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

Material Suplementar Ambiente Marinho

Tema: Monitoramento Remoto da Megafauna

RT- 55/ OUT 26

RA2025 PMBA/FEST-UFES

Vitória

Outubro de 2026

EQUIPE TÉCNICA

Agnaldo Silva Martins (coordenador)

João Batista Teixeira

Amanda Baron Di Giacomo

Lorena Oliveira do Nascimento

Nelson Barcelos

Jordana Borini Freire

Daniel Von Sperling Venturini

Camila Ribeiro

César Xavier

Victoria Tagliacarne

Ana Júlia Oliveira Vianna

Marcos Eduardo Dias Rocha

SUMÁRIO

1 HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL 4

2 METODOLOGIA 4

2.1 COLETA 5

2.1.1 Dronemonitoramento 5

2.1.2 Dronemonitoramento de Longo Alcance 6

2.1.3 Rov-monitoramento 9

2.2 ANÁLISE 10

2.2.1 Dronemonitoramento 10

2.2.2 Dronemonitoramento de Longo Alcance 11

2.2.3 Rov-monitoramento 12

2.3 HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS 23

3 RESULTADOS DOS INDICADORES 24

3.1 VULNERABILIDADE POPULACIONAL DA TONINHA (*Pontoporia blainvillei*) 25

3.1.1 Dronemonitoramento 25

3.1.2 Dronemonitoramento de Longo Alcance 30

3.1.3 Caracterização do tipo de fundo marinho (ROV) 35

3.2 INTEGRIDADE DOS HOTSPOTS DE MEGAFAUNA MARINHA 37

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS ANOS DE MONITORAMENTO ACERCA DOS INDICADORES OBSERVADOS E O AMBIENTE MONITORADO 40

5. ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS 43

6. REFERÊNCIAS 43

1 HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL

A malha e a frequência amostrais do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I (PMBA/Fest-UFES) passaram por modificações ao longo do tempo, visando seu aperfeiçoamento para atendimento aos objetivos do Programa. Estas alterações foram orientadas pela Câmara Técnica da Biodiversidade (CTBio) e aprovadas pelo Comitê Interfederativo (CIF), por meio de: (1) Ofício SEI nº 1/2020-CTBio/DIBIO/ICMBio, de outubro de 2019 (para o período de transição), (2) Proposta Técnica de continuidade do monitoramento, apresentadas e aprovadas em 2022, visando o "Novo Ciclo do PMBA/Fest-UFES" e (3) Ofício SEI Nº 32/2024/CTBio/DIBIO/ICMBio, Nota Técnica nº 1/2024-CTBio/DIBIO/ICMBio e Deliberação CIF nº 803, de 08 de agosto de 2024.

As modificações implementadas encontram-se nos seguintes Materiais Suplementares, os quais contemplam todo o período de execução do PMBA/Fest-UFES: 1) MS – Malha amostral, que apresentam as estações amostrais executadas ao longo do tempo por todos os Anexos/Temas, separados por cada marco temporal histórico mencionado acima ("Ano 1", "Transição", "Novo Ciclo" e "Deliberação 803"); 2) Frequência amostral, o qual contempla o histórico da periodicidade amostral (seguindo os mesmos Anexos/Temas contemplados no item 1) e 3) MS – Mapas históricos das malhas amostrais, que apresenta os mapas das malhas amostrais (incluindo as estações) executadas por todos os Anexos/Temas.

Segue o detalhamento temporal, como forma de esclarecer a execução dentro dos marcos históricos: "Ano 1" (setembro de 2018 e setembro de 2019); "Transição" (outubro de 2019 e julho de 2022); "Novo Ciclo" (agosto de 2022 a setembro de 2024) e "Deliberação 803" (outubro de 2024 a março de 2026). O grupo da Ecotoxicologia é uma exceção a esta historicidade, pois iniciou a amostragem referente ao "Novo Ciclo" em janeiro de 2023 e segue com a "Deliberação 803", na periodicidade já informada.

2 METODOLOGIA

A metodologia apresentada contempla o escopo em vigência no momento de entrega deste relatório, ou seja, as amostragens e análises previstas para o Novo Ciclo do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática – PMBA/Fest-UFES submetidas à Fundação Renova através do FORMULÁRIO DE APRESENTAÇÃO DE PLANO DE TRABALHO em agosto de 2022 (e dezembro de 2022 para o Tema Ecotoxicologia) e na Deliberação CIF nº 803, de 08 de agosto de 2024. Após a descrição da metodologia implementada, será apresentado um breve descritivo sobre as modificações metodológicas (parâmetros, análise de parâmetros ou grupo de parâmetros, dentre outros) que ocorreram ao longo da evolução do PMBA/Fest-UFES a fim de determinar os indicadores.

A megafauna marinha, bem como os habitats críticos na área de influência da pluma de sedimentos do rio Doce e adjacências foram monitorados por meio de duas metodologias de monitoramento remoto,

sendo elas do dronemonitoramento e do ROV (*Remotely Operated Underwater Vehicle*), a fim de entender os padrões de abundância, as estratégias de uso de habitat e a estrutura populacional, especialmente dos cetáceos que utilizam a região.

2.1 COLETA

2.1.1 Dronemonitoramento

Entre janeiro de 2019 e junho de 2023 foram realizadas 48 campanhas de dronemonitoramento, com periodicidade mensal. O início do transecto foi realizado em ponto fixo. Os pontos de decolagem eram localizados na praia de Regência, próximo à foz do rio Doce e na Reserva Biológica de Comboios, em Linhares; e na praia de Coqueiral de Aracruz, na Área de Proteção Ambiental Costa das Algas. Os pontos de decolagem eram chamados de Doce, Comboios e Piraquê, respectivamente. Nos pontos localizados no município de Linhares, por serem mais próximos à foz do rio Doce em um local com maior influência da pluma do rio, foram realizados dois (02) transectos dentro da área de amostragem. Cada um dos transectos percorreu 8,2 km, varrendo uma área de 4km^2. Em Aracruz, na foz do rio Piraquê-Açu, a qual é considerada uma área controle, somente um (01) transecto foi realizado com as mesmas características de amostragem dos outros pontos (Figura 1). O padrão de voo que foi definido baseado na maior probabilidade de detectabilidade da megafauna marinha da região (BARRETO et al., 2021).

Os transectos foram desenhados de forma a obter-se a maior área varrida, como menor sobreposição. No caso dos pontos de Linhares, uma réplica foi considerada completa quando os dois (02) transectos – denominados Norte e Sul – foram finalizados. Em Aracruz, o transecto é chamado de Único. Em ambos os pontos de amostragem, o transecto foi concluído em um único voo. Cada voo realizado durante o transecto teve duração de até 16 minutos, quando um grupo de cetáceo era avistado a observação poderia durar até 4 minutos, totalizando o tempo máximo de 20 minutos de voo, considerado o tempo seguro para utilização do drone em condições adversas.

O padrão de voo foi definido baseado na maior probabilidade de detectabilidade da megafauna marinha, com a maior área de varredura possível. A uma altura do drone de 50 m em relação a superfície marinha, com o ângulo de inclinação da câmera de -27°, o deslocamento do drone na posição lateral, com velocidade de 40 km/h, no modelo de transecto norte/sul, obteve-se o padrão de voo ideal para o monitoramento de megafauna marinha em ambiente natural, após consecutivos testes de detectabilidade em situação controlada.

As campanhas foram realizadas mensalmente, em uma janela de oito (08) dias, com até seis (06) dias efetivos de amostragem. O esforço de coleta foi realizado em somente um ponto de decolagem em cada dia. Cada área amostrada teve o mínimo de seis (06) réplicas completas dentro de cada campanha. Após o cumprimento das réplicas de todos os transectos pré-definidos (que totalizam 30 voos), outros voos foram realizados, quando possível, com o objetivo de analisar com maior precisão o comportamento dos animais que ocupam a região, principalmente os cetáceos. O esforço de campo

não ocorreu, ou foi interrompido, quando a Escala Beaufort estava igual ou superior a quatro (04), ou com vento na superfície acima de 26 km/h, condições que comprometem a detecção das espécies alvo deste estudo.

Figura 1: Equipe em atuação durante o dronemonitoramento a partir de ponto-fixo.



2.1.2 Dronemonitoramento de Longo Alcance

Desde julho de 2023 as campanhas de dronemonitoramento foram adaptadas metodologicamente de forma a alcançar áreas mais distantes. O objetivo principal, neste novo modelo metodológico foi estimar o tamanho populacional da toninha, *Pontoporia blainvillei*, na área de manejo da toninha conhecida como *Franciscana Management Area Ia* (FMA Ia), já que esta é uma das populações mais ameaçadas de extinção de todo Oceano Atlântico Sudoeste, além de ser isolada genética e geograficamente das demais (SECCHI et al., 2010; CUNHA et al., 2014; SUCUNZA et al., 2023), sendo considerada atualmente uma subespécie, *Pontoporia blainvillei pukusi* (NARA et al., 2024). Através de voos sistemáticos em transectos paralelos ao longo da costa, foram realizadas campanhas a cada trimestre, sendo o primeiro trimestre de cada ano considerado como estação verão. A primeira campanha do novo método, iniciada em julho de 2023, foi denominada 2023_03, evidenciando que iniciamos no inverno.

