), quando comparado com o período não reprodutor. Esta diferença poderá ser explicada por uma alimentação em ambientes mais costeiros durante a reprodução e exploração de ambientes mais pelágicos durante o período não reprodutor, como sucede no páinho de Monteiro (Paiva et al., 2018) ou o pintainho *Puffinus baroli* (Paiva et al., 2016). De acordo com estudos prévios, as fontes alimentares costeiras são enriquecidas em  $\delta^{13}\text{C}$ , em relação às fontes alimentares pelágicas (Bond & Jones, 2009; Forero & Hobson, 2003). Em ambientes oceânicos, onde os recursos são escassos, os procellariiformes procuram alimento em zonas onde a produtividade é mais elevada, zonas associadas a áreas de afloramento costeiro, por exemplo na Corrente das Canárias e costa de África Ocidental (Paiva et al., 2010), onde a *isoscape* na base da cadeia trófica tem valores mais baixos do isótopo de carbono (West et al., 2010), que depois se refletem nos níveis tróficos seguintes até ao sangue das aves marinhas, como a alma-negra *Bulweria bulwerii* (Cruz-Flores et al., 2018)

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste trabalho mostraram que para os páinhos (*Hydrobates* spp.), o método de recolha de informações bioacústicas através de gravadores automatizados (ARUs) pode ser relevante para a monitorização de ocorrência e abundância relativa das suas populações. Os ARUs podem ser facilmente colocados em sites remotos e inacessíveis e programados para gravar a atividade vocal durante um determinado período de tempo. Este método de monitorização de avifauna é particularmente relevante no mapeamento da ocorrência de espécies procellariiformes de pequeno porte, que regressam às suas colónias somente à noite e colocam os seus ovos em cavidades, muitas vezes em falésias escarpadas e altas, com um acesso para deteção da sua presença praticamente impossível.

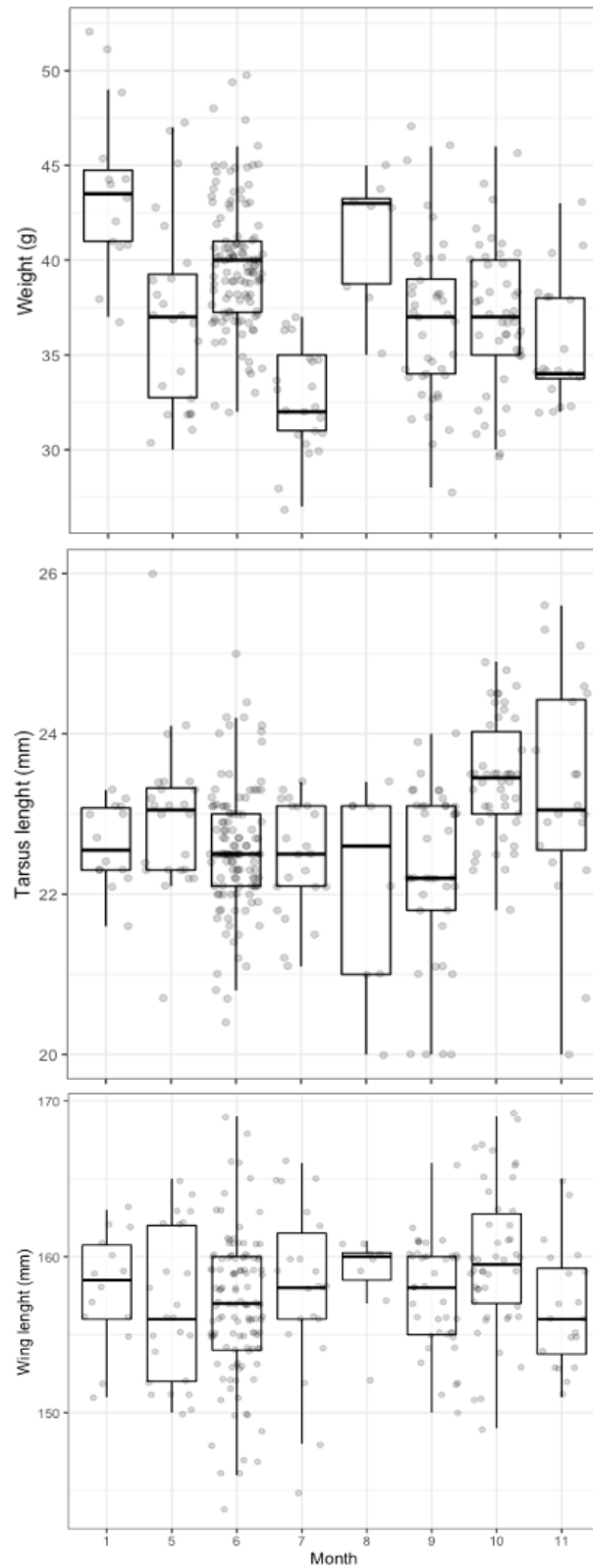
No futuro recomenda-se replicar o estudo, usando mais ARUs e em diferentes habitats, nesse caso em ilhas diferentes com densidades variadas, para comparar e compreender melhor a distribuição, fenologia e abundância relativa da população de pedreirinhos em determinado momento do ano. O uso de ARUs para monitorizar as aves pode permitir o estudo das populações sem as perturbar. O uso deste método de monitorização pode ter um grande benefício para conservação, ou seja, pode fornecer a oportunidade de deteção de ameaças que podem estar presentes na colónia e deste modo implementar de forma eficaz, planos de monitorização de espécies.

