

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL – UERGS
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, ÊNFASE EM BIOLOGIA
MARINHA E COSTEIRA**

MILLENA BARRETO HOFFMANN

**IMPACTO DE ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS NOS SERVIÇOS
ECOSSISTÊMICOS DE FERNANDO DE NORONHA**

**IMBÉ
2022**

MILLENA BARRETO HOFFMANN

**IMPACTO DE ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS NOS SERVIÇOS
ECOSSISTÊMICOS DE FERNANDO DE NORONHA**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas, ênfase em Biologia Marinha e Costeira na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, convênio com Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientadores:

Dr. Guilherme Tavares Nunes

Dra. Carla Isobel Elliff

IMBÉ

2022

Catálogo de Publicação na Fonte

H711i Hoffmann, Millena Barreto.

Impacto de espécies exóticas invasoras nos serviços ecossistêmicos de Fernando de Noronha. / Millena Barreto Hoffmann. – Imbé, 2022.

54 f.

Orientador: Dr. Guilherme Tavares Nunes.

Co-orientadora: Dra. Carla Isobel Elliff.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas: ênfase em Biologia Marinha e Costeira, Unidade Litoral Norte - Osório, 2022.

1. Áreas protegidas. 2. Conservação. 3. Ecossistemas insulares. 4. INSEAT. 5. InVEST. I. Nunes, Guilherme Tavares. II. Elliff, Carla Isobel. III. Título.

MILLENA BARRETO HOFFMANN

**IMPACTO DE ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS NOS SERVIÇOS
ECOSSISTÊMICOS DE FERNANDO DE NORONHA**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas com ênfase em Biologia Marinha e Costeira na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em convênio com a Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientadores:

Dr. Guilherme Tavares Nunes

Dra. Carla Isobel Elliff

Aprovada em: 06/10/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gerson Fernandino de Andrade Neto
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Me. Thayná Jeremias Mello
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

Prof^a. Dr^a. Ester Wolff Loitzenbauer
Coordenadora da atividade
Trabalho de conclusão II – CBM

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus padrinhos Silvia Hoffmann e Osmar Silva pois, sem eles, eu não teria tido a possibilidade de permanecer na Universidade e realizar esse sonho.

Segundo, aos meus orientadores, Guilherme Tavares Nunes por abraçar a BioMar e oportunizar tantos aprendizados e experiências, em especial a mim, parceria além da academia e à Carla Isobel Elliff, não somente uma profissional incrível, mas também uma mulher inspiradora, que me deu suporte e conselhos sempre que possível, além de toda paciência prestada!

Agradeço o apoio da minha família e dos meus amigos, pois ao longo desse percurso aprendi como as raízes são importantes para enfrentarmos os desafios da vida.

Agradeço a Natália Torquato e Sara Fumagalli, que estavam presentes nos bons e maus momentos, pela parceria ao longo dos anos que moramos juntas, no companheirismo no trabalho e nas noites de estudo!

Agradeço fortemente as fedidas do Setor de Coleções Janaína Carrion Wickert, Eduarda Barrionuevo, Paula Moreira, Maitê Zanella, Manuela Távora e Sara Fumagalli que, por muitos anos, foram minhas inspirações, motivações e parceiras de monitoramentos e necropsias!

Agradeço à Biologia Marinha, tanto aos professores, quanto aos técnicos, servidores, terceirizados, e aos meus colegas de aula, por todos os momentos compartilhados, sejam através das saídas de campo ou os simples cafés da Tânia na lagoa.

Agradeço ao ensino público e de qualidade, vida longa às Universidades!

E por fim, e mais importante, agradeço à minha mãe Elisabete Tortorella Barreto, minha irmã Manuela Barreto Hoffmann e minha irmã de coração Luísa Lima, pois ao longo desse percurso foram a base para que eu pudesse chegar nesse momento, amo vocês!

RESUMO

As espécies exóticas invasoras (EEI) representam um problema global à conservação da biodiversidade, e uma crescente preocupação envolvendo as EEI diz respeito aos seus impactos sobre os serviços ecossistêmicos. Porém, pouco se sabe sobre seus efeitos nos serviços ecossistêmicos em ambientes insulares, os quais são de particular relevância e preocupação devido à fragilidade dos ecossistemas e à limitação de recursos para os organismos, incluindo o ser humano. Assim, o presente estudo teve como objetivo investigar o efeito de EEI sobre os serviços ecossistêmicos do arquipélago de Fernando de Noronha. A metodologia foi aplicada para quatro EEI: rato-preto (*Rattus rattus*), gato-doméstico (*Felis catus*), teiú (*Salvator merianae*), e linhaça (*Leucaena leucocephala*). Para isso, foi elaborada uma matriz de serviços ecossistêmicos considerando como unidades de gestão, as subdivisões presentes nos zoneamentos das Unidades de Conservação de Fernando de Noronha. Adicionalmente, foram utilizadas duas abordagens quantitativas, sendo uma para avaliar os efeitos positivos e negativos das EEI nos serviços ecossistêmicos, a partir de questionários aplicados a especialistas, e outra para estimar o risco de impacto das EEI. Ao todo, foram identificados 21 serviços ecossistêmicos fornecidos em Fernando de Noronha, 41 benefícios, e 10 grupos de atores sociais beneficiados. Em geral, todas as EEI apresentam riscos para os serviços ecossistêmicos de Fernando de Noronha, especialmente *F. catus* e *R. rattus*. De acordo com o índice de impacto, *R. rattus* causou efeitos negativos sobre 11 serviços, *F. catus* sobre seis, *S. merianae* sobre um, e *L. leucocephala* sobre um. Os efeitos negativos foram mais pronunciados sobre os serviços ecossistêmicos de provisão e culturais. Por outro lado, foi indicado efeito positivo da linhaça sobre serviços ecossistêmicos de regulação, embora com baixo índice de impacto. Com exceção da Área Urbana, todas as unidades de gestão demonstraram alto risco de estarem impactadas pelas EEI, principalmente a Área Primitiva. Os principais atores sociais impactados pelas EEI foram a comunidade local, a população flutuante, e a Administração. Por fim, o presente trabalho representa um conjunto de orientações à gestão com base ecossistêmica para mitigar o impacto de EEI, visando a manutenção e melhoria dos serviços ecossistêmicos em Fernando de Noronha.

Palavras-chave: Áreas protegidas; Conservação; Ecossistemas insulares; INSEAT; InVEST.

ABSTRACT

Invasive alien species (IAS) represent a global problem for the conservation of biodiversity, and a growing concern involving IAS is related to their impacts on ecosystem services. However, their effects on ecosystem services in insular ecosystems are poorly known, which are of particular relevance and concern due to the fragility and resource limitation in these areas for several organisms, including humans. Thus, the present study aimed to investigate the effect of IAS on ecosystem services in the archipelago of Fernando de Noronha, Brazil. The approach was applied to four IAS: black rat (*Rattus rattus*), domestic cat (*Felis catus*), tegu lizard (*Salvator merianae*), and river tamarind (*Leucaena leucocephala*). For this, an ecosystem service worksheet was prepared considering as management units the subdivisions present in the zoning of the protected areas of Fernando de Noronha. Additionally, two quantitative approaches were used, one to assess the positive and negative effects of IAS on ecosystem services, based on a questionnaire applied to experts, and the other to estimate the impact risk of IAS. In total, 21 ecosystem services, 41 benefits, and 10 groups of social actors benefited were identified in Fernando de Noronha. In general, all IAS presented risks to the ecosystem services of Fernando de Noronha, especially *F. catus* and *R. rattus*. According to the impact index, *R. rattus* caused negative effects on 11 services, *F. catus* on six, *S. merianae* on one, and *L. leucocephala* on one. The negative effects were more pronounced on the provisioning and cultural ecosystem service groups. On the other hand, a positive effect of the river tamarind on regulating ecosystem services was indicated, although with a low impact index. Except for the Urban Area, all management units showed a high risk of being impacted by IAS, especially the Primitive Area. The main social actors impacted by the IAS were the local community, the floating population, and the Administration. Finally, the present study combines different quantitative techniques and represents a set of guidelines for ecosystem-based management to mitigate the impact of IAS, aiming at the maintenance and improvement of ecosystem services in Fernando de Noronha.

Keywords: Conservation; INSEAT; InVEST; Island ecosystems; Protected areas.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 OBJETIVOS	11
1.1.1 Objetivo Geral	11
1.1.2 Objetivos Específicos	11
2 MATERIAL E MÉTODOS	12
2.1 ÁREA DE ESTUDO	13
2.2 OBTENÇÃO E ANÁLISE DE DADOS	15
2.2.1 Levantamento de serviços ecossistêmicos	15
2.2.2 Espécies exóticas invasoras	16
2.2.3 Avaliação de efeitos de EEI sobre os serviços ecossistêmicos	18
2.2.4 Mapeamento do risco de perda de serviços ecossistêmicos	21
3 RESULTADOS	23
3.1 LEVANTAMENTO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS	23
3.2 AVALIAÇÃO DE EFEITOS DE EEI SOBRE OS SERVIÇOS	30
3.3 RISCO DE PERDA DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS	36
4 DISCUSSÃO	40
5 CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	46
APÊNDICE A	51
APÊNDICE B	52
ANEXO	53

1 INTRODUÇÃO

As espécies exóticas invasoras (EEI) representam um problema mundial, pois são consideradas uma ameaça sanitária, ecológica e econômica (SIMBERLOFF, 2000; WITTENBERG e COCK, 2001; BRADSHAW *et al.*, 2021), bem como uma das principais causas de extinção de espécies nativas (CLAVERO e GARCIA-BERTHOU, 2020). Uma crescente preocupação envolvendo as EEI diz respeito aos seus impactos sobre serviços ecossistêmicos (BRONDÍZIO *et al.*, 2019; JOLY *et al.*, 2019). Os serviços ecossistêmicos são os processos, funções ou características ecológicas fornecidas pelos ecossistemas que sustentam e satisfazem a vida humana, seja diretamente ou indiretamente (REID *et al.*, 2005; COSTANZA *et al.*, 2017). Por exemplo, os serviços de provisão são aqueles produtos fornecidos pelos ecossistemas (*i.e.* recursos alimentares, hídricos, materiais), os serviços de regulação são os benefícios obtidos através processos de regulação de condições ambientais naturais (*i.e.* inundações, erosão e doenças e pragas), os serviços culturais são aqueles com benefícios não materiais (*i.e.* recreativos, turísticos e espirituais), e os serviços de suporte são responsáveis para que os outros existam (*i.e.* biodiversidade de espécies, habitats e ciclos de nutrientes e oxigênio). Embora as consequências de EEI seja um tema amplamente explorado na literatura científica (RUSSELL e HOLMES, 2015; JONES *et al.*, 2016; COURCHAMP *et al.*, 2017), pouco se sabe sobre seus efeitos nos serviços ecossistêmicos em outros ambientes insulares.

O comportamento de EEI em ambientes insulares apresenta diferenças quando comparado aos ambientes continentais. Em ilhas, as espécies nativas são mais vulneráveis às exóticas por conta do maior grau de endemismo, isolamento entre ilhas e, conseqüentemente, exposição aos invasores (RUSSELL *et al.*, 2017). Quando espécies exóticas atingem esses ambientes, seja por influência humana ou não, as espécies residentes, em geral, não apresentam os mecanismos de defesa necessários para sua persistência (BOWEN e VAN VUREN, 1997). Por outro lado, ambientes continentais possuem maior extensão geográfica e acessibilidade entre regiões, permitindo maior distribuição de EEI e maior possibilidade de defesa por espécies nativas. Adicionalmente, EEI são vetores de doenças, a exemplo da malária transmitida por mosquitos e da leptospirose por roedores, agravando o risco à saúde humana. Por fim, também impactam negativamente na biodiversidade, visto

que são responsáveis por 60% das extinções de espécies nativas em ilhas oceânicas do mundo (BELLARD *et al.*, 2016).

Dentre os ambientes insulares no Brasil, o arquipélago de Fernando de Noronha se destaca por diversas características socioecológicas. Este conjunto de ilhas, pertencentes ao estado de Pernambuco, tem um histórico de modificações de sua paisagem nativa, desde o início da exploração territorial. Por exemplo, no período em que o arquipélago foi colônia penal de Portugal (1737-1937), a vegetação arbórea foi derrubada para evitar a construção de embarcações para fuga de prisioneiros (LINS-E-SILVA, 2007). Além disso, durante esse período e nas décadas seguintes, espécies exóticas foram introduzidas acidentalmente e deliberadamente como, por exemplo, gatos domésticos (*Felis catus* Linnaeus 1758), ratos (*Rattus rattus* Linnaeus 1758), teiús (*Salvator merianae* Duméril & Bibron 1839), e linhaça (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit), que compõe as 27 espécies exóticas registradas atualmente em Fernando de Noronha (MICHELETTI *et al.*, 2020; INSTITUTO HÓRUS, 2004).

O arquipélago abriga vertebrados e invertebrados (mamíferos, répteis, aves e crustáceos, entre outros) durante todos seus ciclos de vida ou durante apenas algum período específico. Dentre as 11 espécies de aves marinhas que utilizam o arquipélago para reprodução (MANCINI *et al.*, 2016), destacam-se *Sula sula* (Linnaeus, 1766), *Phaethon lepturus* (Daudin, 1802), *P. aethereus* (Linnaeus, 1758) e *Puffinus lherminieri* (Lesson, 1839), todas ameaçadas de extinção no Brasil (Portaria MMA 148/2022). Além disso, há ocorrência de espécies endêmicas de vertebrados terrestres como a mabuia (*Trachylepis atlântica* Schmidt 1945), único lagarto nativo do arquipélago, o lagarto verme (*Amphisbaena ridleyi* Boulenger 1890), bem como duas aves terrestres (*Elaenia ridleyana* Sharpe 1888 e *Vireo gracilirostris* Sharpe 1890), globalmente listadas como “Vulnerável” e “Quase ameaçada”, respectivamente (BIRDLIFE INTERNATIONAL, 2016a e 2016b).

O arquipélago é composto por duas Unidades de Conservação (UC), a Área de Preservação Ambiental (APA) e o Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha (PARNAMAR). A APA é categorizada como uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável, ou seja, concilia o uso e ocupação humana com a sustentabilidade dos recursos naturais. O PARNAMAR é uma Unidade de Proteção Integral, que permite somente o uso indireto de seus recursos (e.g. atividades turísticas) priorizando a preservação ambiental. Ambas as áreas possuem seus

ecossistemas formados por duas áreas distintas, uma terrestre incluindo ilhas e ilhotas, e outra marinha. O arquipélago abriga 3.140 moradores (IBGE, 2021) na ilha principal, a única habitada do aglomerado de 21 ilhas, e uma população flutuante mensal de cerca de 5.000 pessoas. Ambas as populações são beneficiadas pelos diversos serviços ecossistêmicos da ilha, como água doce de cacimbas, frutas, turismo de aventuras em trilhas, contemplação da biodiversidade nativa e endêmica, controle de microclima por árvores nativas, os quais produzem valor através da economia e/ou do bem-estar. No entanto, as espécies exóticas presentes no ambiente terrestre do arquipélago, com potencial de invasão, podem estar comprometendo esses serviços, incluindo aqueles encontrados no ambiente marinho adjacente ao arquipélago. Portanto, ferramentas que valoram, mapeiam e modelam os ecossistemas, ajudam a avaliar tais impactos e preenchem lacunas de informações que podem subsidiar a tomada de decisões e aumentar a efetividade de programas de gestão.

Dessa forma, o presente estudo buscou investigar o efeito de EEI sobre serviços ecossistêmicos do arquipélago de Fernando de Noronha. Para isso, foi aplicada uma abordagem com ferramentas qualitativas e quantitativas, as quais se complementam para fornecer um panorama amplo sobre a relação das EEI com os serviços ecossistêmicos do arquipélago. Através dessa abordagem, foram realizados: (1) o inventário dos serviços ecossistêmicos fornecidos em Fernando de Noronha, bem como a identificação de benefícios e beneficiários; (2) a quantificação dos efeitos, positivos e/ou negativos, de EEI sobre os serviços ecossistêmicos de provisão, de regulação e culturais; e (3) a avaliação quantitativa do risco de impacto de EEI sobre os ecossistemas do arquipélago. A partir disso, será possível compreender as complexidades das relações positivas e negativas das EEI com o capital natural de Fernando de Noronha, e subsidiar ações de gestão voltadas à conservação, ao bem-estar humano, e à geração de emprego e renda. Baseado no conhecimento do efeito de EEI em ambientes insulares, espera-se que os efeitos das EEI sobre os serviços ecossistêmicos do arquipélago de Fernando de Noronha sejam predominantemente negativos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Investigar o efeito de espécies exóticas invasoras sobre os serviços ecossistêmicos do arquipélago de Fernando de Noronha.