O início dos transectos foi realizado a partir de 63 pontos, com distâncias de 3 a 4 km entre si. Os transectos foram desenhados paralelamente entre si, de forma perpendicular à linha de costa (Figura 2). Os pontos de decolagem foram distribuídos ao longo da área de distribuição da toninha na FMA Ia (CUNHA et al., 2014), desde a Praia do Gramuté, em Santa Cruz no litoral de Aracruz, até Itaúnas no município de Conceição da Barra, na divisa com a Bahia, cobrindo uma área de aproximadamente 200 km de linha de costa do litoral norte do ES. A área total de amostragem foi de 1.382 km^2 e abrangeu a área de ocorrência costeira da toninha, *Pontoporia blainvillei*, (até 7 km de distância da costa). A faixa de varredura com o drone foi de 174 m e teve como objetivo a amostragem na ida e na volta, totalizando uma área amostral esperada de 155 km^2, 11% da área de estudo.

O padrão de voo foi definido baseado na maior probabilidade de detectabilidade da toninha, com a maior área de varredura possível, e no maior alcance permitido com os equipamentos utilizados. A uma altura do Drone de 80 m em relação a superfície marinha, com o ângulo de inclinação da câmera de -40°, o deslocamento do Drone na posição lateral, com velocidade média de 40 km/h, no modelo de transecto oeste/leste, obteve-se o padrão de voo ideal para o monitoramento de toninha em ambiente natural.

O esforço de campo não ocorreu, ou foi interrompido, quando a Escala Beaufort estava superior a três (03), ou o vento na superfície estava acima de 20 km/h. O monitoramento foi realizado por duas a três equipes concomitantes, sendo a equipe composta pelas seguintes atribuições: piloto, copiloto e observador de fauna (Figura 3).

No presente relatório são apresentados os dados das onze campanhas desta nova metodologia, realizadas do terceiro trimestre de 2023 (julho a agosto) até o **primeiro trimestre de 2026** (janeiro a março), contemplando os períodos secos e chuvosos dos anos.

Figura 2:Transectos realizados durante o dronemonitoramento de longo alcance referente à toninha (*Pontoporia blainvileii).* distribuídos ao longo do litoral norte capixaba (Aracruz a Itaúnas).

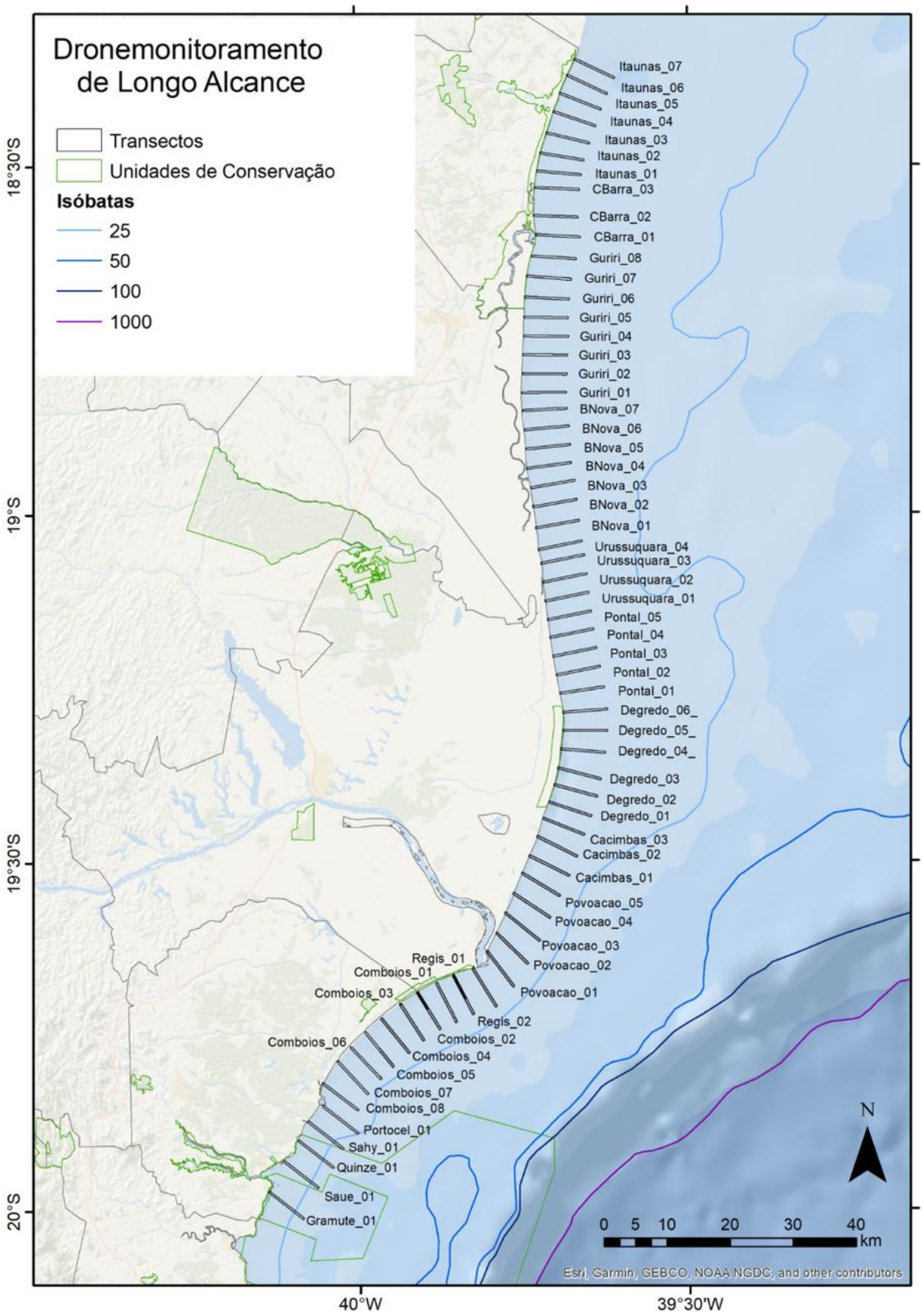


Figura 3:Equipe em atuação durante o dronemonitoramento de longo alcance.



2.1.3 Rov-monitoramento

Durante o período de boa visibilidade da água (nos meses de verão, entre dezembro e março) foram realizadas campanhas anuais de mergulhos com veículos remotamente operados (ROV). O modelo BlueROV2, da fabricante Blue Robotics, foi considerado o mais apropriado devido à capacidade para operações em águas rasas a moderadas compreendidas na plataforma interna com profundidade variando entre 13 e 75 metros, com cabo umbilical de até 300m disponível e capacidade de filmagem em Full HD Figura 4). O equipamento é pilotado com um controle remoto conectado a um computador, em que o operador do ROV visualiza o que está à frente do equipamento durante o deslocamento no transecto, enquanto informa sobre os eventos ou objetos de interesse para um anotador que registra a hora e o ponto exato de cada observação, utilizando um GPS subaquático. Nestas operações, foram realizados transectos com aproximadamente 3 minutos de duração cada, navegando linearmente. Durante a análise dos vídeos, o tempo de filmagem foi registrado com o objetivo de obter o esforço amostral. O tempo foi calculado a partir do momento que o equipamento tocou o fundo. Cada mergulho realizado representa uma vídeo-amostra, a ser analisada em laboratório. A análise de integridade dos habitats foi realizada através da aplicação do Índice de Integridade Ambiental, considerando a avaliação de critérios estruturais, biológicos e antropogênicos dos pontos monitorados.

Os pontos monitorados pelo ROV foram distribuídos entre os municípios de Aracruz e Conceição da Barra, a fim de identificar e descrever os tipos de fundo das regiões com registros de comportamento alimentar da megafauna, ou áreas de agregação (GIACOMO et al., 2021). Ao todo são 16 pontos de monitoramento, em que são realizadas no mínimo 6 vídeoamostras de aproximadamente 3 minutos em transectos independentes.

Figura 4:Operação de coleta de dados com ROV.



2.2 ANÁLISE

2.2.1 Dronemonitoramento

Cada transecto realizado representou uma amostra, a qual foi analisada em laboratório por um pesquisador de fauna. Durante a análise dos vídeos, o tempo de início e de final de todas as avistagens (podendo ser mais de uma por tempo total de vídeo), foi registrado com o objetivo de obter o tempo de vídeo que deverá ser editado para futuras análises de caracterização do grupo observado. Após a detecção do tempo (minutos e segundos) de vídeo com registro de cada grupo de cetáceos, foi realizada uma edição do vídeo, com um recorte somente do momento da observação. Para cada vídeo foram registrados a data e o número do voo, bem como a área varrida e as observações de fauna.

Os vídeos realizados durante os transectos foram analisados sempre pelo mesmo pesquisador, previamente capacitado. Os registros de megafauna foram todos validados por outro pesquisador especialista. Foi utilizada uma (01) Ficha de Análise de Vídeos para o registro de cada grupo analisado, na qual era registrada o tempo (em minutos e segundos) de início e o final da avistagem. Caso outro grupo fosse observado durante o mesmo transecto, era registrado em outra ficha. Além do tempo de início e do final da avistagem foi registrada também a posição geográfica de início e final da observação.

Foi considerado “grupo” qualquer observação a partir de um (01) indivíduo. Para os grupos de toninha (*Pontoporia blainvillei*), foram confirmadas as espécies e o número de animais encontrados em cada observação, diferenciando em adultos, juvenis e filhotes. O comportamento (Deslocamento, Alimentação e Interação) foi registrado sempre que possível.