A partir da análise isotópica da ecologia trófica do pedreirinho, foi possível concluir que a espécie apresenta uma sazonalidade acentuada na sua ecologia isotópica, alterando o nível trófico em que se alimenta e as suas fontes de alimento/ locais de alimentação entre o período reprodutor e o não reprodutor. A diversidade de presas na dieta da população de pedreirinho do Ilhéu Raso, apesar da sua preferência por determinadas famílias de presas, poderá ser interpretada como alguma plasticidade alimentar da população em caso de haver diminuições abruptas na abundância/ disponibilidade das suas presas preferenciais. De futuro, recomendamos que se estude a distribuição dos indivíduos adultos no mar, utilizando tecnologias de seguimento individual (*GPS-loggers*), para poder melhor interpretar a seleção de habitats de procura de alimento e o reflexo dessas escolhas na ecologia alimentar e trófica da espécie. A análise destes

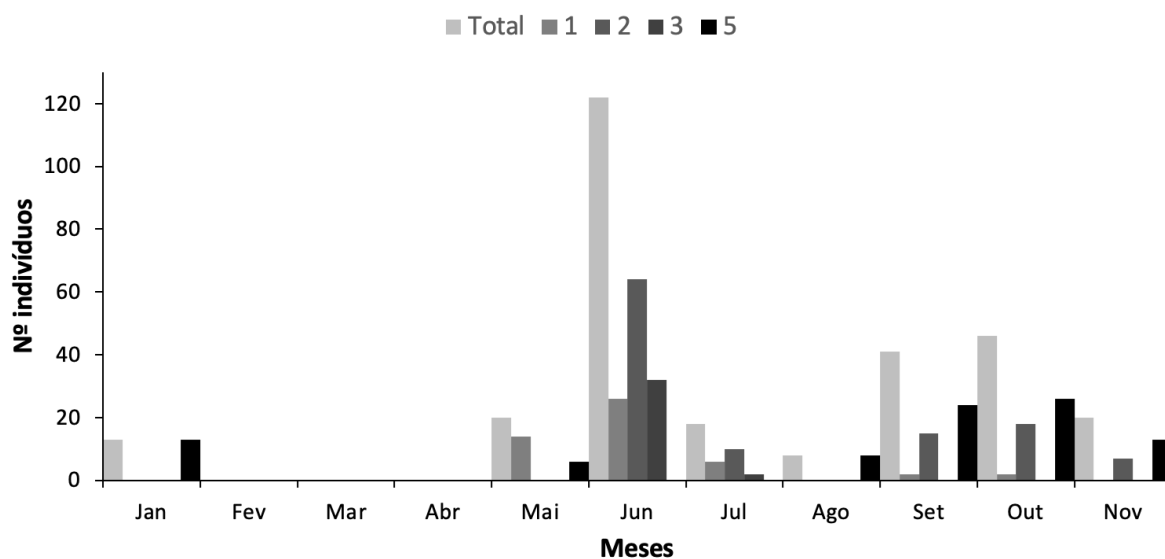
diferentes dados ecológicos, permitirão a implementação de medidas efetivas para a conservação da espécie.



## 7. ANEXOS



**Anexo 1.** Peso, tamanhos de tarso e asa (mediana, quartis 25-75%, variação excluindo *outliers* e *outliers*) de Pedreirinhos (*Hydrobates jabejabe*) capturados em redes verticais entre Janeiro e Novembro de 2019.