1.1.2 Objetivos Específicos

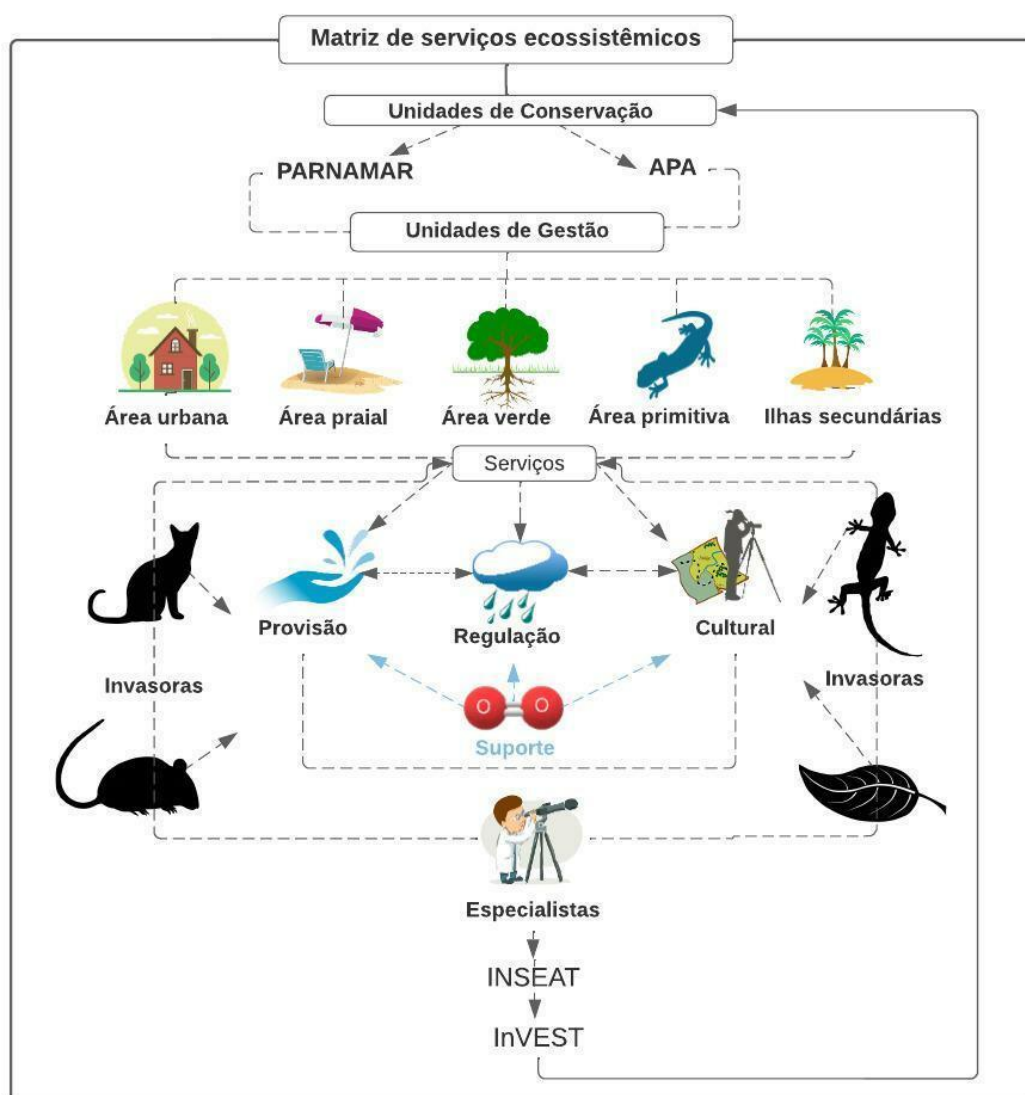
- a) Realizar a classificação dos serviços ecossistêmicos fornecidos na área de estudo;
- b) Quantificar os efeitos positivos e negativos de espécies exóticas invasoras sobre os serviços ecossistêmicos;
- c) Estimar o risco de impacto das espécies exóticas invasoras sobre os ecossistemas de Fernando de Noronha.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização desse estudo, organizou-se a metodologia nas seguintes etapas (Fig. 1), descritas nos tópicos abaixo.

Figura 1 – Resumo gráfico da metodologia aplicada para análise do impacto de espécies exóticas invasoras nos serviços ecossistêmicos de Fernando de Noronha.

PARNAMAR = Parque Nacional Marinho; APA = Área de Proteção Ambiental; INSEAT= Ferramenta de Avaliação de Efeitos de Espécies Invasoras; InVEST= Avaliação Integrada de Serviços Ecossistêmicos e *Tradeoffs*.

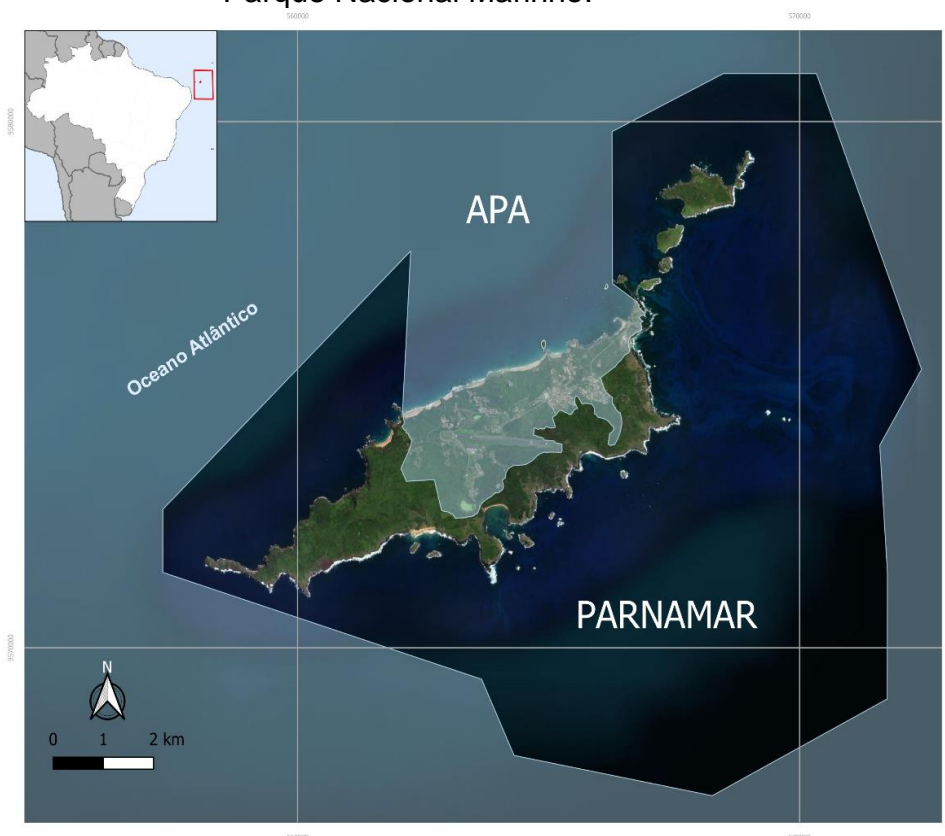


Fonte: Autora (2021).

2.1 ÁREA DE ESTUDO

Fernando de Noronha está localizado na região oceânica da porção noroeste do Atlântico Sul ($3^{\circ}50'28,9''S$; $32^{\circ}24'39,4''O$), a 540 km da capital de Pernambuco, seu Estado administrativo. O arquipélago apresenta um clima tropical com duas estações bem distintas, o período chuvoso de março a julho, e déficit hídrico mais acentuado de agosto a janeiro (CASTRO, 2010). É influenciado pelas águas da Corrente Sul Equatorial (PINET, 2017). Possui formação de origem vulcânica e seus ambientes geológicos são constituídos por rochas vulcânicas, depósitos eólicos, recifes algálicos e de corais, praias e depósitos lacustres e fluviais (CASTRO, 2010). Fernando de Noronha possui duas Unidades de Conservação geridas pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), sendo que 70% pertencem ao Parque Nacional Marinho (PARNAMAR) e 30% à Área de Proteção Ambiental (APA) (Fig. 2). Essas foram utilizadas como base para as subdivisões do zoneamento.

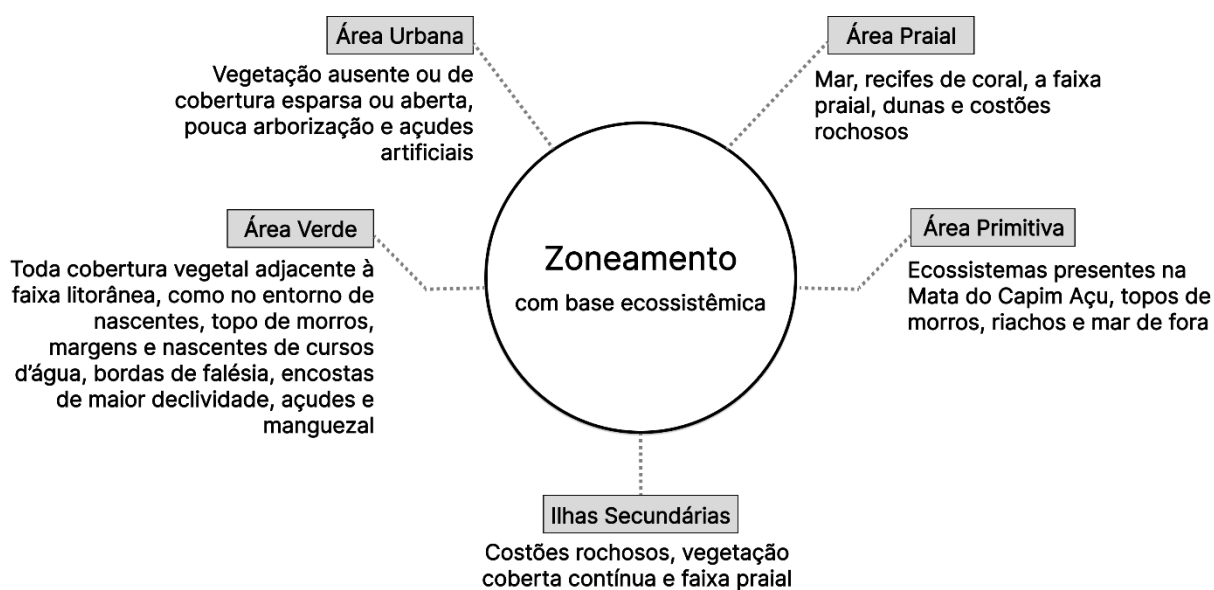
Figura 2 – Mapa do arquipélago de Fernando de Noronha e suas respectivas Unidades de Conservação. APA = Área de Proteção Ambiental; PARNAMAR = Parque Nacional Marinho.



Fonte: Autora (2022).

O zoneamento foi subdividido em Unidades de Gestão que foram definidas de acordo com os ecossistemas presentes, conforme o roteiro proposto por Asmus *et al.* (2018), descrito em maior detalhamento no tópico seguinte. As Unidades de Gestão presentes em cada área são representadas no esquema abaixo (Fig. 3).

Figura 3 – Esquema de subdivisão do zoneamento em Unidades de Gestão com base no levantamento dos ecossistemas presentes.



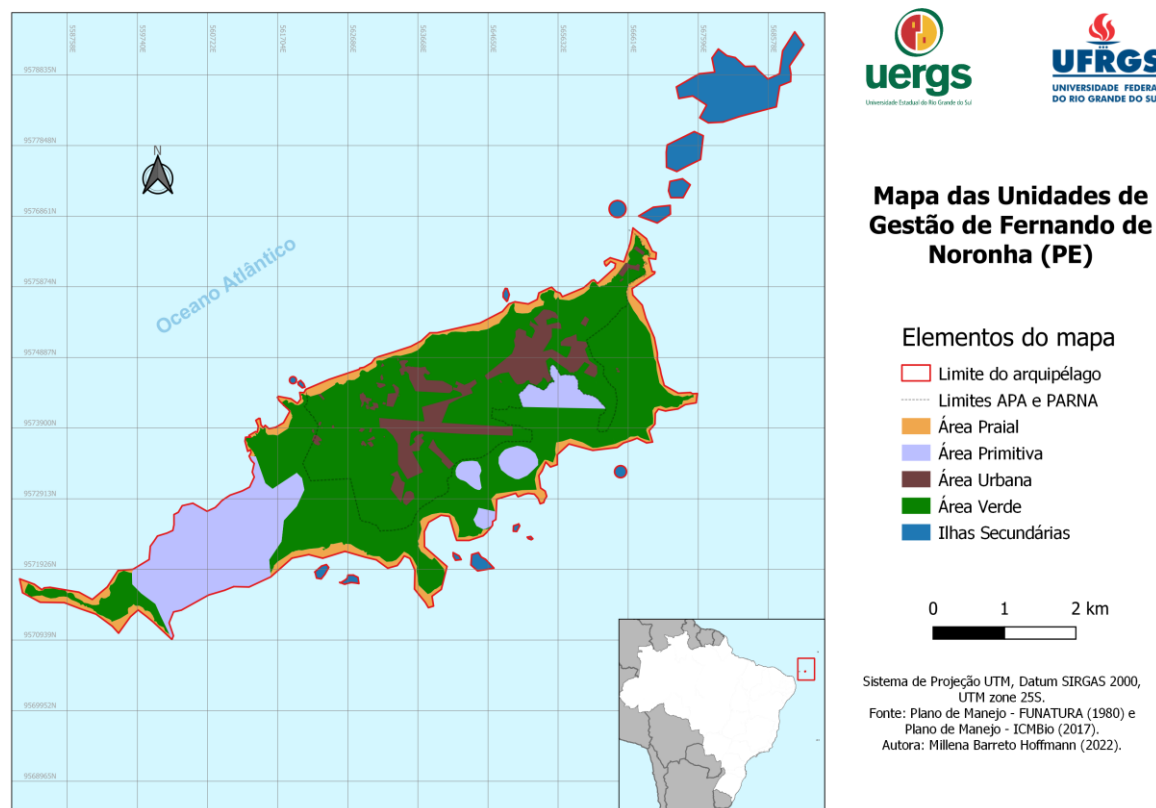
Fonte: Autora (2022).

2.2 OBTENÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

2.2.1 Levantamento de serviços ecossistêmicos

Neste estudo, como mencionado anteriormente, seguiu-se uma versão adaptada do roteiro metodológico apresentado por Asmus *et al.* (2018), realizando as três primeiras etapas propostas. A primeira, é a identificação dos ecossistemas como Unidades de Gestão, a qual considera os diferentes sistemas (*e.g.* ambientais, sociais, econômicos) como um conjunto de elementos interligados, conforme apresentado na área de estudo (Fig. 3). A segunda, é o mapeamento dessas unidades, de modo a visualizar as áreas de estudo e, para isso, as delimitações do perímetro de cada uma das Áreas foram baseadas em referências geográficas tais como coordenadas UTM (*Universal Transversa de Mercator*) e limites e estruturas físicas, conforme o Sistema de Projeção UTM, contidos no Plano de Manejo da APA e PARNAMAR, e elaborado com uso do *software* QGIS, versão 3.22 (QGIS *Development Team*, 2016) (Fig. 4). Por último, a terceira etapa é a identificação e classificação dos serviços ecossistêmicos e, para isso, utilizou-se como base a Planilha de Serviços Ecossistêmicos proposta por Asmus *et al.* (2014) e aplicada por Scherer e Asmus (2016). Em sua essência, a matriz inclui os principais serviços ecossistêmicos fornecidos pelos ecossistemas considerados, classificados como serviços de provisão, regulação e cultural, bem como os benefícios socioeconômicos gerados por eles e os atores sociais beneficiados pelos mesmos (ASMUS *et al.*, 2018). Neste estudo, a categoria de serviços de suporte foi excluída para evitar contagem dupla, uma vez que todos os serviços são sustentados por esse grupo (ELLIFF e KIKUCHI, 2015). Ainda, os serviços e benefícios levantados foram baseados naqueles usados por Martinez-Cillero *et al.* (2019), e os atores sociais foram identificados com base na literatura científica disponível.