2.2.2 Dronemonitoramento de Longo Alcance

Cada transecto realizado representou uma amostra, a qual foi analisada em laboratório por um pesquisador de fauna. Durante a análise dos vídeos o tempo de início e de final de todas as avistagens (podendo ser mais de uma por tempo total de vídeo), foi registrado com o objetivo de obter o tempo de vídeo que deverá ser editado para futuras análises de caracterização do grupo observado. Após a detecção do tempo (minutos e segundos) de vídeo com registro de cada grupo de cetáceos, foi realizada uma edição do vídeo, com um recorte somente do momento da observação. Para cada vídeo foram registrados a data e o número do voo, bem como a altitude, velocidade do voo, ângulo da câmera, posição do Drone, registro de embarcação, atividades antrópicas detectadas, e demais observações.

Os vídeos realizados durante os transectos foram analisados sempre pelo mesmo pesquisador, previamente capacitado. Os registros de megafauna foram todos validados por outro pesquisador especialista. Foi utilizada uma (01) Ficha de Análise de Vídeos para o registro de cada grupo analisado, na qual era registrada o tempo (em minutos e segundos) de início e o final da avistagem. Caso outro grupo fosse observado durante o mesmo transecto, era registrado em outra ficha. Além do tempo de início e do final da avistagem foi registrada também a posição geográfica de início e final da observação. Foi considerado “grupo” qualquer observação a partir de um (01) indivíduo.

Para cada grupo de toninha foi calculada a distância da costa e a distância até a transecção. A probabilidade de detecção foi estimada usando amostragem de distância covariável convencional e múltipla (BUCKLAND et al. 2001). Na amostragem de distâncias por transecções lineares, um observador percorre uma região retangular e registra a distância perpendicular ao transecto para cada animal detectado. No caso das amostragens realizadas por drone, o formato da imagem assume um formato de trapézio, devido ao ângulo de inclinação da câmera (BARRETO et al., 2021). As análises exploratórias indicaram uma detecção perfeita em todas as distâncias da imagem, formando uma curva de detecção uniforme.

Dado que uma toninha estaria dentro do alcance visual de um observador, a probabilidade de ele estar na superfície durante a passagem da aeronave está relacionada com o tempo médio que ele passa na superfície, o tempo médio gasto abaixo da superfície e a janela durante a qual está dentro do alcance visual de um observador (BARLOW et al., 1988). Para estimar o tempo médio de mergulho e superfície da toninha na FMA Ia, foram analisadas as vídeo-amostras coletadas através do dronemonitoramento realizado na região costeira da foz do rio Doce entre 2018 e 2023.

Devido ao formato em trapézio da imagem capturada pelo drone, um indivíduo fica disponível por um tempo diferente para o observador a depender da posição dentro da imagem (BARRETO et al, 2021). Desta forma, foi calculado uma probabilidade de detecção diferente para cada faixa de varredura. A

incerteza, por sua vez, foi calculada a partir da estimativa de disponibilidade pela estimativa de abundância (CRESPO, 2009).

2.2.3 Rov-monitoramento

A identificação dos tipos de habitats foi realizada a partir do substrato predominante e/ou dos organismos predominantes, descrevendo os tipos de fundo nas regiões com registros de agregações de megafauna. Os substratos foram classificados em sete (07) morfotipos principais: areia; areia e lama; areia com fragmentos de conchas calcárias; estruturas recifais; briozoários, esponjas e algas; lama; e rodolitos. Com o foco na análise da vulnerabilidade populacional da toninha a correlação espacial de Person foi realizada entre os habitats identificados com o ROV, complementados com a distribuição das fácies sedimentares na plataforma continental e a geomorfologia costeira de Vieria (2017), e a densidade kernel dos pontos de registro da toninha, *Pontoporia blainvillei*.

Para a análise de integridade dos ambientes hotspots para megafauna marinha, foi desenvolvido um índice de integridade ambiental, fundamentado na avaliação da estrutura, composição e em possíveis perdas das funções ecológicas dos habitats. Na avaliação estrutural foram definidas 13 variáveis, incluindo a presença de rodolitos, corais, estruturas rochosas e/ou biológicas, elementos artificiais, características como areia, lama, marcas de fundo, algas, depressões ou saliências no relevo, tocas, cavidades e rugosidade no relevo. Estas variáveis são representativas na avaliação da integridade estrutural, a qual abrange o aspecto tridimensional dos ecossistemas, a complexidade estrutural e os elementos bióticos e abióticos que constituem o ambiente, proporcionando suporte à composição e ao funcionamento do ecossistema (HILL et al.,2022).

O desenvolvimento do índice foi feito com base nos referenciais teóricos "Notes pour la proposition d'un indice paysager sous-marin du Languedoc-Roussillon" da Agence de l'eau" RMC SMAT LR (CRÉOCÉAN, 2004) e "Seascape Integrity Assessment: A Proposed Index for the Mediterranean Coast" (THORIN et al., 2014).

Referente à composição do habitat, foi delimitado o critério biológico com a determinação e avaliação de quatro variáveis principais: presença de ictiofauna, organismos bentônicos, espécies endêmicas ou em risco e diversidade de corais. Estas variáveis contribuem para a compreensão do padrão de constituição das comunidades nos habitats e possibilitam a caracterização do potencial de ocupação de espécies. A composição, nesse contexto, refere-se à constituição biótica dos ambientes.

Para a avaliação do funcionamento, que descreve os processos ecológicos e os serviços ecossistêmicos oferecidos pelos habitats, foi estabelecido o critério antropogênico, composto por oito variáveis específicas. Estas incluem: turbidez elevada, presença de espécies invasoras, macroresíduos, branqueamento ou doenças de corais, marcas de destruição física, resíduos lamosos, turf, animais mortos e proliferação de alguma espécie específica. Estes parâmetros foram selecionados para visualizar as pressões antrópicas sobre o sistema, considerando que as funções ecológicas podem variar em resposta a diferentes influências humanas (MOMBERG, 2003). A inclusão desses

elementos no critério antropogênico proporciona uma visão abrangente das condições ambientais e das possíveis perturbações causadas por atividades humanas nos habitats em análise.

Na determinação das variáveis, as vídeo amostras das campanhas anuais, ambas em período chuvoso, foram analisadas, enumerando todos os componentes observados durante os transectos em cada ponto de monitoramento. Esses componentes foram triados, organizados e agrupados como variáveis nos três critérios pré-estabelecidos: estrutural, biológico e antropogênico. Foram estabelecidas pontuações máximas para cada variável (Tabela 1). Os valores máximos, definidos entre 2 e 5, foram determinados considerando a relevância de cada indicador para a complexidade e integridade do ambiente.

Durante a análise, todos os vídeos foram examinados no software VLC Media Player pelo mesmo observador, seguindo um padrão de interpretação dos dados. Um banco de dados foi criado, atribuindo notas a cada um dos indicadores por meio da observação visual dos habitats (Figura 5 a Figura 21). As notas dadas variaram entre 0, indicando ausência, e o valor máximo estabelecido para o indicador avaliado. Para a definição da nota foram observados: a presença, abundância, tamanho e disposição espacial de cada elemento avaliado.

No critério estrutural, a variável "rodolito" varia de 1 a 4, onde 1 indica a presença pontual de rodolitos ao longo do transecto, 2 representa rodolitos esparsos, 3 um fundo parcialmente consolidado de rodolito e 4 um fundo predominantemente consolidado ao longo do transecto. A variável “estruturas” refere-se à existência de recifes biológicos, rochosos ou de arenito. O valor máximo para esta variável é 5, onde 1 indica uma presença pontual de estruturas pequenas, 2 para estruturas menores esparsas, 3 para estruturas maiores e bem desenvolvidas, 4 para estruturas bem desenvolvidas e integradas ao ambiente circundante, e 5 para estruturas que se estendem em grande parte do transecto. Nos parâmetros: Estrutura artificial; Fundo arenoso; Fundo de lama; Algas; Marcas de fundo; Fragmentos Carbonáticos; Depressões; Saliências; Tocas, cavidades, escarpas; Rugosidade na estrutura de fundo; Ictiofauna e Organismos bentônicos, com nota máxima 2, o valor 1 denota uma presença pontual e o valor 2 indica observações diversas ao longo do transecto.

Nos fatores antropogênicos, a turbidez é avaliada em uma escala de 0 a 5, onde 1 representa uma turbidez leve e 5 uma turbidez alta. Quanto ao branqueamento ou doenças de corais, a nota 1 refere-se à presença pontual de marcas de branqueamento, 3 indica que dos corais observados poucos apresentam marcas de branqueamento ou doenças e 5 significa que mais da metade dos corais avistados estão afetados pelo branqueamento ou doenças. Da mesma forma avalia-se Espécies invasoras; Macroresíduos; Marcas de destruição física; Resíduos lamosos na estrutura ou *turf*; Mortalidade de animais e Proliferação de espécies.

O valor final do índice é definido pela equação:

Índice de Integridade = ∑ valores estruturais + ∑ valores biológicos - ∑ valores antropogênicos

Essa abordagem sistemática permitiu uma análise visual e prática, considerando a importância relativa de cada componente na caracterização da integridade dos ambientes monitorados.

Tabela 1:Critérios, variáveis e suas respectivas pontuações máximas do índice proposto. Os sinais de positivo e negativo estão de acordo com seu uso na equação do índice.