**Anexo 2.** Quantidade de indivíduos e despectivos códigos de placa incubatória ao longo dos meses de amostragem em 2019. Não houve amostragem com redes de neblina em Dezembro e entre Fevereiro e Abril. Placa de incubação (código 1) a começar a aparecer (início da reprodução); (2) bem definida. Músculo do peito e estômago bem visíveis através da pele (época de postura); (3) Vermelho e com veias salientes. A pele do ventre opaca e grossa (época de incubação/ eclosão); (5) com penas a cobrir o ventre (período pós-reprodução).

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrett, R. T., Camphuysen, K., Anker-Nilssen, T., Chardine, J. W., Furness, R. W., Garthe, S., Leopold, M. F., Montevecchi, W. A., Huppopp, O., & Veit, R. R. (2007). Diet studies of seabirds: a review and recommendations. *ICES Journal of Marine Science*, 64(9), 1675–1691. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsm152>
- Bolton, M. (2007). Playback experiments indicate absence of vocal recognition among temporally and geographically separated populations of Madeiran Storm-petrels *Oceanodroma castro*. *Ibis*, 149(2), 255–263. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2006.00624.x>
- Bolton, M., Medeiros, R., Furness, R. W., Bried, J., Gómez-Díaz, E., Roscales, J. L., Friesen, V. L., & Smith, A. L. (2008). Monteiro's Storm-petrel *Oceanodroma monteiroi*: a new species from the Azores. *Ibis*, 150(4), 717–727. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919x.2008.00854.x>
- Bond, A. L., & Jones, I. L. (2009). A practical introduction to stable-isotope analysis for seabird biologists: Approaches, cautions and caveats. *Marine Ornithology*, 37(3), 183–188.
- Bretagnolle, V., Attie, C., & Mougeot, F. (2000). *Audubon's Shearwaters*. 399–412.
- Brisson-Curadeau, É., & Elliott, K. H. (2019). Prey capture and selection throughout the breeding season in a deep-diving generalist seabird, the thick-billed murre. *Journal of Avian Biology*, 50(7). <https://doi.org/10.1111/jav.01930>
- Brooke, M. D. L. (2004). The food consumption of the world's seabirds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 271(SUPPL. 4), 246–248. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2003.0153>
- Campos, I. B., Landers, T. J., Lee, K. D., Lee, W. G., Friesen, M. R., Gaskett, A. C., & Ranjard, L. (2019). Assemblage of Focal Species Recognizers - AFSR: A technique for decreasing false positive rates of acoustic automatic identification in a multiple species context. *BioRxiv*, 1–14. <https://doi.org/10.1101/546812>
- Carreiro, A. R., Paiva, V. H., Medeiros, R., Franklin, K. A., Oliveira, N., Fagundes, A. I., & Ramos, J. A. (2020). Metabarcoding, stable isotopes, and tracking: unraveling the trophic ecology of a winter-breeding storm petrel (*Hydrobates castro*) with a multimethod approach. *Marine Biology*, 167(2), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s00227-019-3626-x>