Figura 4 – Mapa das Unidades de Gestão de Fernando de Noronha consideradas no presente estudo.



Fonte: Autora (2022).

2.2.2 Espécies exóticas invasoras

Para sistematizar o conhecimento sobre as espécies exóticas invasoras, foi realizado um levantamento bibliográfico não sistemático, através de busca ativa e revisão integrada de publicações (*i.e.* artigos, capítulos de livro e resumos de evento), e através da obtenção de dados cedidos por pesquisadores (*e.g.* coordenadas geográficas da distribuição da espécie *L. leucocephala* solicitadas aos autores de estudos na região). Assim, foram compiladas informações sobre sua distribuição e principais impactos conhecidos. Dessa forma, definiu-se as seguintes espécies exóticas, como de maior relevância para os objetivos do estudo: gato-doméstico (*F. catus*), linhaça (*L. leucocephala*), rato-preto (*R. rattus*) e teiú (*S. merianae*).

Os gatos-domésticos que ocorrem no arquipélago podem ser divididos em três grupos de acordo com seu papel ecológico: domiciliados, peridomiciliados e

selvagens. Estão distribuídos em toda a ilha principal, incluindo a área do Parque Nacional (DIAS *et al.*, 2017). Os gatos selvagens (Fig. 5a) foram estimados em 25% da população total de gatos (DIAS *et al.* 2017), embora espere-se que este número seja maior, visto que FONSECA *et al.* (2021) mostram um aumento populacional de aproximadamente 41% nos últimos quatro anos. Possuem dieta composta, em grande parte, por espécies nativas, como 18,8% de mabuia (*T. atlantica*) e 28,6% de aves, incluindo os dois Passeriformes endêmicos e o rabo-de-palha-de-bico-amarelo (*P. lepturus*). Adicionalmente, 31,6% da dieta foi estimada ser composta por roedores (GAIOTTO *et al.*, 2020). Além disso, os gatos-domésticos em Fernando de Noronha são vetores de um genótipo atípico de *Toxoplasma gondii*, o que reforça sua importância sobre riscos epidemiológicos locais (MELO *et al.*, 2016).

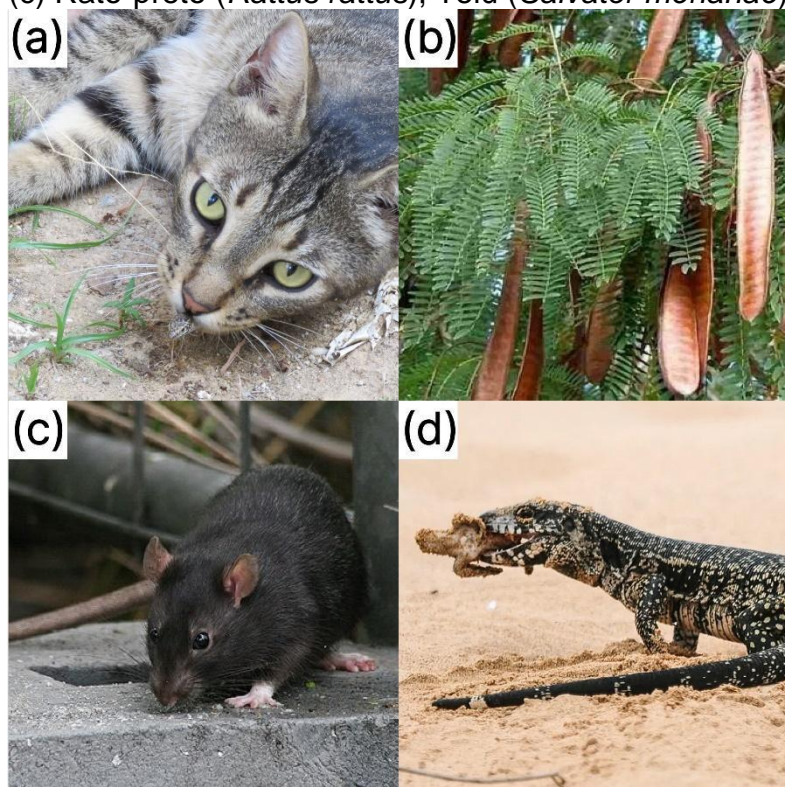
A *L. leucocephala* (Fig. 5b) é uma espécie vegetal arbórea leguminosa, e está ausente somente em 39,5% de parcelas amostradas na região, e em 10% está como altamente invadida. Está presente na ilha principal, cobrindo densamente o local, e na Ilha Rata (FREITAS e MELLO, 2018). A planta impede que recursos, como luz e água, alcancem o solo através da sombra do seu dossel, inibindo a presença de espécies vegetais nativas, como *Erythrina velutina* Willd (MELLO e OLIVEIRA, 2016). Ainda, é documentada como altamente invadida no manguezal de Fernando de Noronha, único manguezal insular do Atlântico Sul (CLAUDINO-SALES, 2019).

O *R. rattus* (Fig. 5c) é o roedor mais comum na ilha principal e desempenha um papel importante na transmissão da leptospirose entre espécies domésticas e selvagens no arquipélago (SILVA *et al.*, 2021). Possui sua dieta formada por 30,3% de plantas e 65,6% de animais, como aves marinhas e terrestres, mabuia e insetos (GAIOTTO *et al.*, 2020). Não há estimativas da distribuição da população de *R. rattus* para o arquipélago, embora se saiba que estão dispersos por toda ilha principal. Há ocorrência para as ilhas de São José, Rasa e Rata e, aparentemente, estão ausentes nas ilhas ao redor da costa sul do arquipélago (SOTO, 2009; MICHELETTI *et al.*, 2020). Para a ilha Sela Gineta há deficiência de dados por conta do seu difícil acesso e na ilha do Meio, a espécie foi erradicada em 2017 (MICHELETTI *et al.*, 2020).

O *S. merianae* (Fig. 5d) está estabelecido na ilha principal e é reservatório e fonte de transmissão da *Salmonella* spp. que, quando exposta e em contato com humanos, pode causar intoxicações e até mesmo a morte (ABRAHÃO, 2019).

Possui sua dieta formada por 41,3% de plantas, 24,1% de répteis, incluindo a mabuia e o lagarto verde, 14,7% de roedores e 8,7% artrópodes (GAIOTTO *et al.*, 2020). A espécie possui uma característica importante que pode estar relacionada com sua distribuição, que é a capacidade de nadar e até mesmo mergulhar em pequenas profundidades (MICHELETTI *et al.*, 2020). Sua presença foi registrada nas duas UCs da ilha principal, especialmente na vila do Boldró e na mata do Capim-açu e também na ilha Rata através de sinal indireto (*i.e.* fezes e rastros) (ABRAHÃO, 2019).

Figura 5 – (a) Gato-doméstico (*Felis catus*); (b) Linhaça (*Leucaena leucocephala*); (c) Rato-preto (*Rattus rattus*); Teiú (*Salvator merianae*).



Crédito: (a) Guilherme Tavares; (b) Evandro Jolkowski; (c) Milos Andéra; (d) Elizeu Souza Júnior.

2.2.3 Avaliação de efeitos de EEI sobre os serviços ecossistêmicos

Para avaliar os efeitos positivos e negativos das EEI sobre os serviços ecossistêmicos de Fernando de Noronha, foi aplicada uma versão adaptada da ferramenta *Invasive Species Effects Assessment Tool* (INSEAT) (MARTINEZ-CILLERO *et al.*, 2019). Esse sistema de avaliação integrada inclui perguntas,

destinadas a especialistas, para avaliar aspectos como (a) ocupação espacial; (b) capacidade de espalhamento; (c) esforço de gestão; (d) avaliação do impacto negativo aos serviços ecossistêmicos; (e) benefícios das espécies sobre serviços ecossistêmicos; e (f) origem do conhecimento dos especialistas. Além desses tópicos, foram incluídas duas perguntas relativas à legislação existente ou necessária para se tratar da EEI em questão e ao engajamento da comunidade local sobre o assunto. Todos os tópicos incluíram uma avaliação do respondente quanto ao seu nível de confiança sobre o assunto da questão.

Assim, foram aplicadas perguntas estruturadas e não-estruturadas a serem respondidas por especialistas selecionados previamente. Os especialistas selecionados englobam os envolvidos no Plano de Ação para o Controle de Gatos em Fernando de Noronha (BRASIL, 2018), bem como pesquisadores de EEI e de seus impactos sobre a biota nativa, com publicações científicas sobre o tema, levantados durante a etapa de sistematização sobre as EEI e por meio da técnica de bola de neve (*i.e.* pediu-se que cada respondente indicasse ao final do formulário outros nomes de especialistas que poderiam contribuir respondendo ao INSEAT). As perguntas foram individuais, de forma a considerar as opiniões próprias e evidências independentes para maior veracidade dos dados.

O presente estudo desenvolveu e aplicou ao questionário, de forma complementar e introdutória, um vídeo de nivelamento (HOFFMANN, 2022), para contextualizar alguns conceitos para os especialistas, englobando aspectos gerais como: (a) área de estudo; (b) serviços ecossistêmicos de FN; (c) espécies exóticas de FN utilizadas no estudo; e (d) objetivos do questionário. O objetivo dessa adaptação ao questionário foi de reforçar o assunto geral, a fim de descartar vieses e incertezas sobre o assunto relacionado às variações de conhecimento basal dos entrevistados.

Após coletar as respostas do questionário, foi preenchida uma planilha e atribuída a ela as devidas pontuações de cada resposta, conforme descritas por Martinez-Cillero *et al.* (2019). Também, para a avaliação do impacto e direção dos efeitos das EEI, foi atribuída a ela a escala semiquantitativa de Likert, que permite avaliar os impactos ambientais e socioeconômicos em uma escala de grau mais alto a mais baixo de impacto. Assim, primeiramente foi atribuído o Sistema de Pontuação de Cálculo Genérico (*i.e.* score de impacto), o qual possui uma escala que varia de -4 a 4, sendo o valor mais alto e mais baixo o “aumento na prestação do serviço

ecossistêmico, que é intenso e irreversível” e a “redução na prestação do serviço ecossistêmico, que é intensa e irreversível”, respectivamente. O *score* de impacto de cada espécie foi ponderado de acordo o nível de confiança atribuído por cada respondente, seguindo a Eq. 1:

$$\text{Score de impacto ponderado} = \text{score de impacto} * \text{nível de confiança}$$

(Eq. 1)

A ponderação de acordo com o nível de confiança foi atribuída de modo a dar maior reconhecimento às respostas de alta e média confiança, porém sem descartar completamente as de baixa confiança. Esta, foi aplicada multiplicando o *score* de impacto por 1 para alta confiança, por 0,5 para média confiança, e por 0,1 para baixa confiança. Posteriormente, assumindo que o efeito de uma espécie amplamente distribuída é maior que uma restritamente distribuída, foi aplicado o Índice de Impacto, calculado de acordo com a Eq. 2:

$$\text{Índice de Impacto} = \text{score de impacto ponderado} * \text{ocupação espacial}$$

(Eq. 2)

Considerando que o *score* de impacto ponderado, como calculado de acordo com a Eq. 1, pode variar de -4 a 4, enquanto a ocupação espacial pode variar de -3 a 3, o Índice de Impacto (que resulta da multiplicação desses dois fatores) pode variar de -12 a 12 em situação de alta confiança para as respostas.

A aplicação das perguntas foi através da plataforma virtual *Google Forms*®, aplicativo de gerenciamento de pesquisas capaz de realizar questionários. Para aplicação das perguntas, os respondentes assinaram o Termo de Consentimento Livre Esclarecido (Anexo 1), aprovado pela Comissão de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CAAE 58138522.1.0000.5347). As análises estatísticas foram realizadas no programa R Studio, utilizando o pacote *ggplot2* (WICKHAM, 2016) para elaboração das figuras. As perguntas aplicadas podem ser acessadas através do *link*: l1nq.com/questionarioINSEAT.

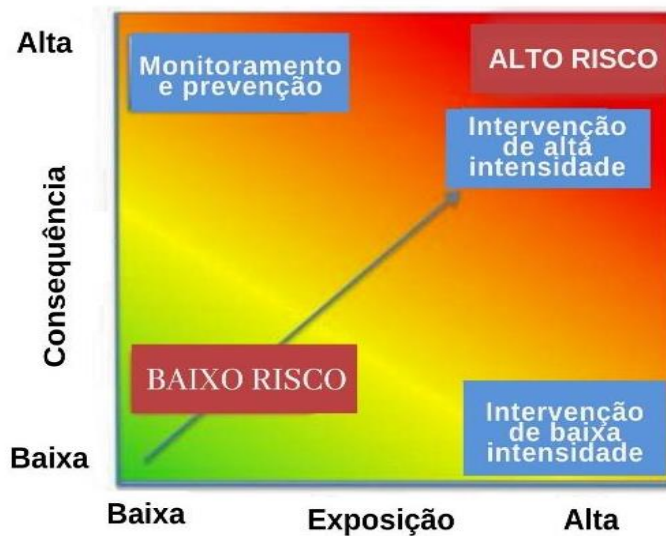
2.2.4 Mapeamento do risco de perda de serviços ecossistêmicos

A partir dos dados sistematizados da literatura sobre as principais EEI relevantes para o presente estudo, foi realizada uma análise do risco de perda de serviços ecossistêmicos no arquipélago de Fernando de Noronha. Para tanto, utilizou-se o programa *Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs* (InVEST) versão 3.11.0 (*Natural Capital Project*, Califórnia, EUA), o qual possui um conjunto de modelos capazes de mapear e avaliar os bens e serviços da natureza.

Foi aplicado o Modelo de Avaliação de Risco ao Habitat (*Habitat Risk Assessment*, HRA), ferramenta que permite avaliar o risco cumulativo de estressores (aqui considerados as espécies exóticas) sobre habitats e espécies (aqui consideradas as unidades de gestão), bem como mapear suas possíveis consequências ao prover os serviços ecossistêmicos e a biodiversidade dos ecossistemas marinhos e costeiros (SHARP *et al.*, 2020). Neste modelo, entende-se risco como a probabilidade de efeitos negativos de origem humana levar a consequências indesejadas ao ambiente (BURGMAN, 2005; SHARP *et al.*, 2020).

Os dados de entrada incluem informações sobre a distribuição de ecossistemas e os fatores estressores avaliados, duração e intensidade dessas atividades e nível de eficácia das estratégias de gerenciamento em vigência (ELLIFF, 2014). Além disso, a área de amortecimento (*buffer*) foi estabelecida em 1000 metros para contemplar a área de influência e cobertura das espécies exóticas, seguindo as recomendações do manual do usuário do InVEST (Sharp *et al.*, 2020). O modelo em vista, proporciona duas dimensões de informações: exposição e consequência (Fig. 6). A exposição define o grau que os habitats experimentam os estressores, frente ao tempo de sobreposição, intensidade e a eficácia da estratégia de gestão. Enquanto consequência é a resposta desses habitats a essa exposição, ou seja, a sensibilidade, resiliência ou a capacidade desses habitats de se recuperarem desses estressores. Além disso, gera camadas *raster* com o risco do habitat reclassificado de todos os estressores em uma célula de grade com quatro categorias, cada uma delas sendo definida de acordo com a porcentagem de risco cumulativo total, sendo alto risco (66% a 100%), médio risco (33% a 66%) e baixo risco (0 a 33%) (SHARP *et al.*, 2020). Os dados de entrada mencionados podem ser acessados através do *link*: l1nq.com/dadosdeentradaInVEST.

Figura 6 – Modelo de Avaliação de Risco ao Habitat com as dimensões de exposição e consequências e seus respectivos riscos ao habitat e estratégias de mitigação, aplicado aos serviços ecossistêmicos de Fernando de Noronha.



Fonte: Modificado de SHARP *et al.* (2020).