Critério	Variável	Valor máximo
Estrutural	Rodolitos	+4
Estrutural	Corais estruturantes	+5
Estrutural	Estruturas (rochosas/arenito/carbonáticas)	+5
Estrutural	Estrutura artificial	+2
Estrutural	Fundo arenoso	+2
Estrutural	Fundo de lama	+2
Estrutural	Algas	+2
Estrutural	Marcas de fundo	+2
Estrutural	Fragmentos carbonáticos	+2
Estrutural	Depressões	+2
Estrutural	Saliências	+2
Estrutural	Tocas, cavidades, escarpas	+2
Estrutural	Rugosidade na estrutura ou fundo	+2
Biológico	Ictiofauna	+2
Biológico	Organismo bentônicos	+2
Biológico	Espécies endêmicas e/ou em risco	+5
Biológico	Diversidade de coral	+5
Antropogênico	Turbidez	-5
Antropogênico	Espécies invasoras	-5
Antropogênico	Macroresíduos	-3
Antropogênico	Branqueamento e/ou doenças de coral	-5
Antropogênico	Marcas de destruição física	-3
Antropogênico	Resíduos lamosos nas estruturas ou turf	-3
Antropogênico	Mortalidade de animais	-3
Antropogênico	Proliferação de alguma espécie	-5

Figura 5:Variável “Rodolitos” com valor +4, ou seja, fundo consolidado de rodolitos ao longo do transecto.

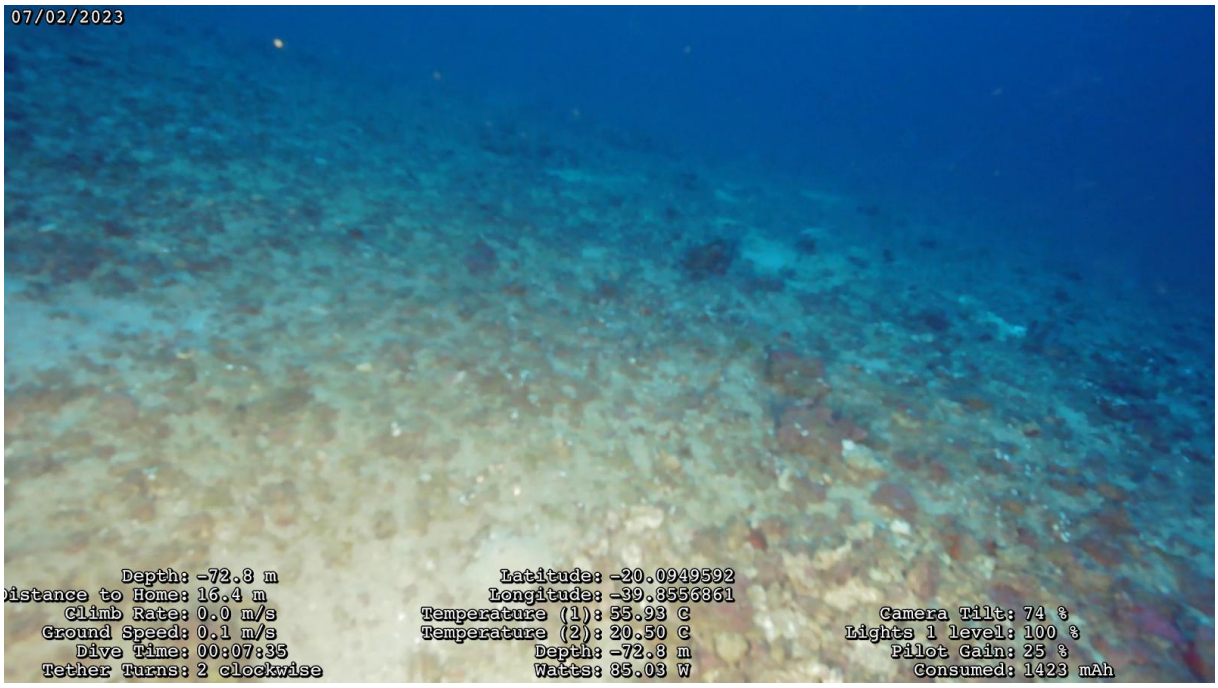


Figura 6:Variável “Rugosidade” com valor +2, indicando irregularidades na estrutura no ponto de monitoramento APA2 no ano de 2023.

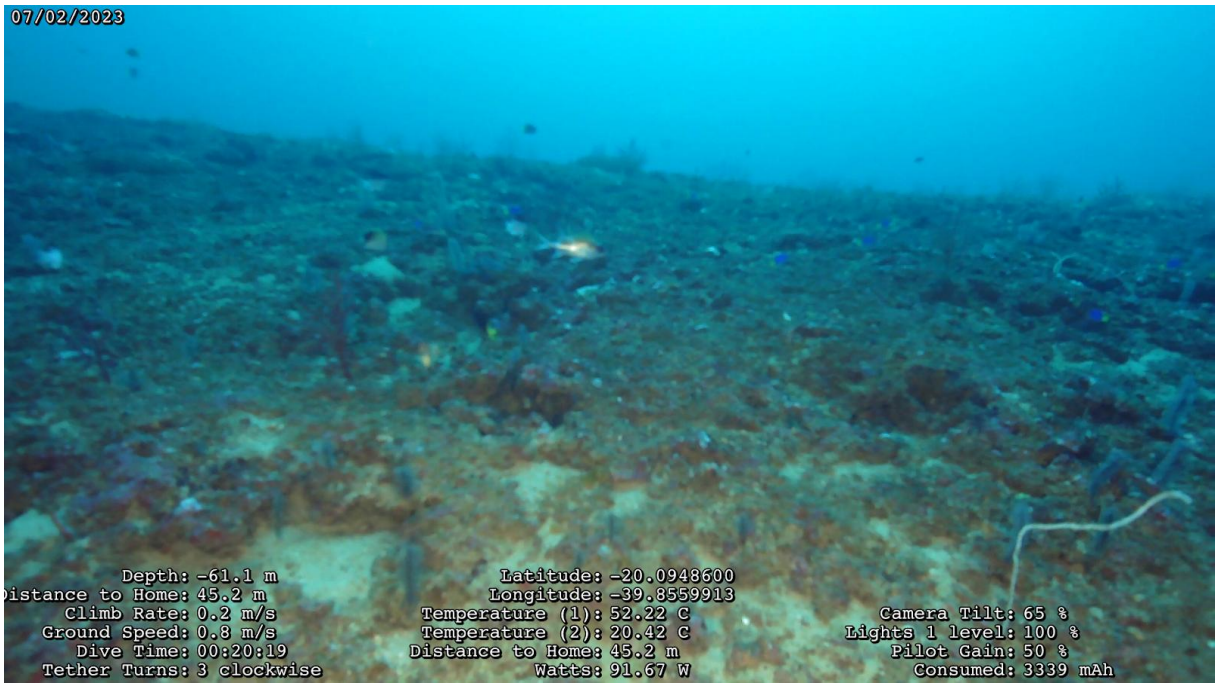


Figura 7:Variável “Ictiofauna” com valor +1, indicando presença pontual de ictiofauna no ponto de monitoramento APA2 no ano de 2023.



Figura 8:Variável “Estruturas” com valor +3,ou seja, estrutura integrada ao ambiente circundante no ponto de monitoramento APA2 no ano de 2023.



Figura 9:Variável “Saliências” com valor +2 e indicação de diferenças no relevo no ponto de monitoramento APA2 no ano de 2023.

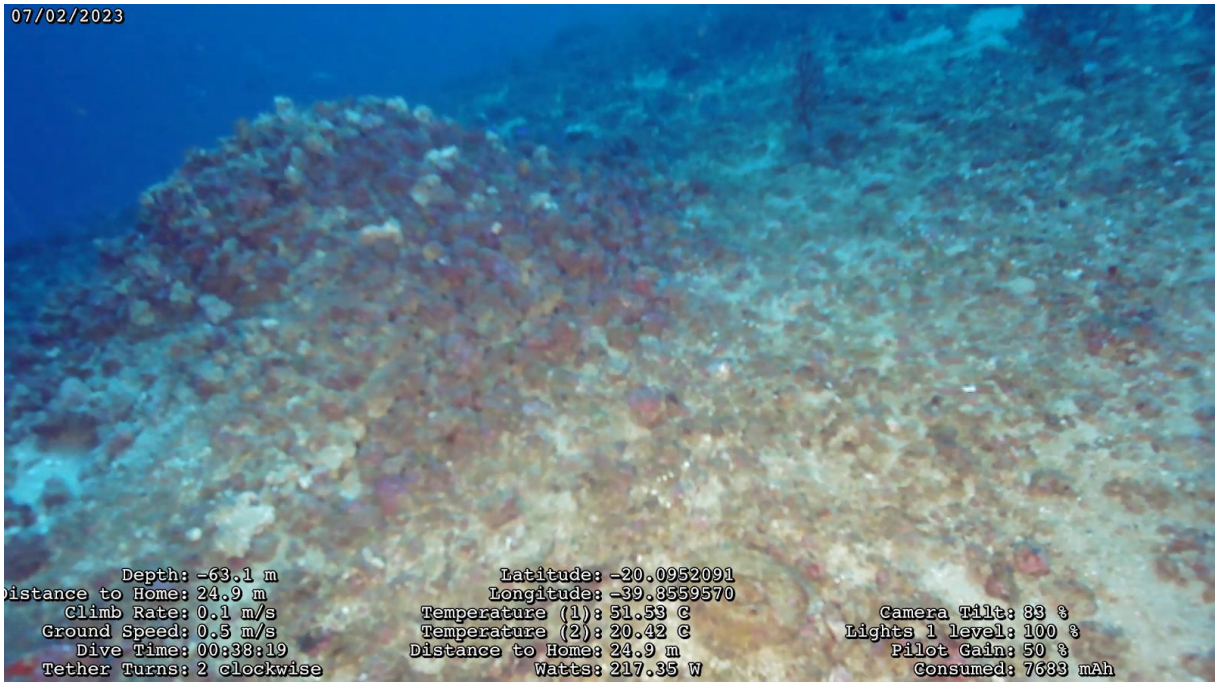


Figura 10:Variável “Tocas, cavidades e escarpas” com valor +2, ou seja, parâmetro observado ao longo dos transectos no ponto APA2 no ano de 2023.