- Catry, P., Lecoq, M., & Strange, I. J. (2008). Population growth and density, diet and breeding success of striated caracaras *Phalacrocorax australis* on New Island, Falkland Islands. *Polar Biology*, *31*(10), 1167–1174. <https://doi.org/10.1007/s00300-008-0454-8>
- Catry, T., Ramos, J. A., Le Corre, M., Kojadinovic, J., & Bustamante, P. (2008). The role of stable isotopes and mercury concentrations to describe seabird foraging ecology in tropical environments. *Marine Biology*, *155*(6), 637–647. <https://doi.org/10.1007/s00227-008-1060-6>
- Catul, V., Gauns, M., & Karuppasamy, P. K. (2011). A review on mesopelagic fishes belonging to family Myctophidae. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, *21*(3), 339–354. <https://doi.org/10.1007/s11160-010-9176-4>
- Corveira, L. R., Ramos, J. A., Rodrigues, I., Almeida, N., Araújo, P. M., Santos, I. dos, Vieira, C., Pereira, J. M., Ceia, F. R., Geraldes, P., Melo, T., & Paiva, V. H. (2020). Inter-annual changes in oceanic conditions drives spatial and trophic consistency of a tropical marine predator. *Marine Environmental Research*, *162*(September), 105165. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105165>
- Croxall, J. P., Butchart, S. H. M., Lascelles, B. E. N., Stattersfield, A. J., Sullivan, B., Symes, A., & Taylor, P. (2012). Seabird conservation status and threats: A global assessment of priorities. *Bird Conservation International*, *22*, 1–34.
- Cruz-Flores, M., Militão, T., Ramos, R., & González-Solís, J. (2018). Isotopic tools to assess migratory strategies in oceanic top predators: the case of Bulwer's petrel (*Bulweria bulwerii*). *PLoS ONE*, *13*(6), e0198667.
- Diamond, A. W., & Devlin, C. M. (2003). Seabirds as indicators of changes in marine ecosystems: Ecological monitoring on machias seal island. *Environmental Monitoring and Assessment*, *88*(1–3), 153–181. <https://doi.org/10.1023/A:1025560805788>
- Dias, M. P., Martin, R., Pearmain, E. J., Burfield, I. J., Small, C., Phillips, R. A., Yates, O., Lascelles, B., Borboroglu, P. G., & Croxall, J. P. (2019). Threats to seabirds: A global assessment. *Biological Conservation*, *237*(June), 525–537. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.06.033>
- Fairhurst, G. D., Champoux, L., Hobson, K. A., Rail, J. F., Verreault, J., Guillemette, M., Montevecchi, W. A., Brousseau, P., & Soos, C. (2017). Feather corticosterone during non-breeding correlates with multiple measures of physiology during subsequent breeding in a migratory seabird. *Comparative Biochemistry and*

- Physiology -Part A: Molecular and Integrative Physiology*, 208, 1–13.  
<https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2017.02.024>
- Forero, M. G., & Hobson, K. A. (2003). Using stable isotopes of nitrogen and carbon to study seabird ecology: Applications in the Mediterranean seabird community. *Scientia Marina*, 67(SUPPLEMENT 2), 23–32.  
<https://doi.org/10.3989/scimar.2003.67s223>
- Furness, R. W., & Camphuysen, K. (1997). Seabirds as monitors of the marine environment. *ICES Journal of Marine Science*, 54(4), 726–737.  
<https://doi.org/10.1006/jmsc.1997.0243>
- Gaston, K. J., Gaston, K. J., Visser, M. E., Ho, F., & Gaston, K. J. (2015). *The biological impacts of artificial light at night : The research challenge The biological impacts of artificial light at night : the research challenge Author for correspondence : May*.
- Gatt, M. C., Versteegh, M., Bauch, C., Tieleman, B. I., Granadeiro, J. P., & Catry, P. (2021). Costs of reproduction and migration are paid in later return to the colony, not in physical condition, in a long-lived seabird. *Oecologia*, 195(2), 287–297.  
<https://doi.org/10.1007/s00442-020-04775-w>
- Gineste, B., Souquet, M., Couzi, F. X., Giloux, Y., Philippe, J. S., Hoarau, C., Tourmetz, J., Potin, G., & Le Corre, M. (2017). Tropical Shearwater population stability at Reunion Island, despite light pollution. *Journal of Ornithology*, 158(2), 385–394.  
<https://doi.org/10.1007/s10336-016-1396-5>
- Harris, M. P. (1969). The biology of storm petrels in the Galápagos Islands. *Proceedings of the California Academy of Sciences, Fourth Series*, 37(4), 95–166.
- Hazevoet, C. J. (1995). The Birds of the Cape Verde Islands. In *British Ornithologists' Union.: Vol. B.O.U. Che.*
- Hedd, A., Montevecchi, W. A., Davoren, G. K., & Fifield, D. A. (2009). Diets and distributions of Leach's storm-petrel (*Oceanodroma leucorhoa*) before and after an ecosystem shift in the Northwest Atlantic. *Canadian Journal of Zoology*, 87(9), 787–801. <https://doi.org/10.1139/z09-060>
- Hedd, A., & Montevecchi, W. A. (2006). Diet and trophic position of Leach's storm-petrel *Oceanodroma leucorhoa* during breeding and moult, inferred from stable isotope analysis of feathers. *Marine Ecology Progress Series*.  
<https://doi.org/10.3354/meps322291>
- Keitt, B. S., Tershy, B. R., & Croll, D. A. (2004). Nocturnal behavior reduces predation pressure on Black-vented Shearwaters *Puffinus opisthomelas*. *Marine Ornithology*,

32(2), 173–178.