3 RESULTADOS

3.1 LEVANTAMENTO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

Ao todo, foram identificados 21 serviços ecossistêmicos potencialmente fornecidos nos diferentes ecossistemas pertencentes às cinco Unidades de Gestão, sendo que os maiores números estão na Área Verde (81%), seguido da Área Primitiva (76%), Área Praial (67%), Ilhas Secundárias (52%) e Área Urbana (24%) (Tabela 1). Do total de serviços, 38% desses são fornecidos em comum pelas Unidades de Gestão Área Praial, Área Verde, Área Primitiva e Ilhas Secundárias, com destaque para a regulação de doenças e pragas e regulação de perigos. Esses, no entanto, não são fornecidos em todas as Unidades de Gestão, visto que a Área Urbana não possui capacidade de fornecer tais serviços de acordo com os seus ecossistemas presentes. Apenas a Área Verde apresentou o serviço de regulação de ruídos. Assim como a Área Praial, a Área Primitiva também fornece os serviços de pescados e recreação, porém, estes ocorrem de forma mais restrita devido às características da área. As categorias de serviços mais representadas foram regulação, com 9 serviços, provisão, com 7 serviços, seguido de cultural, com 6 serviços (Tabela 1).

Foi identificado um total de 41 benefícios para os diferentes atores sociais considerados, sendo que os maiores números estão na Área Verde (66%), seguido da Área Praial (59%), Área Primitiva (44%), Ilhas Secundárias (32%) e Área Urbana (27%). O benefício em comum fornecido por todas as Unidades de Gestão foi a regulação de temperatura e precipitação. Do total de benefícios, 20% desses são fornecidos em comum pela Área Praial, Área Verde, Área Primitiva e Ilhas Secundárias. Destes, destaca-se o aumento da biodiversidade, educação ambiental, controle natural de doenças e pragas, e manutenção de eventos de inundações e tempestades. Os benefícios de base de alimentação para as teias alimentares, barreiras naturais de proteção da linha de costa contra ação de ondas e significado religioso foram fornecidos apenas pela Área Praial. Ademais, o benefício de enriquecimento ambiental e natural foi fornecido apenas pela Área Verde e o benefício de drenagem pluvial e fluvial fornecidos apenas pela Área Primitiva. As categorias de benefícios mais representadas foram regulação, com 15 benefícios, cultural, com 14 benefícios, seguido de provisão com 12 benefícios,

respectivamente. Além disso, os benefícios de prática de observação de aves e prática de observação de baleias beneficiam principalmente a comunidade local, a população flutuante e a Administração. Ademais, são gerados somente na Área Praial, Área Verde e Área Primitiva.

Por sua vez, os atores sociais beneficiados foram representados por 10 grupos diferentes, sendo: comunidade local; população flutuante; pesquisadores (as); pescador (a) artesanal; setor gastronômico; extrativistas; pecuaristas; agricultores (as); órgãos ambientais e Administração. Dentre as Unidades de Gestão, as que possuem mais categorias de beneficiados são a Área Verde, com 90% das categorias de atores, Área Praial com 70%, seguido de Área Primitiva, Ilhas Secundárias e Área Urbana com 50%. Os beneficiados pelo maior número de serviços são a comunidade local, população flutuante e Administração, os quais são beneficiados em todas as Unidades de Gestão. A comunidade local é a principal beneficiada por todos os serviços, já que reside no arquipélago durante todo o ano e utiliza diversos serviços para seu sustento. A população flutuante se beneficia principalmente onde há a ocorrência do turismo e, por isso, é beneficiada em todas as Unidades de Gestão, até mesmo na Área Primitiva e nas Ilhas Secundárias, onde o turismo é restrito. Por mais que a Administração não usufrua diretamente dos serviços em todos os casos, essa se beneficia por outras formas em todas as Unidades de Gestão, como os produtos gerados por serviços, como o turismo e pesca.

Tabela 1 – Levantamento da matriz de serviços ecossistêmicos.

Unidade de Gestão	Ecossistemas presentes	Planilha de Serviços Ecossistêmicos			
		Classificação	Serviços	Benefícios	Atores
Área Urbana	Vegetação ausente ou de cobertura esparsa ou aberta, pouca arborização e açudes	Provisão	Frutos; sementes; recurso hídrico	Recursos alimentares; extrativismo; subsídios para artesanatos; abastecimento hídrico	Comunidade local; extrativistas; população flutuante; Administração
		Regulação	Polinização	Manutenção da população de plantas; geração de sombra; contribuição no ciclo hidrológico; controle de temperatura	Comunidade local; população flutuante; Administração
		Cultural	Valores histórico-culturais	Pesquisas científicas; contemplação histórica e cultural; atividades recreacionais e educativas	Comunidade local; população flutuante; pesquisadores (as); Administração
Área praial	Mar, recifes de coral, faixa praial, dunas, costões rochosos	Provisão	Berçário natural; produção de biomassa; pescados; insumos medicinais e farmacêuticos	Base de alimentação para as teias alimentares; aumento da biodiversidade; recursos alimentares; subsídio para a pesca artesanal; extrativismo; melhora da imunidade, tratamento para ferimentos e doenças	Comunidade local; pescador (a) artesanal; extrativistas; setor gastronômico; população flutuante; Administração; pesquisadores (as)

Regulação	Desintoxicação e purificação de solos, ar e água; regulação de perigos; regulação de doenças e pragas; regulação climática; contribuição no ciclo hidrológico; regulação de erosão	Ciclagem de nutrientes e sedimentos; barreiras naturais de proteção da linha de costa contra ação de ondas; atenuação de eventos extremos como inundações e tempestades; controle natural de doenças e pragas realizado pelas relações ecológicas; sequestro de carbono; regulação de temperatura e precipitação; segurança humana; prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo	Comunidade local; pescador (a) artesanal; extrativistas; setor gastronômico; população flutuante; Administração; pesquisadores (as)
Cultural	Experiência espiritual e senso de pertencimento; lazer, valorização estética e inspiração para cultura, arte e design; recreação e turismo; saúde mental e física	Significado religioso; belezas cênicas; educação ambiental; ecoturismo; prática de observação de baleias; turismo histórico-cultural; prática de esportes; culinária local; valorização da comunidade local	Comunidade local; pescador (a) artesanal; setor gastronômico; população flutuante; pesquisadores (as); Administração

		Provisão	Berçário natural; produção de biomassa; frutos; sementes; insumos medicinais e farmacêuticos; recursos hídricos	Aumento da biodiversidade; recursos alimentares; extrativismo; pecuária; agricultura; uso de sementes em artesanatos; subsídios medicinais e farmacêuticos naturais; fornecimento de água	Comunidade local; pecuaristas; agricultores (as); extrativistas; setor gastronômico; pesquisadores (as); população flutuante; Administração
Área verde	Toda cobertura vegetal adjacente à faixa litorânea, como no entorno de nascentes, topo de morros, margens e nascentes de cursos d'água, bordas de falésia, encostas de maior declividade, açudes, manguezal	Regulação	Desintoxicação e purificação de solos, ar e água; regulação de perigos; polinização; regulação de doenças a pragas; regulação climática; regulação de ruídos; regulação de erosão	Ciclagem de nutrientes e sedimentos; atenuação de eventos extremos como inundações ou tempestades; manutenção da população de plantas e variabilidade genética; enriquecimento ambiental; controle natural de doenças e pragas realizado pelas relações ecológicas; sequestro de carbono; controle de temperatura e precipitação; contribuição no ciclo hidrológico; amortecimento de ruídos ambientais; prevenção da erosão e manutenção na fertilização dos solos; segurança humana	Comunidade local; pescador (a) artesanal; extrativistas; setor gastronômico; pesquisadores (as); população flutuante; Administração
		Cultural	Experiência espiritual e senso de pertencimento; lazer, valorização estética e inspiração para cultura, arte e design; recreação e turismo; saúde mental e física	Belezas cênicas; educação ambiental; ecoturismo; prática de observação de aves; prática de esportes; contemplação do ambiente natural; culinária local; valorização da comunidade local	Comunidade local; pesquisadores (as); pescador (a) artesanal; setor gastronômico; população flutuante; Administração
Área primitiva	Mata do Capim Açú, Topos de morros, riachos e mar de fora	Provisão	Berçário natural; produção de biomassa; frutos; sementes; pescado; recursos hídricos	Aumento da biodiversidade; recursos alimentares; pesca artesanal; abastecimento hídrico	Comunidade local; pesquisadores (as); Órgãos ambientais; Administração

		Regulação	Desintoxicação e purificação de solos, ar e água; regulação de perigos; polinização; regulação climática; regulação de doenças a pragas; contribuição no ciclo hidrológico; regulação da erosão	Ciclagem de nutrientes e sedimentos; atenuação de eventos extremos como inundações ou tempestades; sequestro de carbono; regulação de temperatura e precipitação; preservação de recursos naturais e genéticos; manutenção de espécies e variabilidade genética; controle natural de doenças e pragas realizado pelas relações ecológicas; drenagem pluvial e fluvial; prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo	Comunidade local; pesquisadores (as); Órgãos ambientais; Administração
		Cultural	Valorização estética e inspiração para cultura, arte, design; recreação primitiva; sistemas de conhecimento e valores educacionais	Beleza cênica; ecoturismo restrito; prática de observação de aves; pesquisas científicas; educação ambiental	Comunidade local; população flutuante; pesquisadores (as); Órgãos ambientais; Administração
		Provisão	Frutos; sementes	Aumento da biodiversidade	Comunidade local; pesquisadores (as); Órgãos ambientais; Administração
Ilhas secundárias	Costões rochosos; vegetação coberta contínua; faixa praial;	Regulação	Desintoxicação e purificação de solos, ar e água; regulação de perigos; polinização; regulação de doenças a pragas; contribuição no ciclo hidrológico; regulação climática; regulação de erosão	Ciclagem de nutrientes e sedimentos; atenuação de eventos extremos como inundações ou tempestades; preservação de recursos naturais e genéticos; manutenção de espécies e variabilidade genética; controle natural de doenças e pragas; sequestro de carbono; regulação de temperatura e precipitação; prevenção da erosão e manutenção da fertilidade do solo	Comunidade local; pesquisadores (as); Órgãos ambientais; Administração

Cultural	Valorização estética e inspiração para cultura, arte, design; sistemas de conhecimento e valores educacionais	Beleza cênica; educação ambiental; pesquisas científicas; turismo histórico- cultural	Comunidade local; pesquisadores (as); população flutuante restrita; Órgãos ambientais; Administração
----------	---	---	--

Fonte: Autora (2022).

3.2 AVALIAÇÃO DE EFEITOS DE EEI SOBRE OS SERVIÇOS

Os dados obtidos através dos questionários reuniram as respostas de doze especialistas da área, sendo 6 respondentes de universidades, 3 respondentes de órgãos públicos de gestão de áreas protegidas e 3 respondentes de ONGs. Considerando todas as indicações de níveis de confiança para todas as perguntas do questionário, a maioria dos respondentes indicaram alto nível de confiança para *F. catus* e *R. rattus* em 52,97% e 60,59% das respostas, respectivamente, para *S. merianae* os níveis de confiança foram altos em 38,98% das respostas, apesar do nível médio ser aproximado do mesmo (35,17%) e *L. leucocephala* obteve em sua maioria baixo nível de confiança, em 37,29% das respostas. Tanto para *F. catus* quanto *R. rattus*, os esforços de gestão foram selecionados em sua maior parte como esforços elevados (podem ser erradicados, mas requerem muitos recursos), enquanto o engajamento da comunidade com o assunto se mostrou médio (a comunidade compreende em parte os assuntos envolvendo as espécies). De acordo com as respostas, apenas 4 especialistas marcaram efeitos positivos de *F. catus* sobre os serviços culturais, como o de saúde mental e física, valorização estética, turismo e de experiência espiritual e senso de pertencimento.

Para os dados referente à média e ao desvio padrão do Índice de Impacto e *score* de impacto de cada EEI, para cada pergunta aplicada e cada serviço ecossistêmico, foram elaboradas as tabelas 2 e 3, apresentadas na íntegra nos Apêndices A e B. Assim, o *score* de impacto ponderado e o índice de impacto de cada espécie são apresentadas nas figuras 7 e 8 para *F. catus*, 9 e 10 para *L. leucocephala*, 11 e 12 para *R. rattus* e 13 e 14 para *S. merianae*. Tanto as informações do *score* de impacto quanto o Índice de Impacto para *F. catus* e *R. rattus*, foram semelhantes. O *score* de impacto para o serviço de variabilidade genética (*i.e.* diversidade de espécies e genética para criação de animais e plantas) para *R. rattus* foi -4, ou seja, a espécie leva a uma redução na prestação do serviço ecossistêmico, que é intensa e irreversível. De acordo com o Índice de Impacto, *R. rattus* obteve efeitos negativos sobre 11 serviços, *F. catus* sobre 6, *S. merianae* sobre 1, e *L. leucocephala* sobre 1. As respostas das perguntas aplicadas no questionário podem ser acessadas através do *link*: l1nq.com/respostasquestionario.

Tabela 2 – Média e desvio padrão do Índice de Impacto e *score* de impacto de cada espécie exótica invasora sobre os serviços ecossistêmicos de Fernando de Noronha, para cada pergunta aplicada.

	Gato	±	Rato	±	Teiú	±	Linhaça	±	Média
Ocupação espacial	2,11	0,84	2,91	0,3	2,5	0,53	2	0,55	2,38
Propagação	2,13	1,03	2,75	0,58	2	0,82	1,37	1,24	2,06
Esforços	2,42	0,76	2,54	0,58	2,65	1	1,37	1,44	2,25
Legislação	1,92	0,79	1,21	0,66	1,4	0,94	0,77	0,61	1,32
Engajamento	1,58	0,51	1,58	0,67	1	0	0,89	0,93	1,26

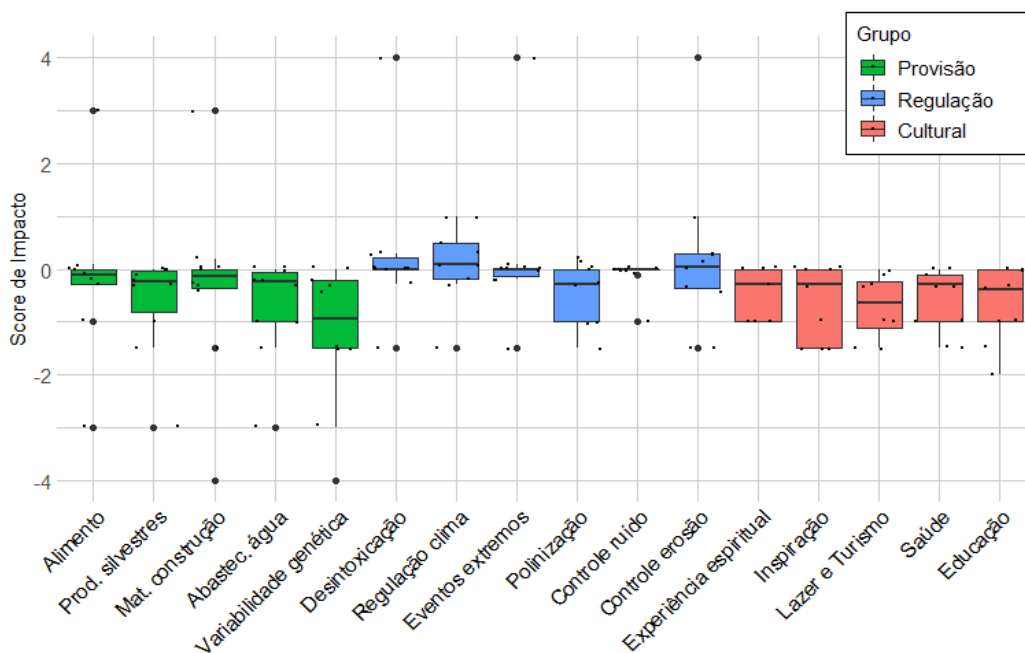
Fonte: Autora (2022).

Tabela 3 – Média e desvio padrão do Índice de Impacto e *score* de impacto de cada espécie exótica invasora para cada serviço ecossistêmico de Fernando de Noronha.