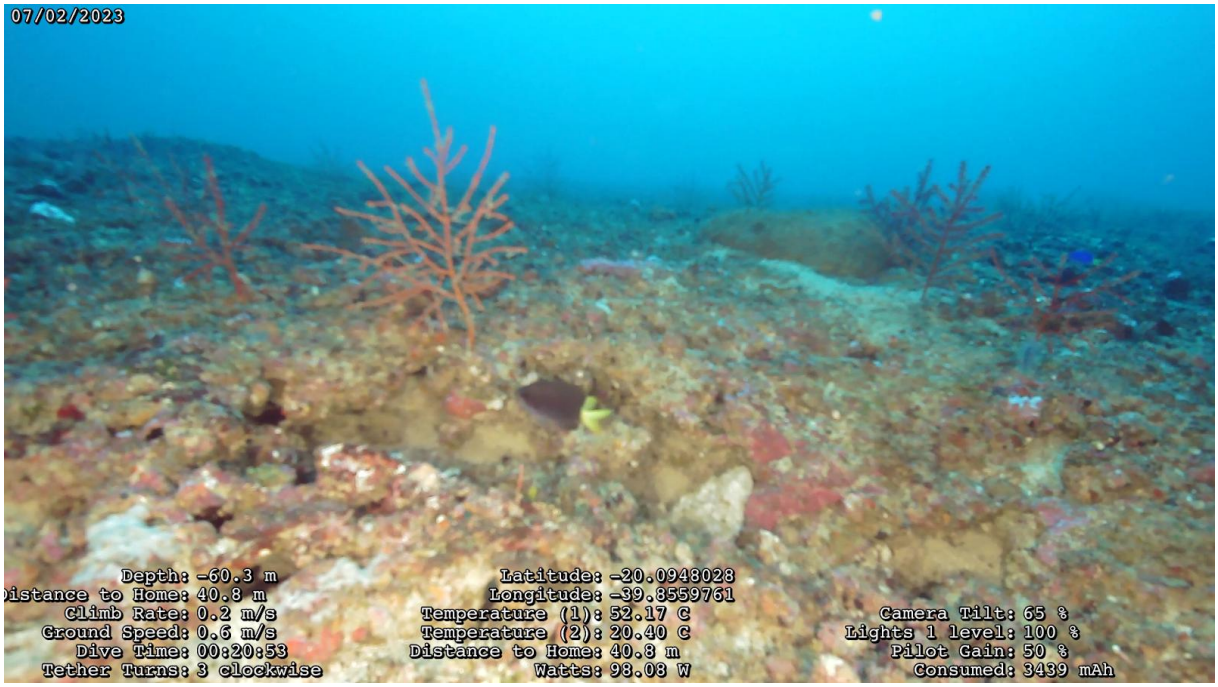


Figura 11:Variável “Ictiofauna” com valor +2 no ponto APA2 no ano de 2023.

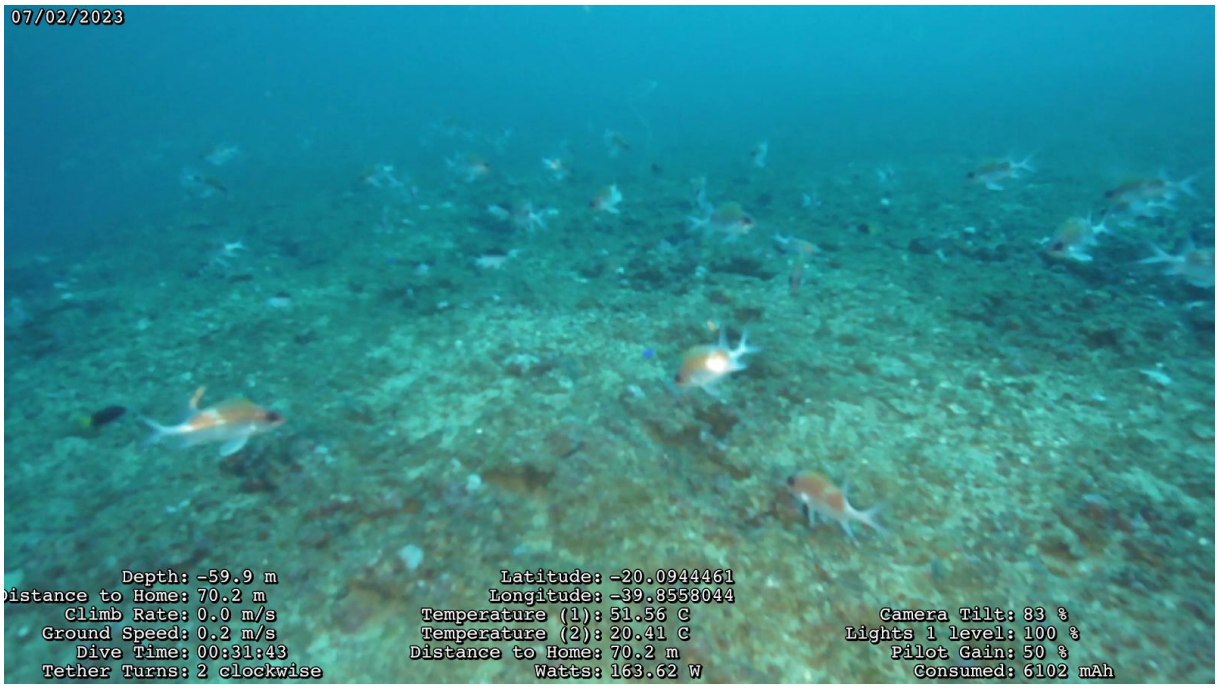


Figura 12:Variável “Rodolitos” com valor +2, ou seja, rodolitos esparsos ao longo do transecto no ponto de monitoramento APA1.

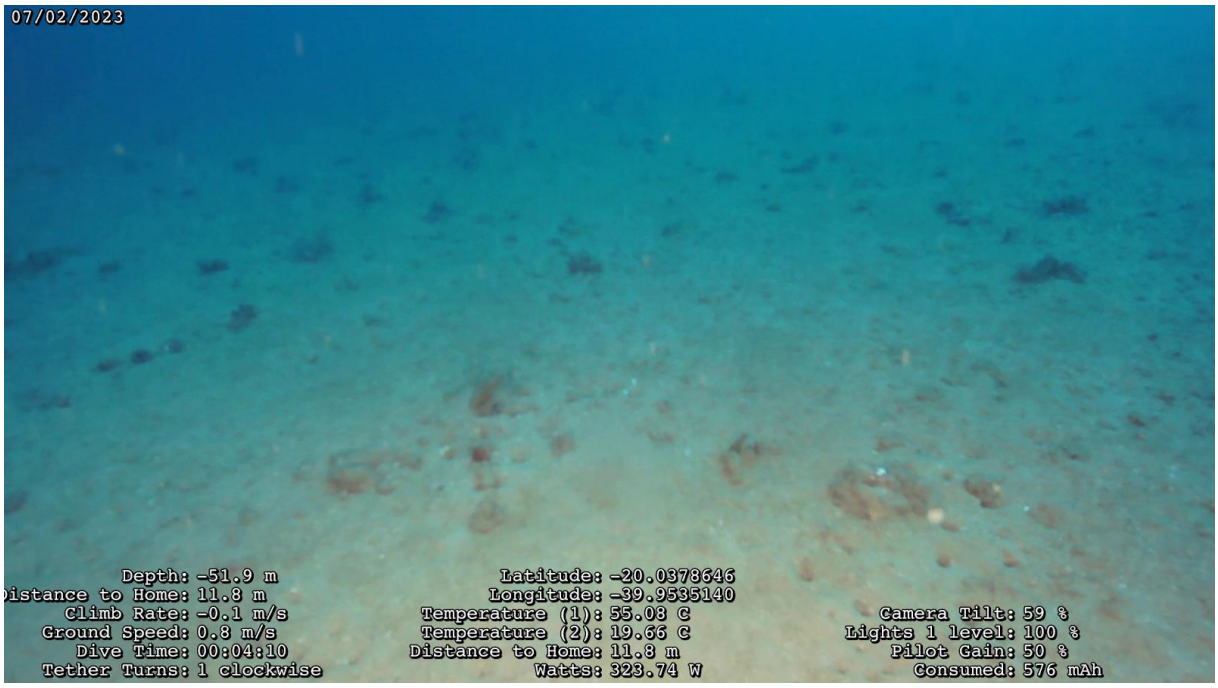


Figura 13:Variável “Depressões” com valor +2, ou seja, mudança considerável na profundidade no ponto de monitoramento APA1.