- Longcore, T., & Rich, C. (2004). Ecological light pollution. In *Frontiers in Ecology and the Environment* (Vol. 2, Issue 4, pp. 191–198). [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0191:ELP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0191:ELP]2.0.CO;2)
- Matias, R., & Catry, P. (2010). The diet of Atlantic Yellow-legged Gulls (*Larus michahellis atlantis*) at an oceanic seabird colony: Estimating predatory impact upon breeding petrels. *European Journal of Wildlife Research*, 56(6), 861–869. <https://doi.org/10.1007/s10344-010-0384-y>
- McInnes, J. C., Bird, J. P., Deagle, B. E., Polanowski, A. M., & Shaw, J. D. (2021). Using DNA metabarcoding to detect burrowing seabirds in a remote landscape. *Conservation Science and Practice*, 3(7), 6–11. <https://doi.org/10.1111/csp2.439>
- Monteiro, L. R., & Furness, R. W. (1998). Speciation through temporal segregation of Madeiran storm petrel (*Oceanodroma castro*) populations in the Azores? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 353(1371), 945–953. <https://doi.org/10.1098/rstb.1998.0259>
- Niemi, G. J., & McDonald, M. E. (2004). Application of ecological indicators. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35(Rapport 1992), 89–111. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.112202.130132>
- Oliveira, N., Oliveira, J., Melo, T., Melo, J., & Geraldès, P. L. (2013). Possible breeding of Cape Verde Storm-petrel *Oceanodroma jabejabe* (Bocage, 1875) on Santa Luzia, Cape Verde Islands. *Zoologia Caboverdiana*, 4(1), 17–20.
- Paiva, V. H., Ramos, J. A., Nava, C., Neves, V., Bried, J., & Magalhães, M. (2018). Intersexual habitat and isotopic niche segregation of the endangered Monteiro's storm-petrel during breeding. *Zoology*, 126, 29–35. <https://doi.org/10.1016/j.zool.2017.12.006>
- Paiva, V. H., Fagundes, A. I., Romão, V., Gouveia, C., & Ramos, J. A. (2016). Population-scale foraging segregation in an apex predator of the north Atlantic. *PLoS ONE*, 11(3), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151340>
- Paiva, V. H., Geraldès, P., Rodrigues, I., Melo, T., Melo, J., & Ramos, J. A. (2015). The foraging ecology of the endangered Cape Verde shearwater, a sentinel species for marine conservation off West Africa. *PLoS ONE*, 10(10), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139390>
- Paiva, V. H., Guilford, T., Meade, J., Geraldès, P., Ramos, J. A., & Garthe, S. (2010). Flight dynamics of Cory's shearwater foraging in a coastal environment. *Zoology*,

- 113(1), 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.zool.2009.05.003>
- Pastor, O., Correia, M. A., Delgado, C., & Monteiro, R. (2012). *Proposta de Reclassificação e Delimitação da AMP de Santa Luzia, Ilhéus Branco e Raso*.
- Pollet, I. L., Hedd, A., Taylor, P. D., Montevecchi, W. A., & Shutler, D. (2014). *Migratory movements and wintering areas of Leach ' s Storm-Petrels tracked using geolocators*. 85(3), 321–328. <https://doi.org/10.1111/jofo.12071>
- Ramos, J. A., Isabel Fagundes, A., Xavier, J. C., Fidalgo, V., Ceia, F. R., Medeiros, R., & Paiva, V. H. (2015). A switch in the Atlantic Oscillation correlates with inter-annual changes in foraging location and food habits of Macaronesian shearwaters (*Puffinus baroli*) nesting on two islands of the sub-tropical Atlantic Ocean. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 104, 60–71. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2015.07.001>
- Ramos, J. A., Maul, A. M., Ayrton, V., Bullock, I., Hunter, J., Bowler, J., Castle, G., Mileto, R., & Pacheco, C. (2002). Influence of local and large-scale weather events and timing of breeding on tropical roseate tern reproductive parameters. *Marine Ecology Progress Series*, 243, 271–279. <https://doi.org/10.3354/meps243271>
- Ramos, J. A., Rodrigues, I., Melo, T., Geraldés, P., & Paiva, V. H. (2018). Variation in ocean conditions affects chick growth, trophic ecology, and foraging range in Cape Verde Shearwater. *The Condor*, 120(2), 283–290. <https://doi.org/10.1650/condor-17-220.1>
- Ramos, R., Reyes-González, J. M., Morera-Pujol, V., Zajková, Z., Militão, T., & González-Solís, J. (2020). Disentangling environmental from individual factors in isotopic ecology: A 17-year longitudinal study in a long-lived seabird exploiting the Canary Current. *Ecological Indicators*, 111(November 2019), 105963. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105963>
- Rodríguez, A., & Rodríguez, B. (2009). Attraction of petrels to artificial lights in the Canary Islands: effects of the moon phase and age class. *Ibis*, 151(2), 299–310. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2009.00925.x>
- Rodríguez, A., García, D., Rodríguez, B., Cardona, E., Parpal, L., & Pons, P. (2015). Artificial lights and seabirds: Is light pollution a threat for the threatened Balearic petrels? *Journal of Ornithology*, 156(4), 893–902. <https://doi.org/10.1007/s10336-015-1232-3>
- Rodríguez, A., Holmes, N. D., Ryan, P. G., Wilson, K. J., Faulquier, L., Murillo, Y., Raine, A. F., Penniman, J. F., Neves, V., Rodríguez, B., Negro, J. J., Chiaradia, A.,