Serviço	Gato	Rato	Teiú	Linhaça	Média
Provisão					
Média	-2,56	-4,99	-2,65	-1,7	-2,97
Regulação					
Média	-1,21	-1,84	-0,92	0,46	-0,88
Cultural					
Média	-3,16	-4,75	-1,64	-1,63	-2,79
Índice de Impacto	-2,24	-3,73	-1,68	-0,87	-2,13
Score de impacto	-0,92	-1,24	-0,65	-0,37	-0,8

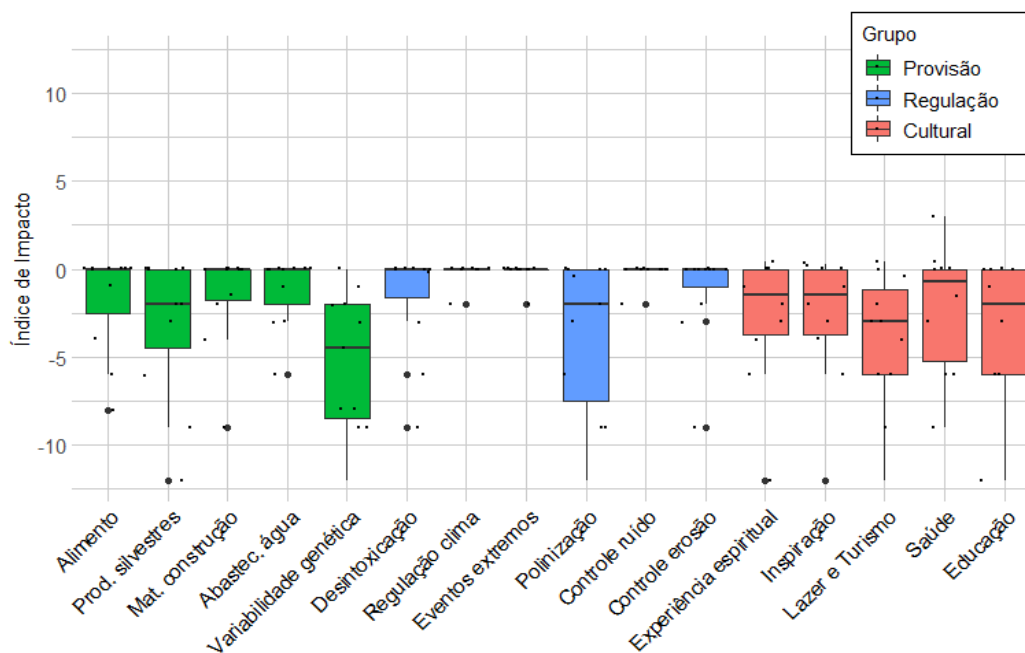
Fonte: Autora (2022).

Figura 7 – Score de impacto ponderado de *Felis catus* em cada serviço ecossistêmico de acordo com as pontuações adquiridas através do questionário INSEAT.



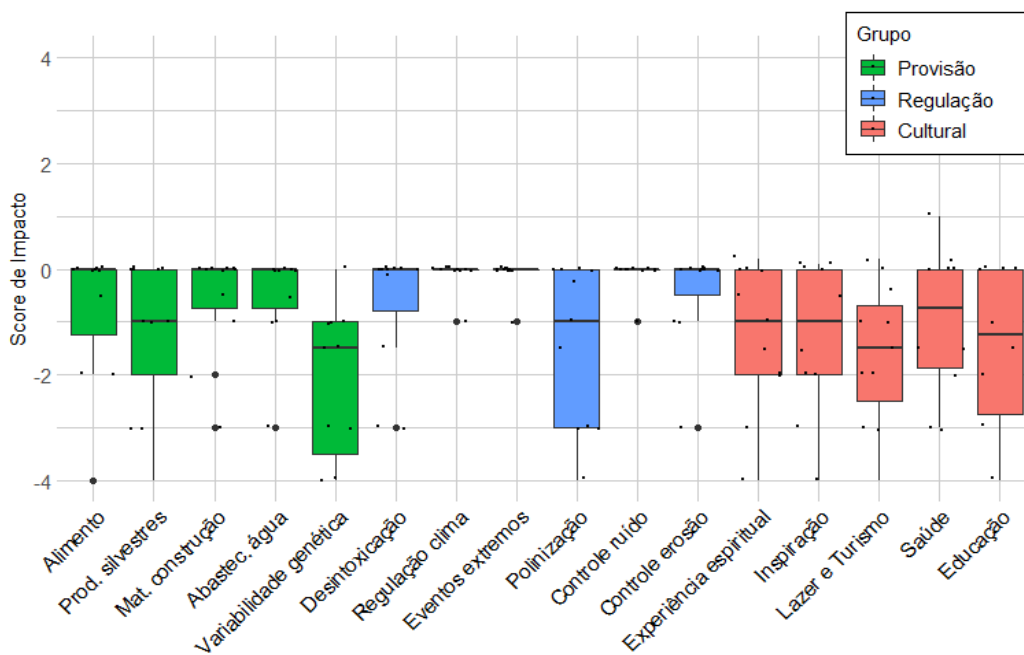
Fonte: Autora (2022).

Figura 8 – Índice de Impacto de *Felis catus* em cada serviço ecossistêmico de acordo com o score de impacto ponderado e sua ocupação espacial.



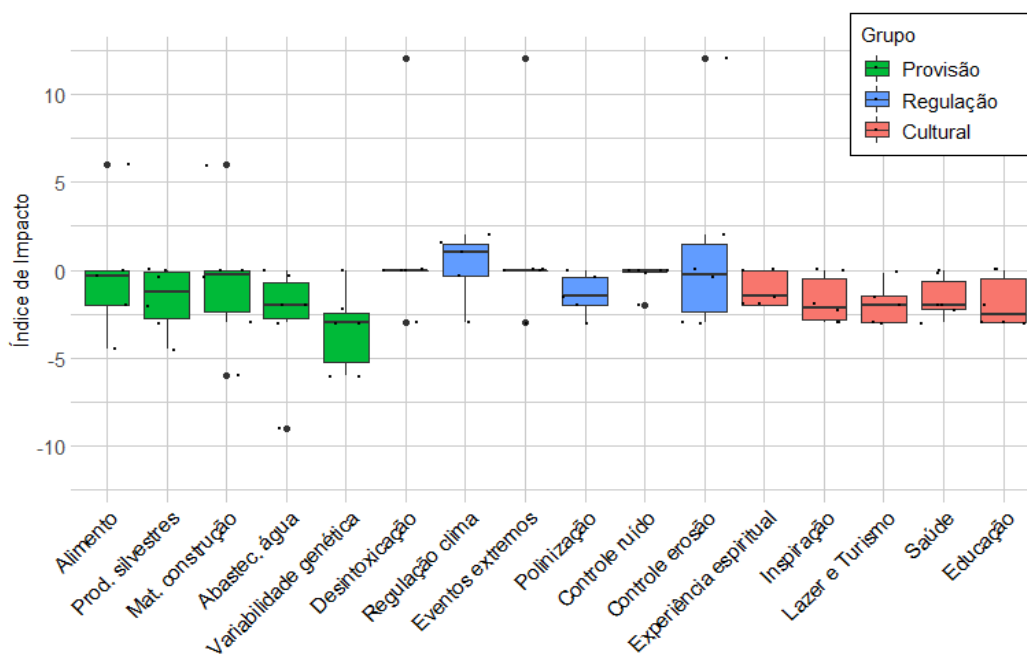
Fonte: Autora (2022).

Figura 9 – Score de impacto ponderado de *Leucaena leucocephala* em cada serviço ecossistêmico de acordo com as pontuações adquiridas através do questionário INSEAT.



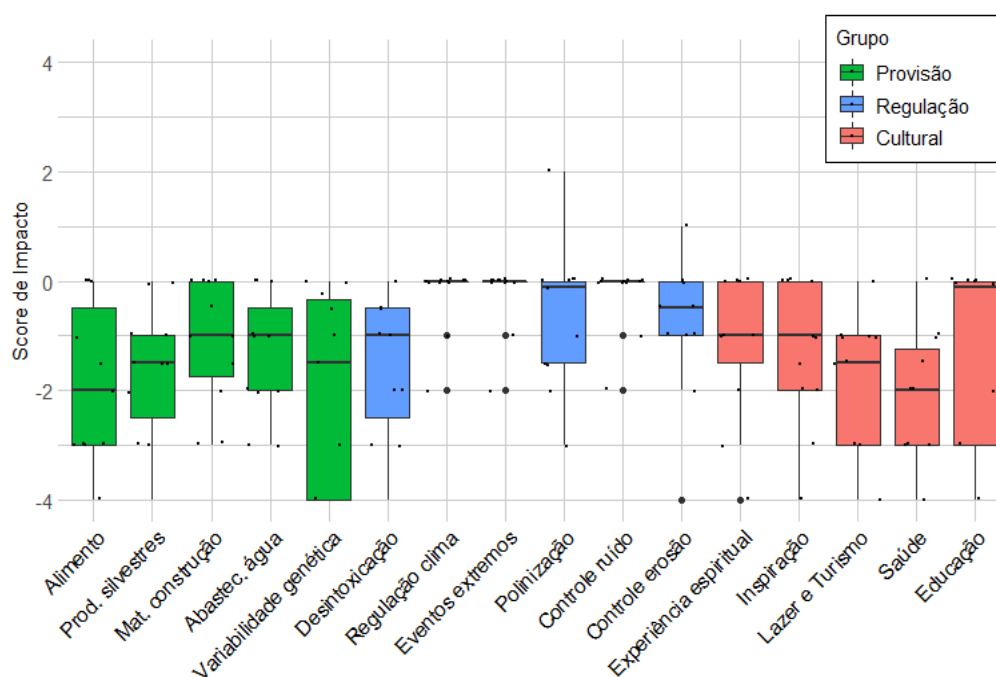
Fonte: Autora (2022).

Figura 10 – Índice de Impacto de *Leucaena leucocephala* em cada serviço ecossistêmico de acordo com o score de impacto ponderado e sua ocupação espacial.



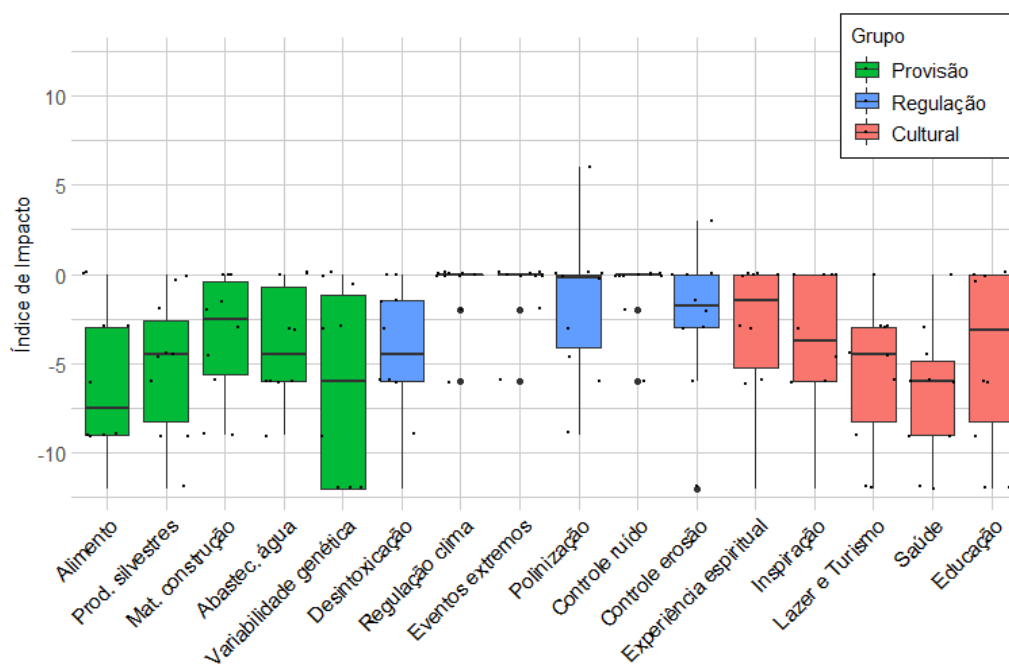
Fonte: Autora (2022).

Figura 11 – Score de impacto ponderado de *Rattus rattus* em cada serviço ecossistêmico de acordo com as pontuações adquiridas através do questionário INSEAT.



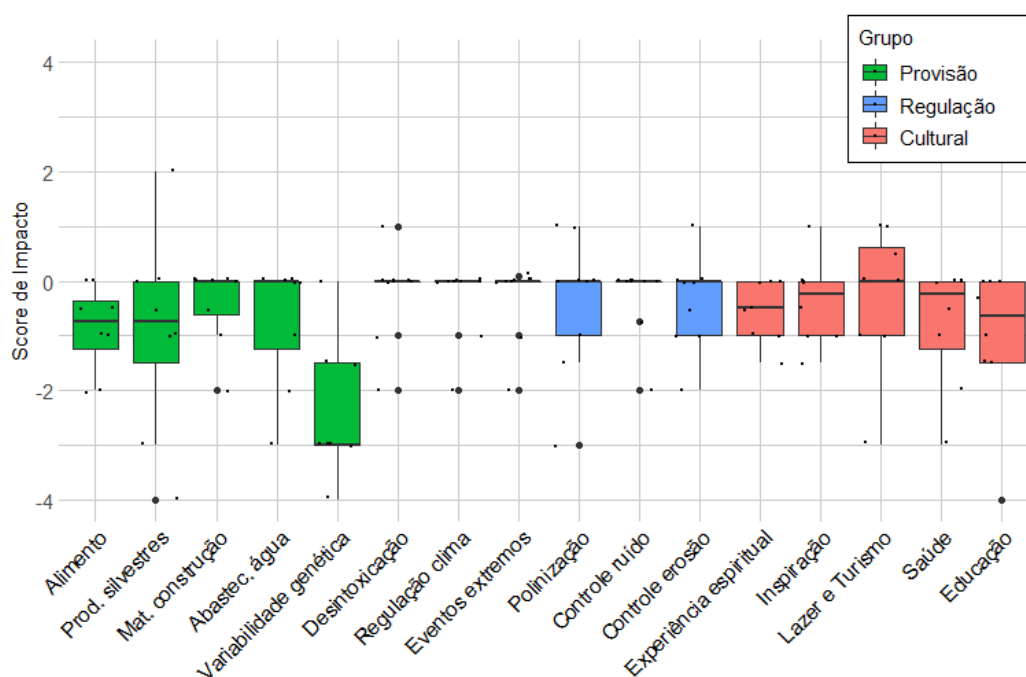
Fonte: Autora (2022).

Figura 12 – Índice de Impacto de *Rattus rattus* em cada serviço ecossistêmico de acordo com o score de impacto ponderado e sua ocupação espacial.



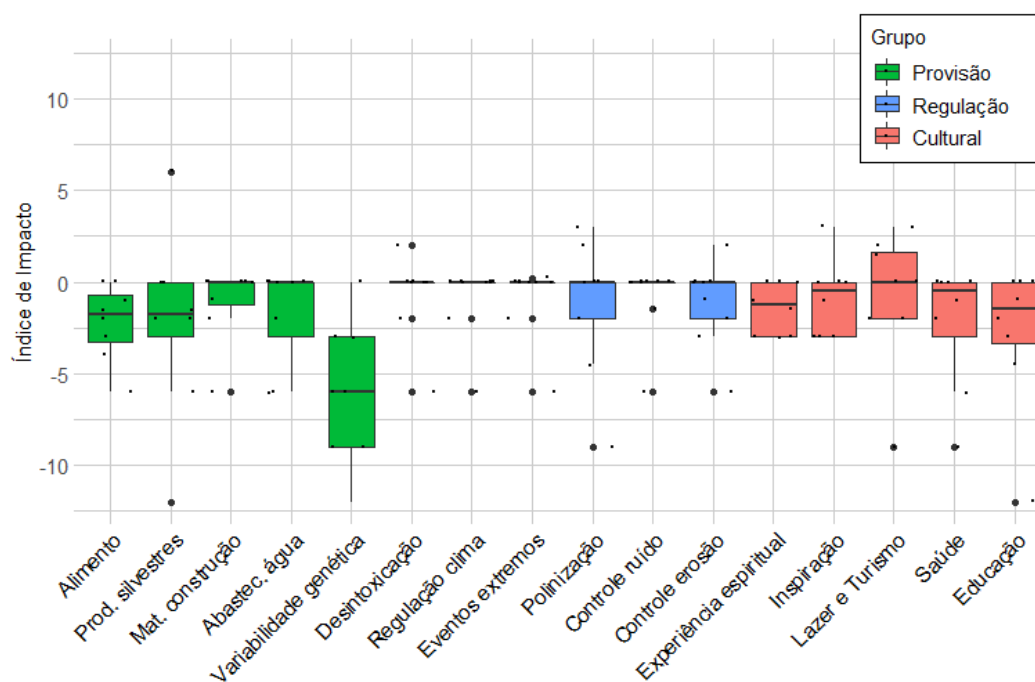
Fonte: Autora (2022).