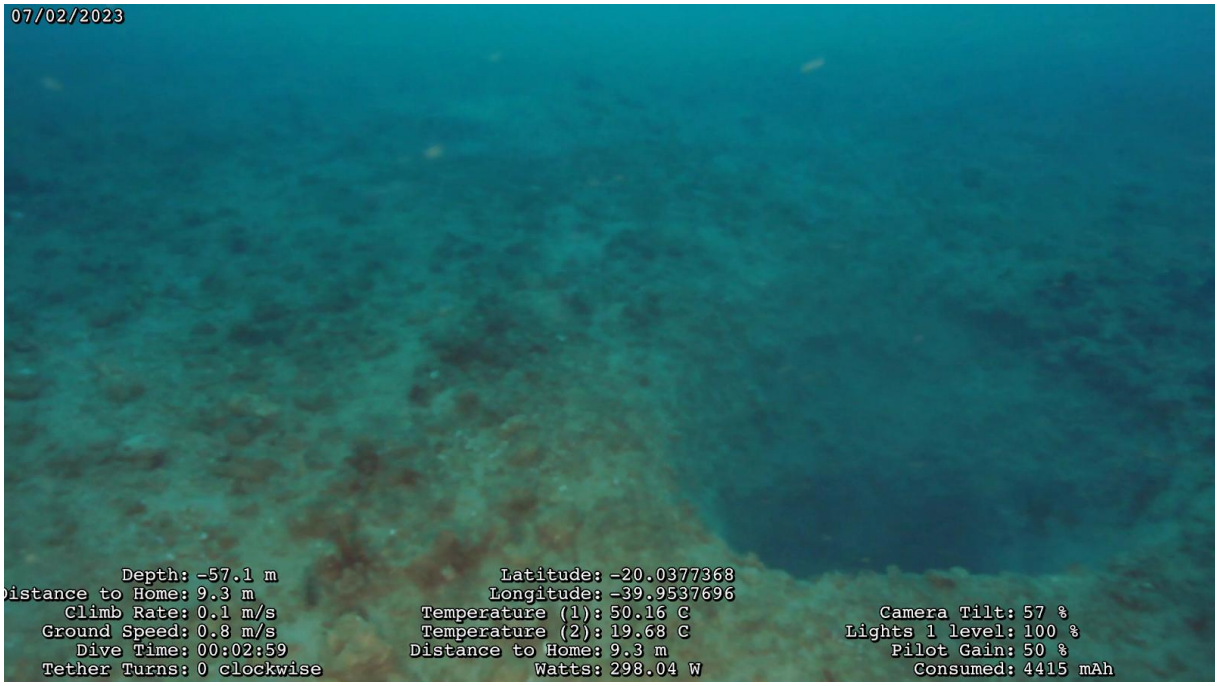


Figura 14:Presença de fauna bentônica ao longo dos transectos no ponto de monitoramento APA1 no ano de 2023.

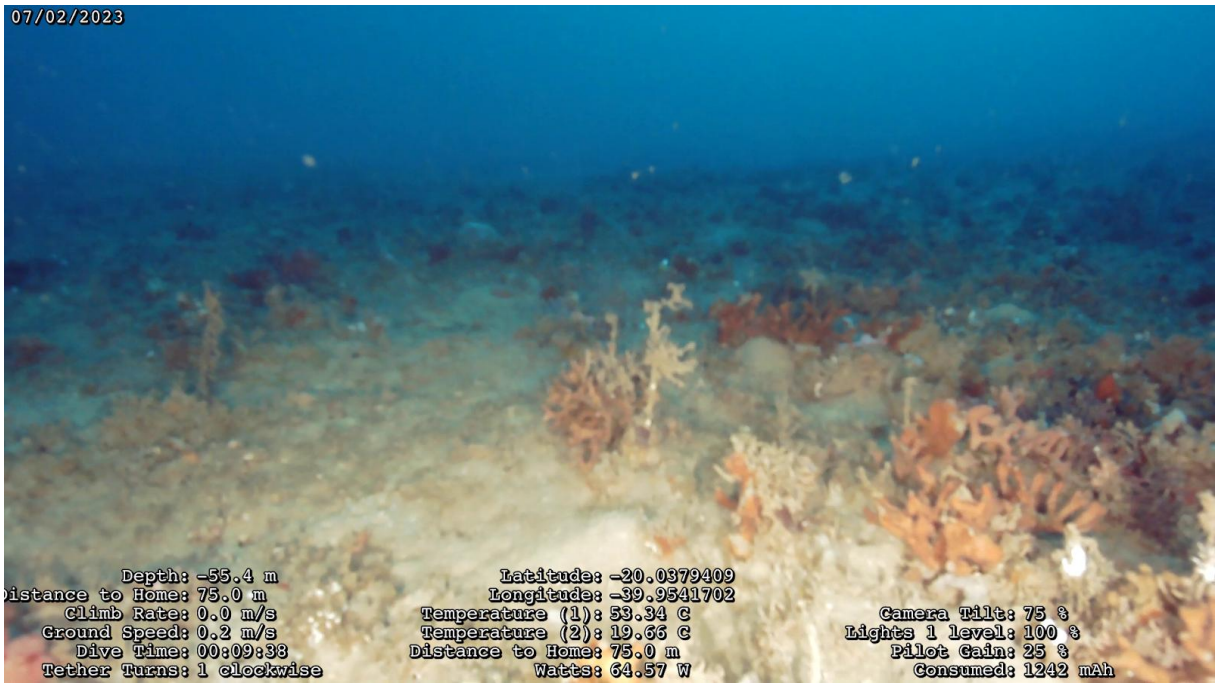


Figura 15:Variável “Turbidez” com valor +5 indicando turbidez elevada nos transectos do ponto de monitoramento Comboios 2 no ano de 2023.

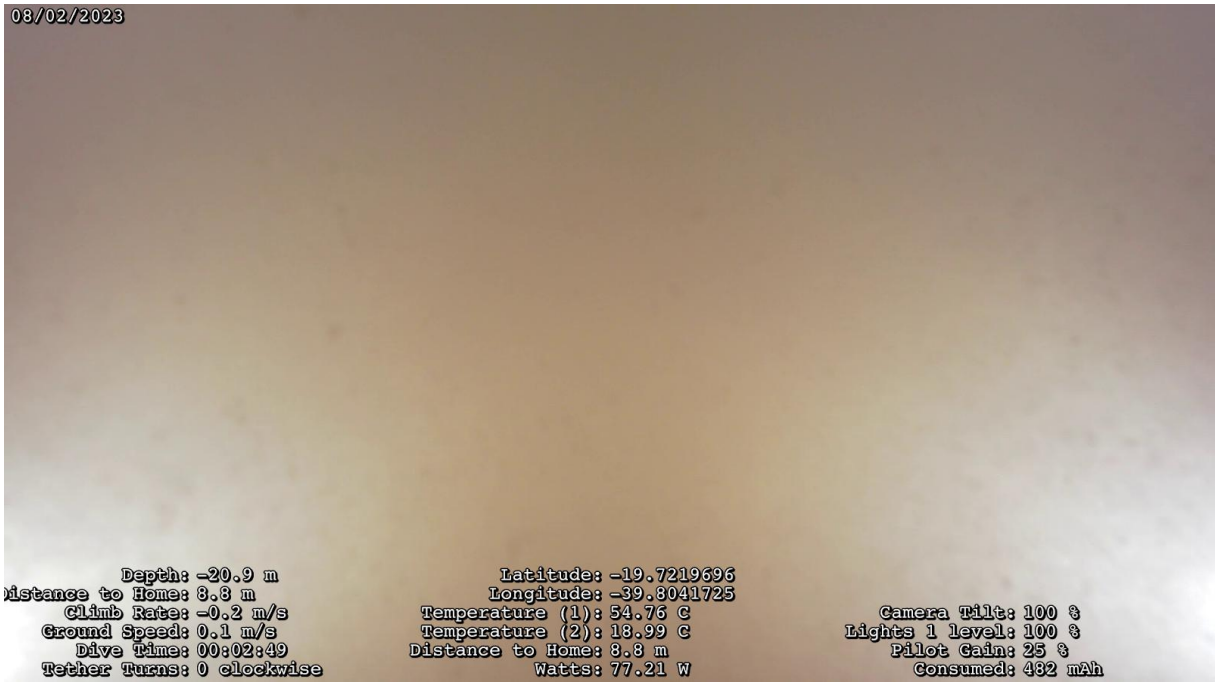


Figura 16:: Estrutura recifal desenvolvida e extensa (+5) no ponto de monitoramento Recifes Esquecidos 1 no ano de 2023.

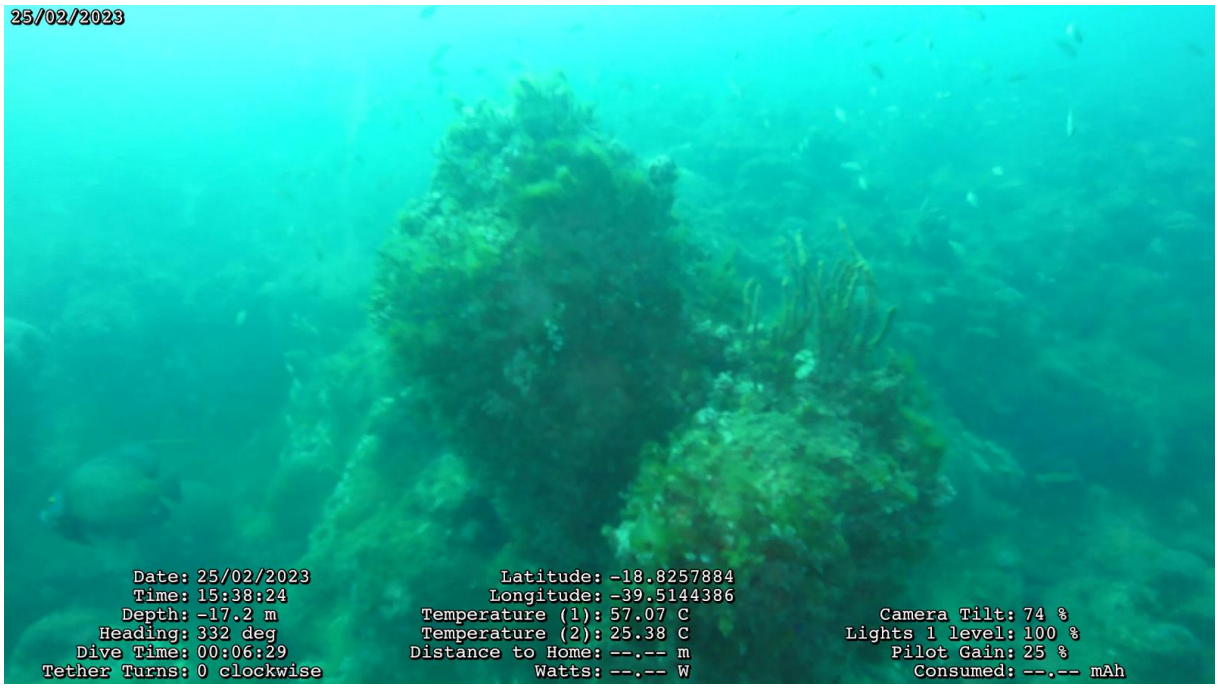


Figura 17:Marcas de branqueamento de corais no ponto de monitoramento Recifes Esquecidos 1 no ano de 2023.