- Dann, P., Anderson, T., Metzger, B., Shirai, M., Deppe, L., Wheeler, J., Hodum, P., ... Corre, M. Le. (2017). Seabird mortality induced by land-based artificial lights. *Conservation Biology*, 31(5), 986–1001. <https://doi.org/10.1111/cobi.12900>
- Rodríguez, A., Rodríguez, B., & Negro, J. J. (2015). GPS tracking for mapping seabird mortality induced by light pollution. *Scientific Reports*, 5, 1–11. <https://doi.org/10.1038/srep10670>
- Semedo, G., Paiva, V. H., Militão, T., Rodrigues, I., Dinis, H. A., Pereira, J., Matos, D., Ceia, F. R., Almeida, N. M., Gerales, P., Saldanha, S., Barbosa, N., Hernández-Montero, M., Fernandes, C., González-Sólis, J., & Ramos, J. A. (2020). Distribution, abundance, and on-land threats to Cabo Verde seabirds. *Bird Conservation International*, 1–24. <https://doi.org/10.1017/s0959270920000428>
- SEPA. (2004). *Livro Branco sobre o Estado do Ambiente em Cape Verde*. Ed. Secretariado Executivo para o Ambiente (SEPA), Ministério do Ambiente, Agricultura e Pescas. Direção Geral do Ambiente. República de Cape Verde.
- Symondson, W. O. C. (2002). Molecular identification of prey in predator diets. *Molecular Ecology*, 11(4), 627–641. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294X.2002.01471.x>
- Tyson, C., Kirk, H., Fayet, A., Van Loon, E. E., Shoji, A., Dean, B., Perrins, C., Freeman, R., & Guilford, T. (2017). Coordinated provisioning in a dual-foraging pelagic seabird. *Animal Behaviour*, 132, 73–79. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2017.07.022>
- Vasconcelos, R., Freitas, R., & Hazevoet, C. (2015). *História Natural das Ilhas Desertas*. December.
- Wallace, S. J., Morris-Pocock, J. A., González-Solís, J., Quillfeldt, P., & Friesen, V. L. (2017). A phylogenetic test of sympatric speciation in the Hydrobatinae (Aves: Procellariiformes). *Molecular Phylogenetics and Evolution*. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2016.09.025>
- Weimerskirch, H. (2007). Are seabirds foraging for unpredictable resources? *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 54(3–4), 211–223. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2006.11.013>
- Weiser, E. L., & Powell, A. N. (2011). Evaluating gull diets: A comparison of conventional methods and stable isotope analysis. *Journal of Field Ornithology*, 82(3), 297–310. <https://doi.org/10.1111/j.1557-9263.2011.00333.x>
- West, J. B., Bowen, G. J., Dawson, T. E., & Tu, K. P. (2010). Isoscapes: Understanding



movement, pattern, and process on earth through isotope mapping. *Isoscapes: Understanding Movement, Pattern, and Process on Earth Through Isotope Mapping*, 1–487. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3354-3>

Young, M. J., Dutoit, L., Robertson, F., Van Heezik, Y., Seddon, P. J., & Robertson, B. C. (2020). Species in the faeces: DNA metabarcoding as a method to determine the diet of the endangered yellow-eyed penguin. *Wildlife Research*, *47*(6), 509–522. <https://doi.org/10.1071/WR19246>