Figura 13 – Score de impacto ponderado de *Salvator merianae* em cada serviço ecossistêmico de acordo com as pontuações adquiridas através do questionário INSEAT.



Fonte: Autora (2022).

Figura 14 – Índice de Impacto de *Salvator merianae* em cada serviço ecossistêmico de acordo com o score de impacto ponderado e sua ocupação espacial.

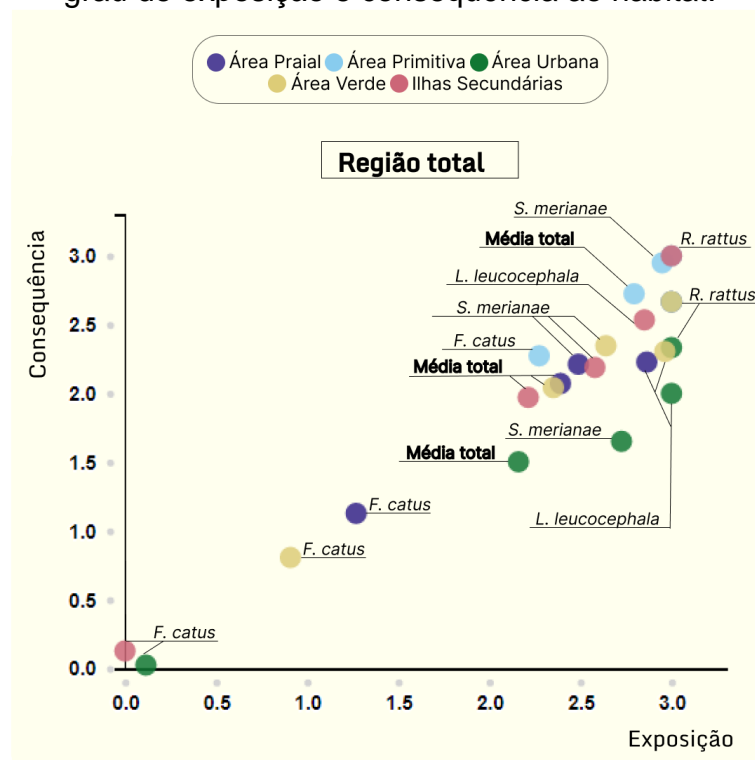


Fonte: Autora (2022).

3.3 MAPEAMENTO DO RISCO DE PERDA DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

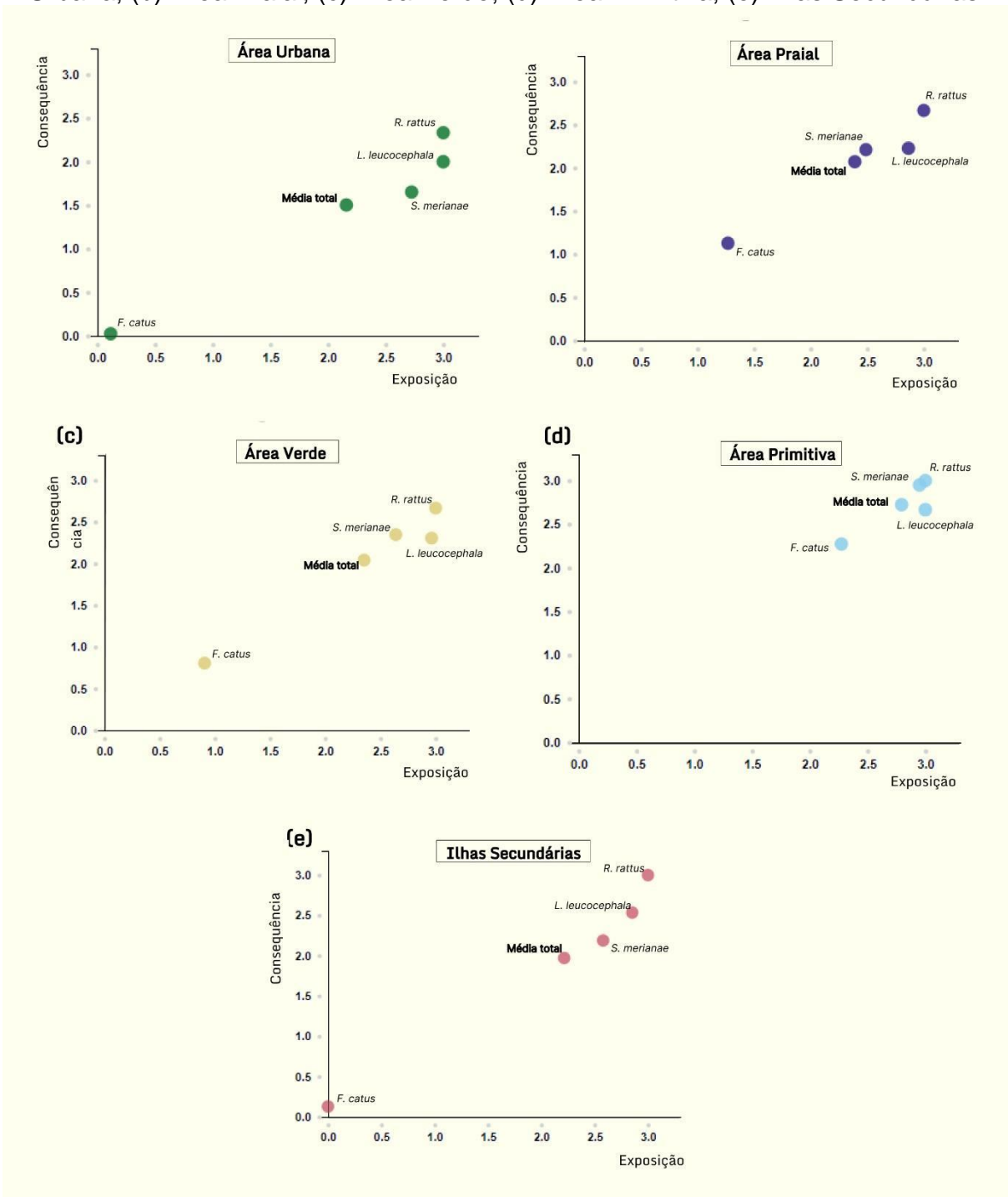
O modelo HRA gerou o risco cumulativo total das espécies exóticas sob as Unidades de Gestão (Fig. 15) e o risco específico para cada Unidade de Gestão (Fig. 16). A média total representa a soma das pontuações de risco cumulativo das Unidades de Gestão dividida pelo número de Unidades de Gestão. Assim, a Área Urbana foi a única Unidade de Gestão que não demonstrou alto risco de impacto. Ademais, a Área Primitiva foi a área com maior exposição e consequência e, dessa forma, mostrou ser a área com maior risco de perda de serviços ecossistêmicos a partir do impacto das espécies exóticas avaliadas. *F. catus* demonstrou ter os menores riscos de impactos sobre os habitats e *R. rattus* os maiores riscos de impactos, principalmente em função da distribuição geográfica de cada espécie.

Figura 15 – Risco de impacto das espécies exóticas sobre os ecossistemas de todas as Unidades de Gestão (separadas por cores, conforme a legenda) de acordo com o grau de exposição e consequência ao habitat.



Fonte: Autora (2022).

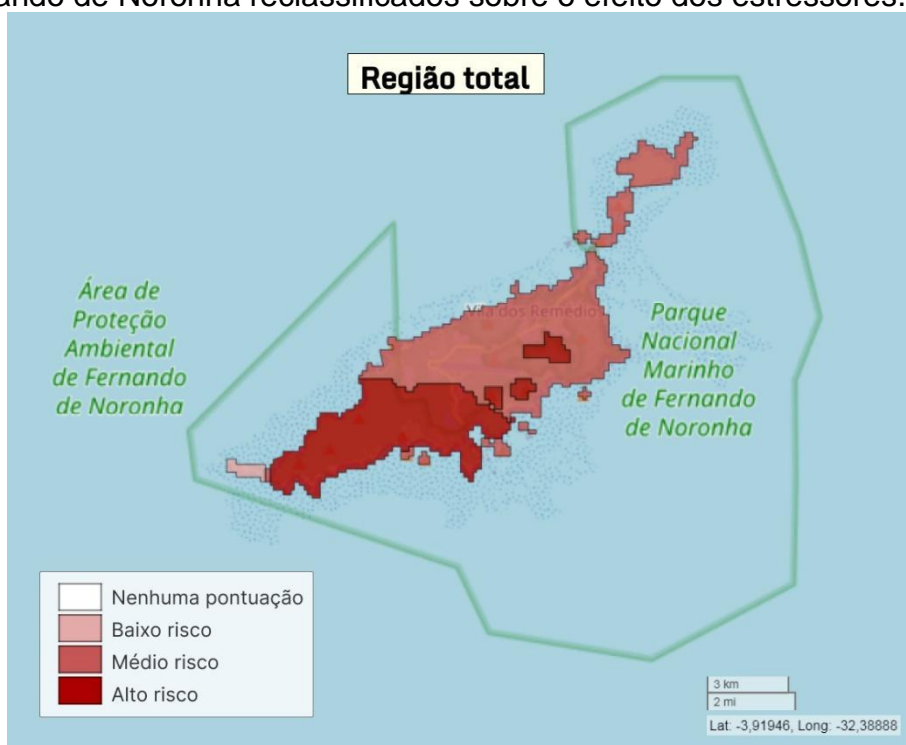
Figura 16 – Risco de impacto das espécies exóticas sobre os ecossistemas de cada Unidade de Gestão de acordo com o grau de exposição e consequência. (a) Área Urbana; (b) Área Praial; (c) Área Verde; (d) Área Primitiva; (e) Ilhas Secundárias.



Fonte: Autora (2022).

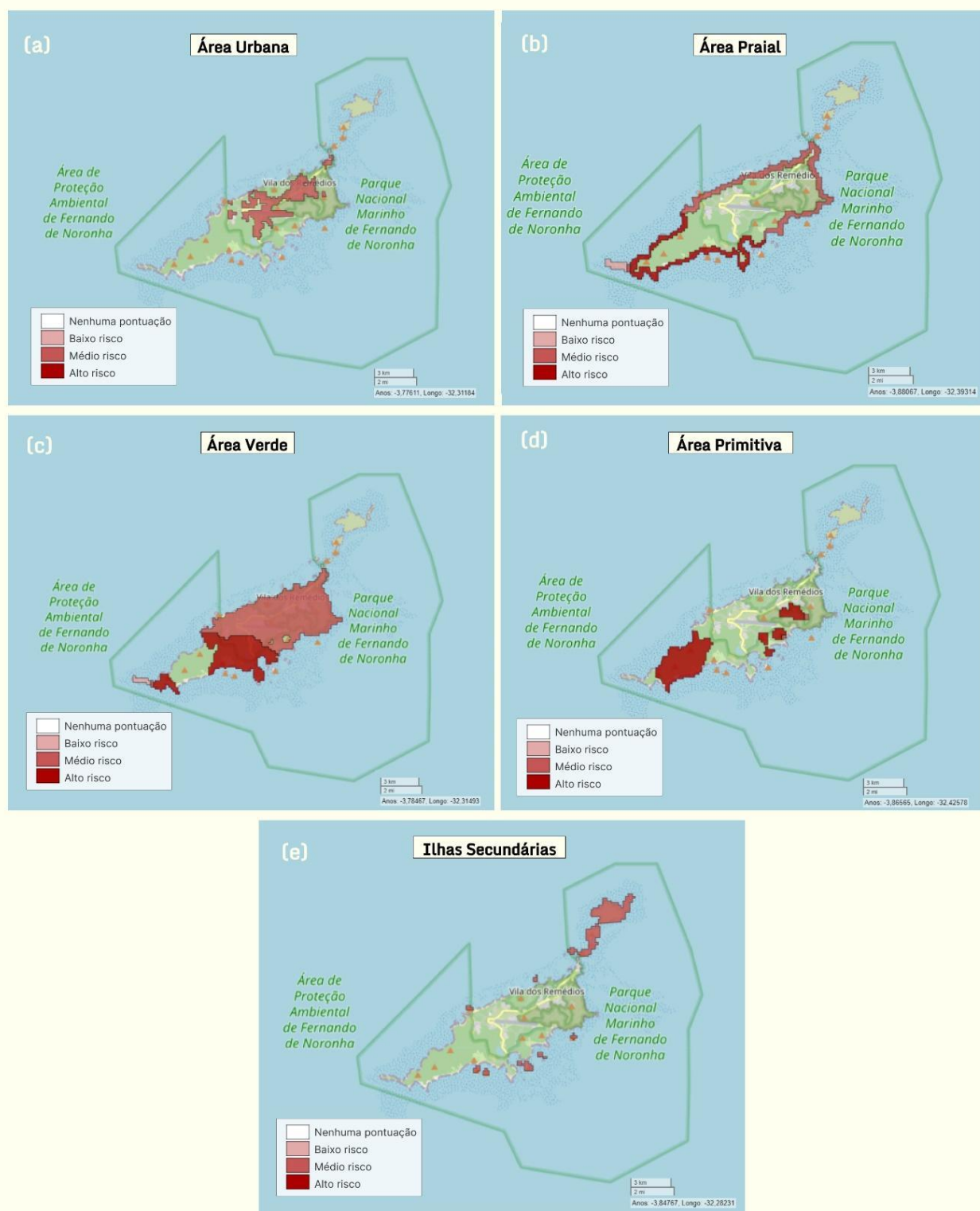
Para os resultados relativos ao risco cumulativo das Unidades de Gestão reclassificadas de todas as espécies exóticas, foram geradas as camadas *raster* e suas respectivas porcentagens de risco cumulativo total (Fig. 17; Fig. 18). Com isso, os resultados demonstraram que a Área Urbana registrou médios e baixos riscos (Fig. 18a). A Área Praial registrou alto risco em sua totalidade dentro do PARNAMAR da ilha principal (Fig. 18b). A Área Verde é a maior Unidade de Gestão dentre as cinco mapeadas, e possui a maior parcela da sua extensão com alto risco e médio risco (Fig. 18c). A Área Primitiva foi inteiramente classificada como tendo alto risco, visto que é onde coocorrem todas as espécies exóticas e efeitos danosos às Unidades de Gestão (Fig. 18d). Porquanto, as Ilhas Secundárias possuem níveis médios e baixos de riscos (Fig. 18e).

Figura 17 – Risco de impacto de todos os ecossistemas das Unidades de Gestão de Fernando de Noronha reclassificados sobre o efeito dos estressores.



Fonte: Autora (2022).

Figura 18 – Risco de impacto dos habitats reclassificados de cada Unidades de Gestão de Fernando de Noronha sobre o efeito dos estressores.



Fonte: Autora (2022).

4 DISCUSSÃO

De modo geral, foram observados efeitos negativos de todas as EEI consideradas neste estudo sobre os serviços ecossistêmicos, com destaque para os maiores efeitos negativos causados pelos mamíferos exóticos. Adicionalmente, foi observado maior impacto negativo de todas as EEI sobre os serviços de provisão e culturais, o que destaca a importância de ações de gestão com base ecossistêmica. Além disso, a Área Primitiva demonstrou o maior risco de impacto por EEI, reforçando a necessidade de ações efetivas para gestão dessas áreas, bem como a importância de definição de zonas de amortecimento com restrições de usos e atividades no âmbito do zoneamento ambiental constantes nos planos de manejo das Unidades de Conservação.