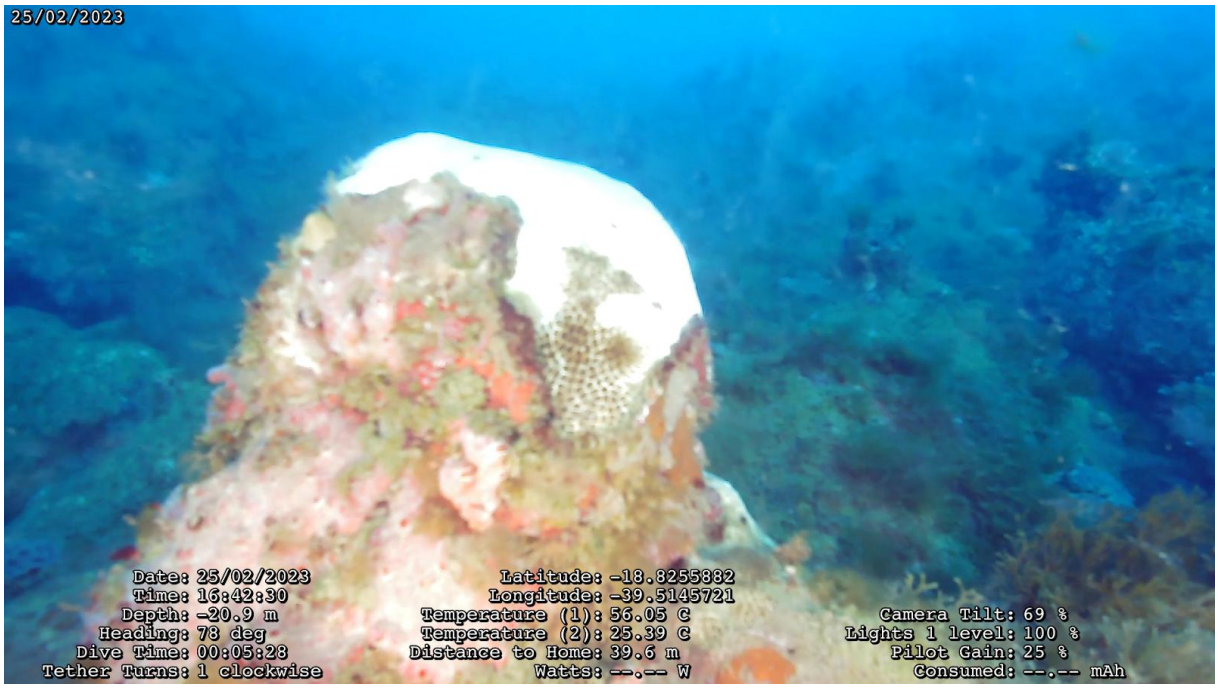


Figura 18:Estrutura recifal pequena e pontual (+1) no ponto de monitoramento Recifes Esquecidos 2 no ano de 2023. Transectos com turbidez média (-3).

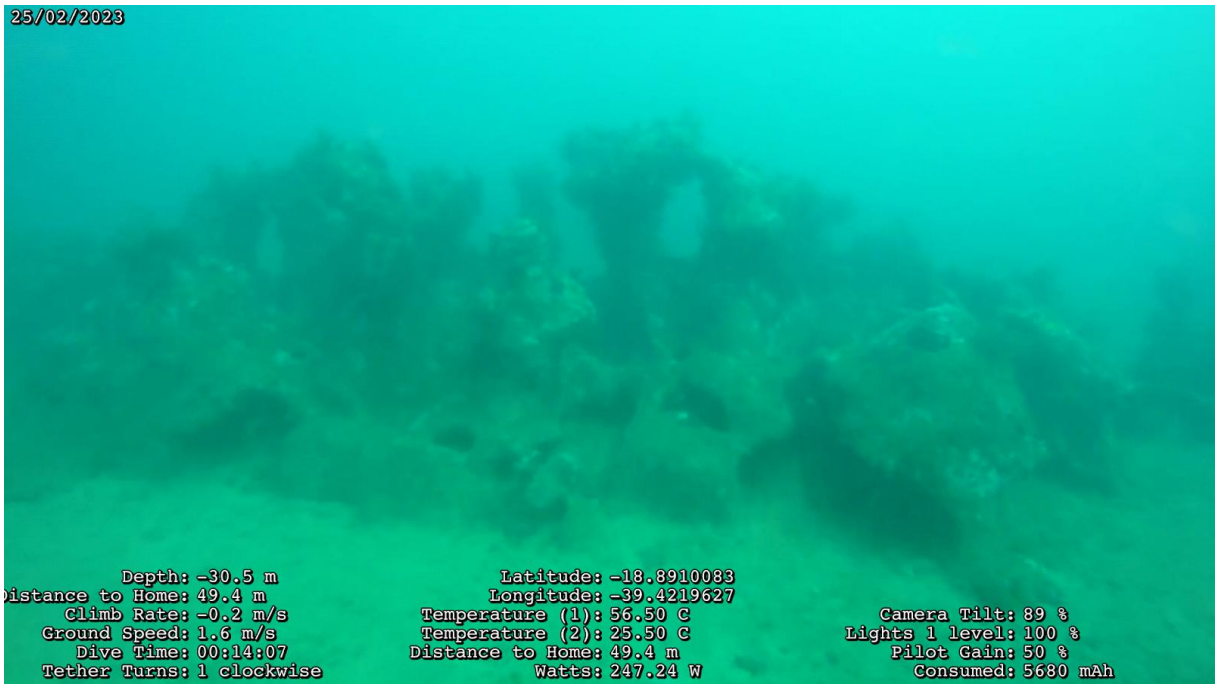


Figura 19:Marca de destruição física (-3) no ponto de monitoramento APA 2 no ano de 2024.



Figura 20:Presença de macroresíduo (-3) no ponto de monitoramento APA 2 no ano de 2024.