Os atores sociais de Fernando de Noronha são beneficiados, principalmente, por serviços que promovem o turismo. De todos os atores, destacam-se três principais: a comunidade local, a população flutuante e a Administração. A comunidade local se beneficia ao longo de todo o ano, visto que residem em Fernando de Noronha e usufruem dos serviços para sua sobrevivência e sustento. Por outro lado, a população flutuante se beneficia, principalmente, dos recursos naturais que subsidiam o turismo. Por fim, a Administração se beneficia do capital financeiro gerados por esses serviços. Embora a Área Primitiva tenha acesso restrito, promove importantes serviços e benefícios para todos os atores principais. Os atrativos turísticos de Fernando de Noronha mais procurados estão dentro do PARNAMAR (SILVA, 2003), de modo que, e em alguns locais da Área Primitiva, são realizadas atividades como trilhas e observação da vida nativa. Portanto, ações que visem o manejo de EEI podem ter efeitos positivos não apenas para as espécies nativas impactadas direta ou indiretamente por predação ou competição, mas também para os principais atores sociais através da manutenção e melhoria dos serviços ecossistêmicos.

A identificação dos ecossistemas como Unidades de Gestão, não só possibilitou integrar um conjunto de informações ecossistêmicas, que anteriormente eram trabalhadas como unidades integradas, mas também permitiu obter respostas para perguntas relacionadas à base de conhecimento dos sistemas em questão. Em suma, todas as Unidades de Gestão apresentaram particularidades em seus benefícios providos de seus habitats. Essa relação, pode ser o efetivo resultado da

metodologia aplicada de base ecossistêmica, permitindo o levantamento dos serviços fornecidos em todos os elementos funcionais. Uma possível expansão da Área Urbana, onde Soto (2009) alerta para as consequências dessa ação em ilhas oceânicas brasileiras, implicaria na problemática de prestação de serviços da Área Verde, uma vez que, em Fernando de Noronha, está entremeada com essa Unidade de Gestão e possui valores altos de benefícios para, pelo menos, 90% das categorias de atores sociais. Ademais, esse efeito danoso poderia comprometer também as áreas adjacentes, visto que os ecossistemas são interligados. Diante do exposto, caso essa tendência temporal de expansão urbana se mantiver, é pertinente a análise de possíveis consequências para os serviços ecossistêmicos, assim como a necessidade de estudos futuros sobre o assunto. Contudo, diferente das Unidades de Gestão aqui trabalhadas, os planos de manejo das Unidades de Conservação do arquipélago não consideram em seu zoneamento a gestão com base ecossistêmica e os seus respectivos serviços ecossistêmicos, carecendo de informações substanciais sob a ótica dos serviços ecossistêmicos e manejo de EEI. Portanto, em eventuais revisões de tais normativas se faz necessária a abordagem de utilização de Unidades de Gestão baseadas nos ecossistemas e seus respectivos serviços ecossistêmicos, visto que essa é a ferramenta para promover e/ou restringir usos e atividades diferenciais para cada região do arquipélago.

A qualidade e quantidade de respostas no questionário INSEAT não foram homogêneas para os diferentes grupos de serviços ecossistêmicos, nem para as diferentes EEI consideradas. De acordo com os resultados obtidos, os tamanhos amostrais das respostas levantadas referentes aos serviços de provisão e culturais foram maiores e de melhor qualidade (*i.e.* com maiores níveis de confiança). Embora tenha sido aplicado o vídeo de nivelamento de forma introdutória ao questionário, poucas foram as respostas para os serviços de regulação, possivelmente um reflexo da escassez de literatura científica referente ao assunto, ou menor conhecimento por parte dos especialistas consultados. Efeitos sobre a variabilidade genética foram os mais negativos em geral. Parker *et al.* (1999) já havia mencionado como os impactos de espécies exóticas invasoras sobre espécies nativas podem alterar as frequências alélicas de populações naturais sobre pressões seletivas ou alterar o curso da evolução de maneira mais sutil como através da fragmentação. Por mais que, para o arquipélago de Fernando de Noronha, não haja registros de utilização de

recursos genéticos para a criação de animais e plantas, aqui relatamos os efeitos negativos das exóticas sobre a diversidade de espécies selvagens.

F. catus e *R. rattus* foram as que tiveram os efeitos mais negativos de acordo com o INSEAT. Como demonstrado por Gaiotto *et al.* (2020), a presa primária de *F. catus* em Fernando de Noronha foi *R. rattus*, que contribui para a persistência e aumento da população de gatos. Adicionalmente, ambos são os principais predadores de espécies nativas (*e.g.* tanto de ninhos quanto indivíduos adultos) e agentes de doenças preocupantes para a população, contribuindo para tal resultado. Por outro lado, *L. leucocephala* teve efeitos positivos para desintoxicação e purificação de solos, ar e água, regulação de perigos e regulação de erosão. Porém, esses efeitos são uma consequência de estarem cumprindo e substituindo os papéis de outras espécies nesses serviços do arquipélago (MELLO e OLIVEIRA, 2016). Portanto, embora demonstrem efeitos positivos, é importante comparar, em estudos futuros, os efeitos dessa espécie nos serviços ecossistêmicos, com espécies nativas que competem pelos mesmos recursos. De modo geral, tais resultados demonstram a importância de um planejamento único para controle e/ou erradicação de EEI e melhoria dos serviços ecossistêmicos em Fernando de Noronha, dadas as interações de, por exemplo, predação, como identificado entre gatos e ratos (GAIOTTO *et al.*, 2020), e competição, como identificado entre a linhaça e espécies vegetais nativas (MELLO e OLIVEIRA, 2016).

Os serviços de provisão e culturais apresentaram os efeitos mais negativos para todas as EEI consideradas. Ambos os serviços são fortemente impactados pelas espécies exóticas, uma vez que possuem seus recursos (*e.g.* alimentares e turísticos) predados ou alterados. A provisão de recursos de diversidade genética é importante para a atração do turismo do arquipélago, uma vez que é em razão da atratividade da natureza preservada que ele ocorre, fornecendo experiências e vivências com o contato com espécies nativas (ZANIRATO e TOMAZZONI, 2014). No entanto, a identificação de efeitos menos negativos para serviços de regulação pode estar associada à limitação de literatura científica disponível e à dificuldade de atribuição de uma relação de causa e efeito entre EEI e serviços de regulação, o que pode ser observado no presente estudo através do baixo nível de confiança atribuído pelos respondentes na quantificação de impacto de EEI sobre os serviços ecossistêmicos desse grupo. Dessa forma, o presente estudo também aponta a

necessidade de estudos voltados a avaliar o impacto de EEI sobre serviços de regulação em Fernando de Noronha.

As EEI também apresentaram diferentes riscos de impacto às diferentes Unidades de Gestão consideradas. Embora, a Área Primitiva tenha apresentado o maior potencial de impacto. *F. catus* possui maior impacto na Área Primitiva, Área Praial e Área Verde. Na Área Urbana, a espécie possui impacto baixo por conta de já ser uma área perturbada e modificada (ANDRADE *et al.*, 2009), então a resposta ao estressor diminui. A zona de amortecimento mostra que embora a espécie não esteja distribuída nas Ilhas Secundárias, ainda pode trazer potenciais consequências, mesmo que indiretas (e.g. impacto na densidade populacional de aves). O impacto de *R. rattus* é maior nas Ilhas Secundárias, seguido da Área Primitiva, Área Praial e Área Verde. As ilhas de menor porte possuem populações reduzidas, empobrecimento de espécies e ausência de alguns grupos funcionais que agregam na vulnerabilidade desses ambientes (SIMBERLOFF, 2000; RUSSEL *et al.*, 2017). Quando não possuem outros estressores presentes (e.g. antropogênicos) que podem se igualar ao estresse de um invasor, a resistência desse ambiente à exposição da exótica invasora é ainda menor. Por isso, as Ilhas Secundárias possuem alto risco de impacto pelo roedor. Além disso, *R. rattus* é a EEI que causa maior impacto na Área Urbana, embora tenha menos impacto que as demais áreas. *S. merianae* apresentou maior impacto na Área Primitiva, seguido da Área Verde, Área Praial, Ilhas Secundárias e Área Urbana. Conforme mencionado por Abrahão (2019), a Área Urbana é uma Unidade que corrobora para a persistência da espécie e, juntamente às suas habilidades de natação, potencializam o resultado aqui obtido. Por fim, *L. leucocephala* demonstrou alto impacto em todas as Unidades de Gestão, mas suas consequências aos habitats foram baixas quando comparado com as demais exóticas. O resultado pode ser explicado pelo fato de os danos estruturais abióticos causados (e.g. serviços de regulação) serem potencialmente menores, visto que contribuem através da fotossíntese, redução de perigos e outras funcionalidades. Ainda, essa informação complementa os resultados equivalentes à espécie obtidos na ferramenta INSEAT, demonstrando que, apesar de possuir efeitos negativos sobre os serviços ecossistêmicos, ainda pode acrescentar em aspectos funcionais dos ecossistemas.

De acordo com o modelo HRA, todas as espécies apresentaram alto risco de impacto para todas as Unidades de Gestão, exceto *F. catus*. Os dados referentes ao

nível de exposição e consequência de *F. catus* podem ter sido baixos por conta da distribuição da espécie atribuída ao estudo. Foram utilizadas as mesmas coordenadas dos últimos estudos sobre a distribuição e abundância do gato-doméstico (DIAS *et al.*, 2017; FONSECA *et al.*, 2021), os quais trabalharam em pontos sistemáticos que representam um recorte da distribuição total da espécie no arquipélago. Além disso, conforme apontado pelos especialistas do INSEAT, *F. catus* possui um impacto negativo importante sobre diversos serviços e, portanto, pode-se considerar que sua intensidade de risco é maior do que a apresentada e que o resultado obtido pelo InVEST é uma consequência gerada pela qualidade dos dados incluídos na modelagem.

Contudo, o presente estudo representa a primeira abordagem interdisciplinar para estimar o impacto de espécies exóticas invasoras sobre os ecossistemas e serviços ecossistêmicos do arquipélago de Fernando de Noronha. A aplicação de técnicas complementares, permitiu fornecer uma matriz de serviços ecossistêmicos de acordo com cada Unidade de Gestão do arquipélago, bem como avaliar quantitativamente, e de forma objetiva, os efeitos negativos e positivos de EEI na área. Também, observou-se que todas as espécies exóticas invasoras avaliadas causam impactos nos serviços ecossistêmicos de Fernando de Noronha, embora os mamíferos exóticos sejam os que causam maior impacto. Além do mais, constatou-se que todas as Unidades de Gestão são impactadas pelas diferentes espécies exóticas invasoras, ainda que todas as categorias de atores sociais avaliados sejam beneficiadas pelos serviços ecossistêmicos de Fernando de Noronha.

5 CONCLUSÃO

A gestão de EEI é importante não somente para as espécies impactadas, mas para toda a população de Fernando de Noronha, dados os impactos que têm sobre os serviços ecossistêmicos e, conseqüentemente, para o bem-estar humano e geração de renda. Nesse contexto, futuras ações de gestão devem levar em consideração a garantia, manutenção e melhoria dos serviços ecossistêmicos como um fim para delineamento de uma gestão efetiva. A partir dos dados obtidos no presente estudo, sugerem-se ações para controle e/ou erradicação de EEI em todas as Unidades de Gestão, com priorização para a Área Primitiva, visto que possui maiores riscos de impacto pelas espécies exóticas invasoras. Adicionalmente, ações que visem a gestão de EEI deveriam ser delineadas com uma base ecossistêmica, considerando processos de interação entre as diferentes EEI, e entre essas e os ecossistemas e organismos nativos de Fernando de Noronha.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, C. R. **Estratégias para o manejo do teiú (*Salvator merianae* Duméril & Bibron, 1939), um lagarto invasor no arquipélago de Fernando de Noronha, PE, Brasil.** 2019. 125F. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária e Zootecnia). Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Epidemiologia Experimental Aplicada às Zoonoses, São Paulo, 2019. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/10/10134/tde-03072019-082955/publico/Carlos_Roberto_Abrahao_corrigida.pdf. Acesso em: 12 jul. 2022.
- ANDRADE, L. M. S. *et al.* Desafios para o futuro sustentável da ilha de Fernando de Noronha: a visão ecossistêmica da ocupação urbana. **Oculum Ensaios**, Campinas, v. 9, n. 10, p. 86-105, jan/dez, 2009. Disponível em: <https://periodicos.puc-campinas.edu.br/oculum/article/view/353/333>. Acesso em: 12 set. 2022.
- ASMUS, M.L. *et al.* **Gestão com Base Ecossistêmica (GBE) de Sistemas Marinhos e Costeiros:** influência na Ilha de Santa Catarina, SC. *In: XXVI Semana Nacional de Oceanografia.* UFPR, 2014.
- ASMUS, M. L. *et al.* Simples para ser útil: base ecossistêmica para o gerenciamento costeiro. **Sistema eletrônico de revistas UFPR**, v. 44, p. 4-19, fev., 2018.
- BIRDLIFE INTERNATIONAL. ***Elaenia ridleyana*. The IUCN Red List of Threatened Species).** 2016a. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22699268A93722423.en>. Acesso em: 10 nov. 2021.
- BIRDLIFE INTERNATIONAL. ***Vireo gracilirostris*. The IUCN Red List of Threatened Species.** 2016b. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22699268A93722423.en> Acesso em: 10 nov. 2021.
- BELLARD, C. *et al.* Global patterns in threats to vertebrates by biological invasions. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 283, jan. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2015.2454>. Acesso em: 10 nov. 2021.
- BOWEN L.; VAN VUREN D. Insular endemic plants lack defenses against herbivores. **Conservation Biology**, v. 11, p. 1249–1254, 1997.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Portaria MMA Nº 148.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 07 de julho de 2022. Disponível em: l1nq.com/fBm5G. Acesso em: 10 set. 2022.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Ação para o controle de gatos em Fernando de Noronha.** Fernando de Noronha, 2018. 12p. Disponível em: l1nq.com/xNzjA. Acesso em: 12 set. 2022.
- BRONDÍZIO, E. S. *et al.* (eds). **IPBES - Global assessment report of the Intergovernmental Science - Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.** IPBES secretariat, Bonn, Germany: 2019. Acesso em: 31 out. 2021.

BURGMAN, M. **Risks and decisions for conservation and environmental management**. Cambridge: Cambridge University Press, 488p., 2005.

BRADSHAW C. *et al.* Detailed assessment of the reported economic costs of invasive species in Australia. **Neobiota**, Pensoft Publishers, v. 67, p. 511-550, 2021. Disponível em: [10.3897/neobiota.67.58834](https://doi.org/10.3897/neobiota.67.58834). Acesso em: 10 nov. 2021.

CASTRO, J. W. A. Ilhas oceânicas da Trindade e Fernando de Noronha, Brasil: uma visão da Geologia Ambiental. **Revista da Gestão Costeira Integrada**. V.10., f.3, p. 2-18, fev., 2010. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3883/388340130004.pdf>. Acesso em: 22 set. 2022.

CLAUDINO-SALES, V. Brazilian Atlantic Islands: Fernando de Noronha and Atol das Rocas, Brazil. **Coastal World Heritage Sites**, v. 18, n. 7, p. 217, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-94-024-1528-5_32. Acesso em: 10 nov. 2021.

CLAVERO, M.; GARCIA-BERTHOU, E. Invasive species are a leading cause of animal extinctions. **TRENDS in Ecology and Evolution**, v. 20, n. 3, mar. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.01.003>. Acesso em: 10 nov. 2021.

COSTANZA, R. *et al.* Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go? **Ecosystem Services**, v. 28, p. 1–16, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>. Acesso em: 31 out. 2021.

COURCHAMP, F. *et al.* Invasion biology: specific problems and possible solutions. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 32, n. 1, p. 13–22, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.11.001>. Acesso em: 31 out. 2021.

DIAS, R. A. *et al.* Prospects for domestic and feral cat management on an inhabited tropical island. **Biological Invasions**, v. 19, n. 8, p. 2339–2353, mai. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1446-9>. Acesso em: 31 out. 2021.

ELLIFF, C. I. **Serviços ecossistêmicos prestados por recifes de coral nas ilhas de Tinharé e Boipeba, Baixo Sul da Bahia, Brasil**. 2014. 80f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014. Disponível em: l1nq.com/XH8wf. Acesso em: 10 nov. 2021.

ELLIFF, C. I.; KIKUCHI, R. K .P. The ecosystem service approach and its application as a tool for integrated coastal management. **Natureza & Conservação**, v. 13, n. 2, p. 105-111, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2015.10.001>. Acesso em: 9 de nov. 2021.

FREITAS, M. G.; MELLO, T. J. Status de invasão da flora exótica do arquipélago de Fernando de Noronha, PE, Brasil. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA E ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO ICMBIO: Pesquisas estratégicas para o desenvolvimento socioambiental, 10., 2018, Brasília. **Anais do X Seminário de Pesquisa e Encontro de Iniciação Científica do ICMBio**: Pesquisas estratégicas

para o desenvolvimento socioambiental. Cidade de publicação: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018. 62-63. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/pesquisa/seminarios-de-pesquisa/Anais_X_SPIC_versao_final.pdf. Acesso em: 12 jul. 2022.

FONSECA *et al.* Feral cat population rises on Fernando de Noronha archipelago: wildlife needs diferente cat control approaches, and needs it now. **Biodiversidade brasileira**. V. 11, f. 3, p. 1-9, set., 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v11i3.1888> Acesso em: 22 set. 2022.

GAIOTTO, J. V. *et al.* Diet of invasive cats, rats and tegu lizards reveals impact over threatened species in a tropical island. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 18, n. 4, p. 294–303, set. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2020.09.005>. Acesso em: 31 out. 2021.

HOFFMANN, M. B. **Espécies exóticas e serviços ecossistêmicos de Fernando de Noronha**. Youtube, 19 abr. 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=uDBdIYkwmaM>. Acesso em: 12 set. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Coordenação de População e Indicadores Sociais**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/fernando-de-noronha.html>. Acesso em: 08 nov. 2021.

INSTITUTO HÓRUS. **Base de dados Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental**. Florianópolis, 2004. Disponível em: <https://bd.institutohorus.org.br/>. Acesso em: 20 set. 2022.

JOLY, C. A. *et al.* (eds). **BPBES - 1º Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos**. Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos. São Carlos, SP: Editora Cubo, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/978-85-60064-88-5>. Acesso em: 10 nov. 2021.

JONES, H. P. *et al.* Invasive mammal eradication on islands results in substantial conservation gains. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 113, n. 15, p. 4033–4038, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1521179113>. Acesso em: 31 out. 2021.

LINS-E-SILVA, M. B. **Fernando de Noronha cinco séculos de história**. 1 ed. Celpe, 2007. Acesso em: 18 set. 2022.

MANCINI, P. L. *et al.* 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. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/bf03544338>. Acesso em: 31 out. 2021.

MARTINEZ-CILLERO, R. *et al.* A practical tool for assessing ecosystem services enhancement and degradation associated with invasive alien species. **Ecology and Evolution**, v. 9, n. 7, p. 3918–3936, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ece3.5020>. Acesso em: 31 out. 2021.

MELO, R. P. B. *et al.* Atypical *Toxoplasma gondii* genotype in feral cats from the Fernando de Noronha Island, northeastern Brazil. **Veterinary Parasitology**, v. 224, p. 92-95, mai. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2016.05.023>. Acesso em: 10 nov. 2021.

MELLO, T. J.; OLIVEIRA, A. D. Making a bad situation worse: an invasive species altering the balance of interactions between local species. **PLoS ONE**, v. 11, n. 3, p. 1-17, mar. 2016. Disponível em: <http://doi:10.1371/journal>. Acesso em: 10 nov. 2021.

MICHELETTI, T. *et al.* Terrestrial invasive species on Fernando de Noronha archipelago: what we know and the way forward. In: LOHDE, V. **Invasive species: ecology, impacts, and potential uses**. 1. ed. Campinas: Nova, 2020. cap. 3, p. 52-94. Disponível em: l1nq.com/mgfOC. Acesso em: 15 jul. 2022.

PARKER, I. M. *et al.* Impact: Toward a framework for understanding the ecological effects of Invaders. **Biological Invasions**, v. 1, n. 1, p. 3-19, mar., 1999. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1010034312781>. Acesso em: 12 set. 2022.

PINET, P. R. **Fundamentos de Oceanografia**. 1 ed. GEN LTC, 2017.

QGIS Development Team, 2016. QGIS User Guide. Open Source Geospatial Foundation. Disponível em: <https://qgis.org/en/site/>. Acesso em: 12 set. 2022.

REID, W. V. *et al.* (eds). **Millennium ecosystem assessment**. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Washington, DC: Island Press. 2005.

RUSSEL, J. C. *et al.* Invasive alien species on islands: impacts, distribution, interactions and management. **Environmental Conservation**, v. 44, n. 4, p. 359–370, jun. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0376892917000297>. Acesso em: 10 nov. 2021.

RUSSELL, J. C.; HOLMES, N. D. Tropical island conservation: rat eradication for species recovery. **Biological Conservation**, v. 185, p. 1–7, jan. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.01.009>. Acesso em: 31 out. 2021.

SCHERER, M. E. G.; ASMUS, M. L. Ecosystem-based knowledge and management as a tool for integrated coastal and ocean management: a Brazilian initiative. **Journal of Coastal Research**, v. 1, n. 75, p. 690–694, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.2112/SI75-138.1> Acesso em: 31 out. 2021.

SHARP, R. *et al.* **INVEST 3.9.1**. User's Guide, 2020. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund. Disponível em: <https://invest-userguide.readthedocs.io/en/latest/#introduction-and-getting-started>. Acesso em: 10 nov 2021.

SILVA, J. C. R. *et al.* Seroepidemiology of leptospirosis and molecular characterization of the first *Leptospira* strain isolated from Fernando de Noronha

archipelago, Brazil. **WileyOnline Library**, v. 68, n. 4, p. 2477-2488, jul. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/tbed.13915>. Acesso em: 12 jul. 2022.

SILVA, J. J. M. D. Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha: uso público, importância econômica e proposta de manejo. In: Simpósio de Áreas Protegidas – Conservação no Âmbito do Cone Sul, 2., 2003, Pelotas. **2º Simpósio de Áreas Protegidas – Conservação no Âmbito do Cone Sul**. Pelotas: 2003. p. 335-342. Disponível em: https://golfinhorotador.org.br/publications/Parnamar-FN_Uso-Publico_Importancia_Manejo.pdf. Acesso em: 12 set. 2022.

SIMBERLOFF, D. Global climate change and introduced species in United States forests. **The Science of the Total Environment**, v. 262, p. 253-261, mar. 2000. Disponível em: <http://www.climateimpacts.org/us-climate-assess-2000/sectors/forests/forests3.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2021.

SOTO, J. M. R. Ações antrópicas negativas nas ilhas oceânicas brasileiras. In: Mohr, V. L. *et al.* **Ilhas Oceânicas Brasileiras: da Pesquisa ao Manejo**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009, p. 330-347. Disponível em: l1nq.com/4MLUd. Acesso em: 22 set. 2022.

WICKHAM, H. **GGPLOT2: Elegant Graphics for Data Analysis**. 2 ed. New York, Springer-Verlag, 2016. Acesso em: 18 set. 2022.

WITTENBERG, R., COCK, M.J.W. (eds.) **Invasive alien species: a toolkit of best prevention and management practices**. CAB International, Wallingford, Oxon, UK, xvii - 228. 2001. Acesso em: 10 nov. 2021.

ZANIRATO, S. H.; TOMAZZONI, E. L. A sustentabilidade do turismo em Fernando de Noronha (PE-Brasil). **Turydes**, v. 7, p. 1-24, dez., 2014. Disponível em: <http://www.eumed.net/rev/turydes/17/noronha.html>. Acesso em: 22 set. 2022.

**APÊNDICE A – MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO ÍNDICE DE IMPACTO DE CADA
EEI PARA CADA SERVIÇO ECOSISTÊMICO**

Serviço	Gato	±	Rato	±	Teiú	±	Linhaça	±	Média
Ocupação espacial	2,11	0,84	2,91	0,30	2,50	0,53	2,00	0,55	2,38
Propagação	2,13	1,03	2,75	0,58	2,00	0,82	1,37	1,24	2,06
Esforços	2,42	0,76	2,54	0,58	2,65	1,00	1,37	1,44	2,25
Legislação	1,92	0,79	1,21	0,66	1,40	0,94	0,77	0,61	1,32
Engajamento	1,58	0,51	1,58	0,67	1,00	0,00	0,89	0,93	1,26
Provisão									
Alimentos	-1,73	2,90	-6,00	4,24	-2,19	2,07	-0,16	3,88	-2,52
Silvestres	-3,09	4,16	-5,18	3,92	-2,19	5,18	-1,66	1,84	-3,03
Materiais	-1,50	2,80	-3,50	3,51	-1,13	2,10	-0,58	3,98	-1,68
Água	-1,18	1,99	-3,90	3,18	-1,75	2,71	-2,72	3,28	-2,39
Genética	-5,32	4,01	-6,36	5,49	-6,00	3,93	-3,38	2,31	-5,26
Média de Provisão	-2,56		-4,99		-2,65		-1,70		-2,97
Regulação									
Desintoxicação	-1,65	3,10	-4,50	4,00	-0,67	2,24	1,50	5,28	-1,33
Clima	-0,20	0,63	-0,80	1,93	-0,89	2,03	0,24	2,00	-0,41
Perigos	-0,18	0,60	-0,80	1,93	-0,87	2,04	1,50	5,28	-0,09
Polinização	-3,76	4,46	-1,68	4,14	-1,17	3,64	-1,39	1,20	-2,00
Ruídos	-0,20	0,63	-0,80	1,93	-0,83	2,00	-0,36	0,81	-0,55
Erosão	-1,27	2,76	-2,45	4,13	-1,11	2,32	1,26	5,60	-0,89
Média de Regulação	-1,21		-1,84		-0,92		0,46		-0,88
Cultural									
Senso de pertencimento	-2,76	3,86	-3,00	4,00	-1,44	1,40	-1,10	1,02	-2,07
Estética	-2,75	3,87	-3,75	3,95	-0,88	2,10	-1,71	1,38	-2,27
Turismo	-4,09	3,89	-5,70	4,05	-0,81	3,76	-1,93	1,19	-3,13
Saúde	-2,21	3,72	-6,75	3,82	-2,25	3,41	-1,57	1,21	-3,19
Educação	-4,00	4,83	-4,53	5,12	-2,80	4,06	-1,83	1,47	-3,29
Média de Cultural	-3,16		-4,75		-1,64		-1,63		-2,79
Média Global	-2,24		-3,73		-1,68		-0,87		-2,13

**APÊNDICE B – MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO SCORE DE IMPACTO DE CADA EEI PARA CADA SERVIÇO
ECOSSISTÊMICO**

Serviço	Gato	±	Rato	±	Teiú	±	Linhaça	±	Média
Ocupação espacial	2,11	0,84	2,91	0,30	2,50	0,53	2,00	0,55	2,38
Propagação	2,13	1,03	2,75	0,58	2,00	0,82	1,37	1,24	2,06
Esforços	2,42	0,76	2,54	0,58	2,65	1,00	1,37	1,44	2,25
Legislação	1,92	0,79	1,21	0,66	1,40	0,94	0,77	0,61	1,32
Engajamento	1,58	0,51	1,58	0,67	1,00	0,00	0,89	0,93	1,26
Alimentos	-0,77	1,33	-1,86	1,45	-0,88	0,79	-0,17	1,54	-0,92
Silvestres	-1,18	1,47	-1,69	1,24	-0,94	1,86	-0,64	0,97	-1,11
Materiais	-0,59	1,02	-1,09	1,16	-0,44	0,73	-0,33	1,72	-0,61
Água	-0,50	0,92	-1,36	1,12	-0,75	1,16	-0,72	0,96	-0,83
Genética	-2,18	1,45	-2,02	1,78	-2,38	1,27	-1,24	1,36	-1,95
Desintoxicação	-0,69	1,23	-1,55	1,35	-0,22	0,83	0,28	1,40	-0,54
Clima	-0,10	0,32	-0,27	0,65	-0,33	0,71	0,11	0,76	-0,15
Perigos	-0,09	0,30	-0,27	0,65	-0,32	0,71	0,22	1,41	-0,12
Polinização	-1,43	1,55	-0,65	1,34	-0,39	1,27	-0,42	0,60	-0,72
Ruídos	-0,10	0,32	-0,27	0,65	-0,31	0,68	-0,11	0,31	-0,20
Erosão	-0,45	0,93	-0,82	1,31	-0,39	0,86	0,20	1,55	-0,37
Senso de pertencimento	-1,25	1,39	-1,09	1,38	-0,56	0,56	-0,47	0,51	-0,84
Estética	-1,28	1,46	-1,32	1,35	-0,38	0,79	-0,64	0,72	-0,90
Turismo	-1,61	1,34	-1,91	1,36	-0,31	1,33	-0,71	0,61	-1,14
Saúde	-0,98	1,41	-2,23	1,29	-0,81	1,13	-0,63	0,62	-1,16
Educação	-1,55	1,64	-1,46	1,74	-1,04	1,36	-0,69	0,73	-1,19
Média SE	-0,92	-	-1,24	-	-0,65	-	-0,37	-	-0,80

ANEXO

Anexo – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do estudo: Impacto de espécies exóticas invasoras nos serviços ecossistêmicos de Fernando de Noronha.

Pesquisador responsável: Guilherme Tavares Nunes.

Instituição/Departamento: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Departamento Interdisciplinar.

Telefone e endereço postal completo: Avenida Tramandaí, 976, Imbé, RS, CEP 95625-000; Telefone: (51) 3308-1275; Email: tavares.nunes@ufrgs.br.

Local da coleta de dados: Via internet.

Eu, Guilherme Tavares Nunes, responsável pela pesquisa **Impacto de espécies exóticas invasoras nos serviços ecossistêmicos de Fernando de Noronha**, o(a) convido a participar como voluntário(a) deste nosso estudo.

Esta pesquisa pretende investigar o efeito de espécies exóticas invasoras sobre os serviços ecossistêmicos do arquipélago, considerando os sistemas de manutenção das comunidades locais e da população flutuante da ilha, e realizando uma avaliação multissetorial. Acreditamos que ela seja importante porque auxiliará no embasamento à tomada de decisões referente ao manejo de espécies exóticas invasoras, a partir de uma análise mais representativa dos pontos de vista sobre a problemática.

Para sua realização será feito o seguinte: levantamento de serviços ecossistêmicos; avaliação de efeitos de espécies exóticas invasoras sobre os serviços ecossistêmicos; e mapeamento do risco de perda de serviços ecossistêmicos. Sua participação constará de fornecer sua perspectiva sobre a relação de espécies exóticas invasoras e serviços ecossistêmicos em Fernando de Noronha, a partir do conhecimento sobre a literatura científica, ou sobre a vivência no arquipélago. Na prática, será aplicado questionário através de plataforma virtual. Os dados serão arquivados em banco de dados específico do projeto na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Quanto aos riscos, é possível que as informações prestadas desagradem gestores ou o senso da comunidade local, embora sejam importantes para uma análise de pontos de vista mais representativos sobre a problemática central do projeto.

Durante todo o período da pesquisa você terá a possibilidade de tirar qualquer

Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS: Av. Paulo Gama, 110, sala 311 - 90040-060 – Porto Alegre - RS - Prédio Anexo I da Reitoria. Telefone: (51) 3308-3738 - E-mail: etica@propeq.ufrgs.br

dúvida ou pedir qualquer outro esclarecimento. Para isso, entre em contato com algum dos pesquisadores (tavares.nunes@ufrgs.br) ou com o Comitê de Ética em Pesquisa (etica@propesq.ufrgs.br).

Você tem garantida a possibilidade de não aceitar participar ou de retirar sua permissão a qualquer momento, sem nenhum tipo de prejuízo pela sua decisão.

As informações desta pesquisa serão confidenciais e poderão ser divulgadas, apenas, em eventos ou publicações, **sem a identificação dos voluntários**, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre sua participação.

Autorização

Eu, _____,
após a leitura ou a escuta da leitura deste documento e ter tido a oportunidade de conversar com o pesquisador responsável, para esclarecer todas as minhas dúvidas, estou suficientemente informado, ficando claro para que minha participação é voluntária e que posso retirar este consentimento a qualquer momento sem penalidades ou perda de qualquer benefício. Estou ciente também dos objetivos da pesquisa, dos possíveis danos ou riscos deles provenientes e da garantia de confidencialidade. Diante do exposto e de espontânea vontade, expresso minha concordância em participar deste estudo e assino este termo em duas vias, uma das quais foi-me entregue.

Assinatura do voluntário

Assinatura do responsável pela obtenção do TCLE

Local e data