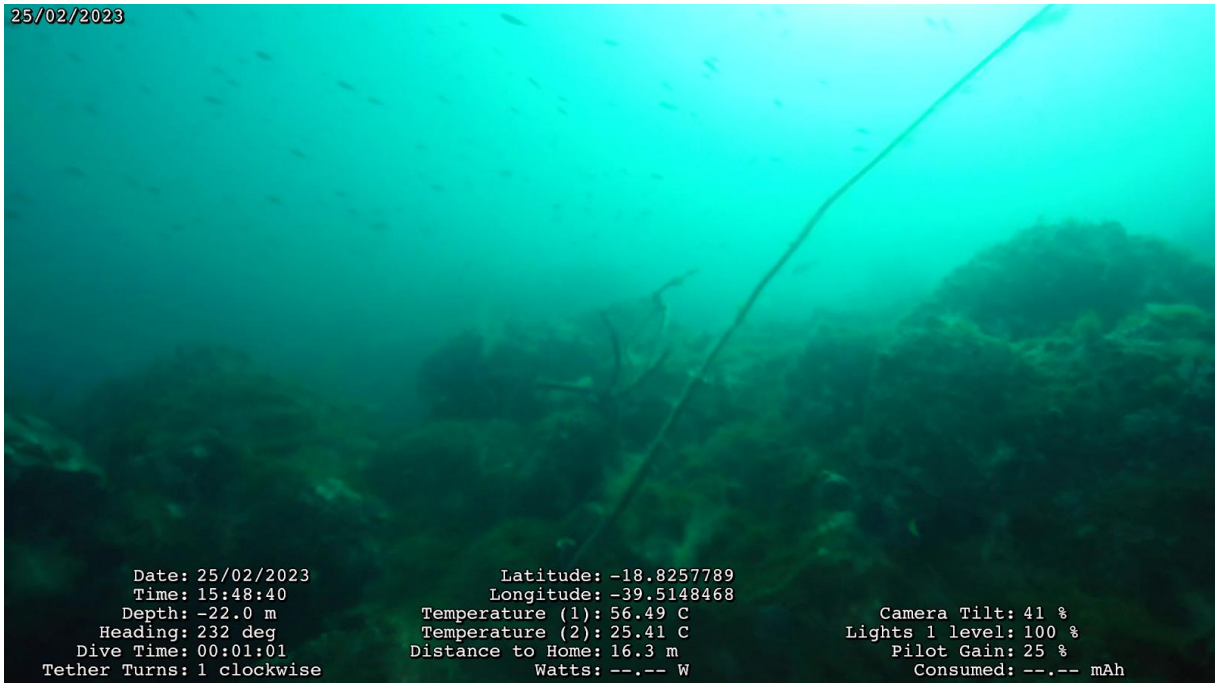
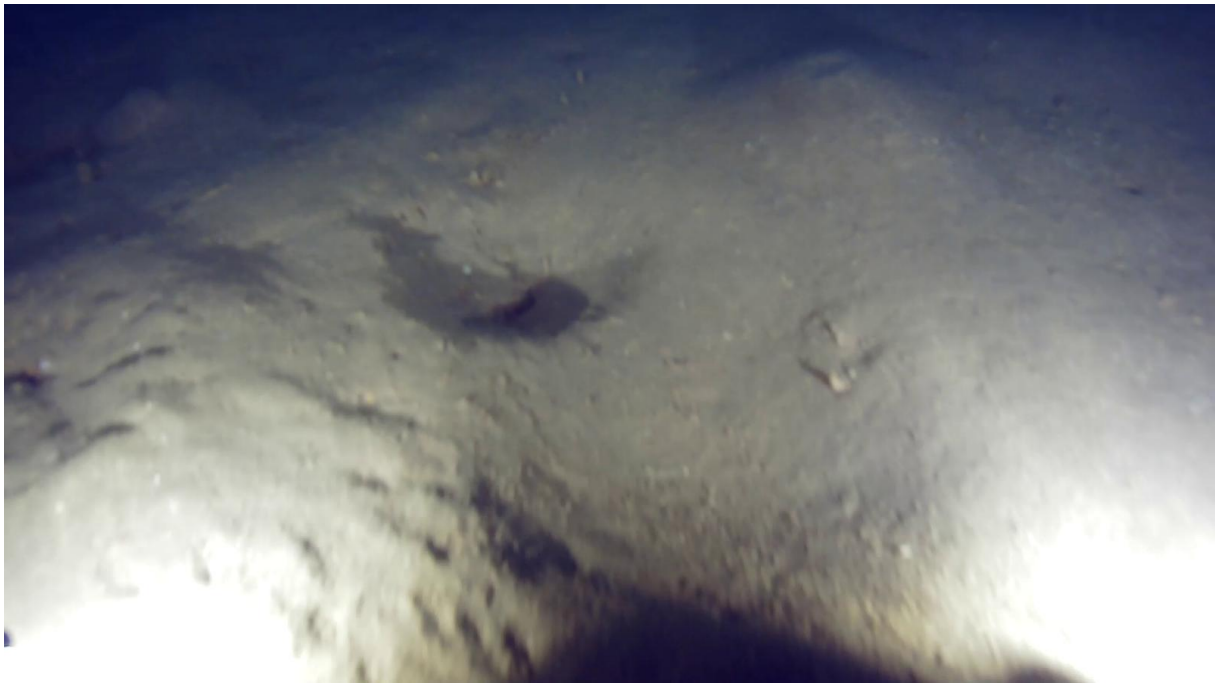


Figura 21:Fundo de areia com fragmentos carbonáticos e presença de tocas e cavidades no ponto de monitoramento São Mateus no ano de 2024.



2.3 HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS

Seis metodologias foram integradas ao longo dos seis anos de monitoramento para avaliação dos indicadores. (i) O dronemonitoramento permitiu avaliar os parâmetros de comportamento alimentar e estrutura populacional. (ii) O sobrevoo com avião tripulado foi utilizado para avaliar o tamanho populacional e, juntamente com (iii) o monitoramento bioacústico, possibilitou mapear a distribuição da população de toninhas ao longo dos anos e a identificação de agregações de megafauna em hotspots. (iv) O monitoramento com ROV (*Remotely Operated Underwater Vehicle*) foi utilizado para relacionar as ocorrências dos registros de toninhas com o tipo de fundo marinho e, mais recentemente, possibilitou a análise anual da integridade dos *hostspots*. (v) monitoramento embarcado de cetáceos, o qual foi integrado ao dronemonitoramento. (vi) monitoramento de ponto fixo de cetáceos, o qual foi igualmente integrado ao dronemonitoramento. Atualmente o método do dronemonitoramento foi expandido para cobrir a área monitorada pelo sobrevoo tripulado, pela bioacústica, pelo monitoramento embarcado de cetáceos e pelo monitoramento de ponto fixo. Portanto, estes 4 últimos métodos foram descontinuados no quarto ano. Todas as alterações foram aprovadas na Proposta Técnica e Plano de Trabalho do Novo Ciclo do PMBA/Fest-UFES e permitiram uma grande redução de custos, simplificação logística e otimização de equipe na área de monitoramento remoto da megafauna marinha.

Conforme previsto no referido Plano de Trabalho, no quinto ano de monitoramento, a partir de julho de 2023, a metodologia do dronemonitoramento foi aperfeiçoada, para transectos de 7 km da costa distribuídos em 63 pontos de decolagem com espaçamento de 3 a 5 km, desde Santa Cruz até Itaúnas, em um método chamado de Dronemonitoramento de Longo Alcance. Apesar de previstos inicialmente 80 pontos de decolagem, testes de detectabilidade e área varrida feitos como parte da implementação

da nova metodologia permitiram otimizar os procedimentos de forma que foi possível obter uma área varrida com 63 pontos, alcançando as mesmas metas.

3 RESULTADOS DOS INDICADORES

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

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

3.1 VULNERABILIDADE POPULACIONAL DA TONINHA (*PONTOPORIA BLAINVILLEI)*

3.1.1 Dronemonitoramento

Figura 22:Total de registros de toninha (*P. blainvillei*) mensais, entre outubro de 2018 e junho de 2023, nas três áreas de monitoramento (Comboios, rio Doce, Piraquê-Açu. Os pontos vermelhos são outliers. Não houve amostragem entre abril e dezembro de 2020, devido à Pandemia de COVID-19.

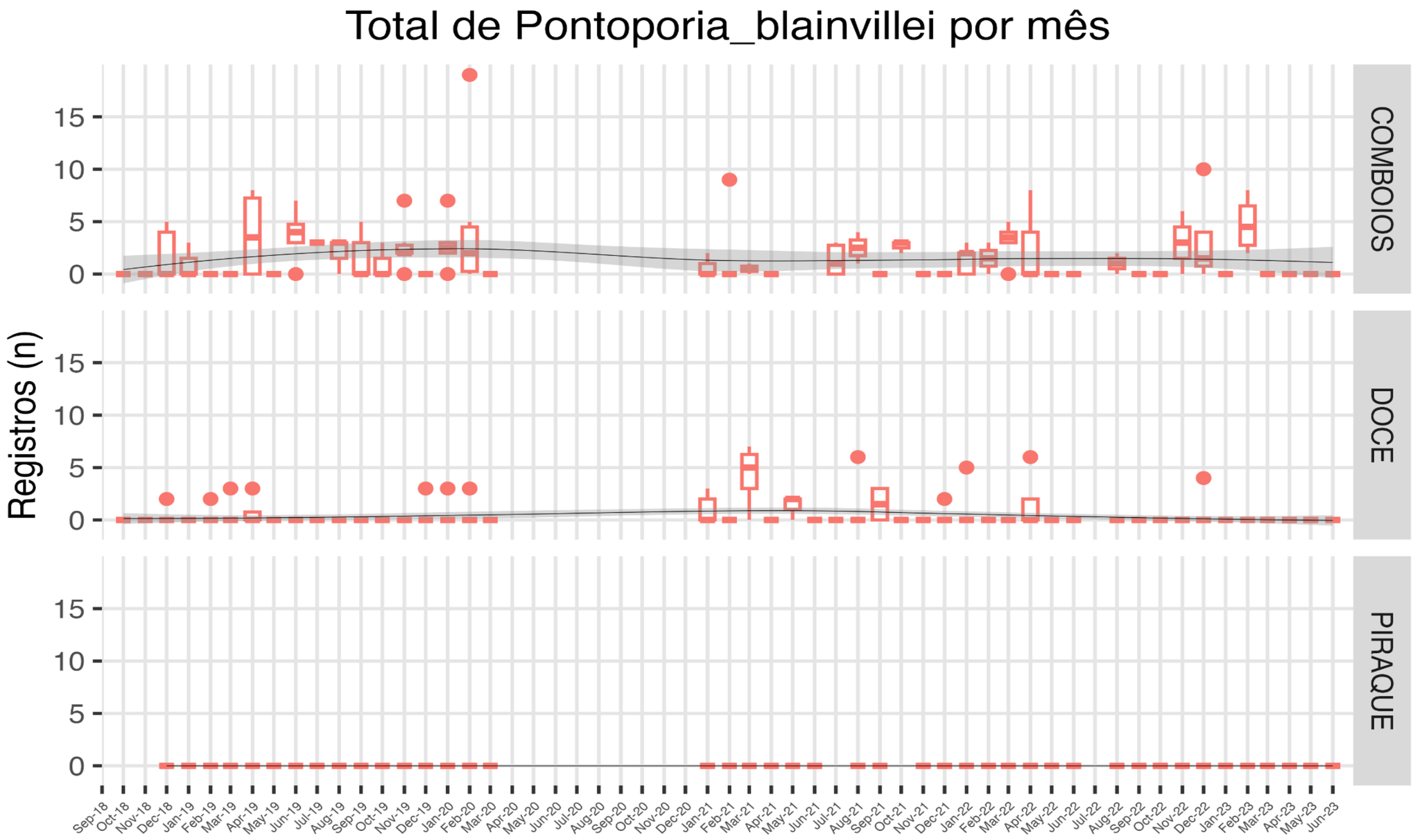
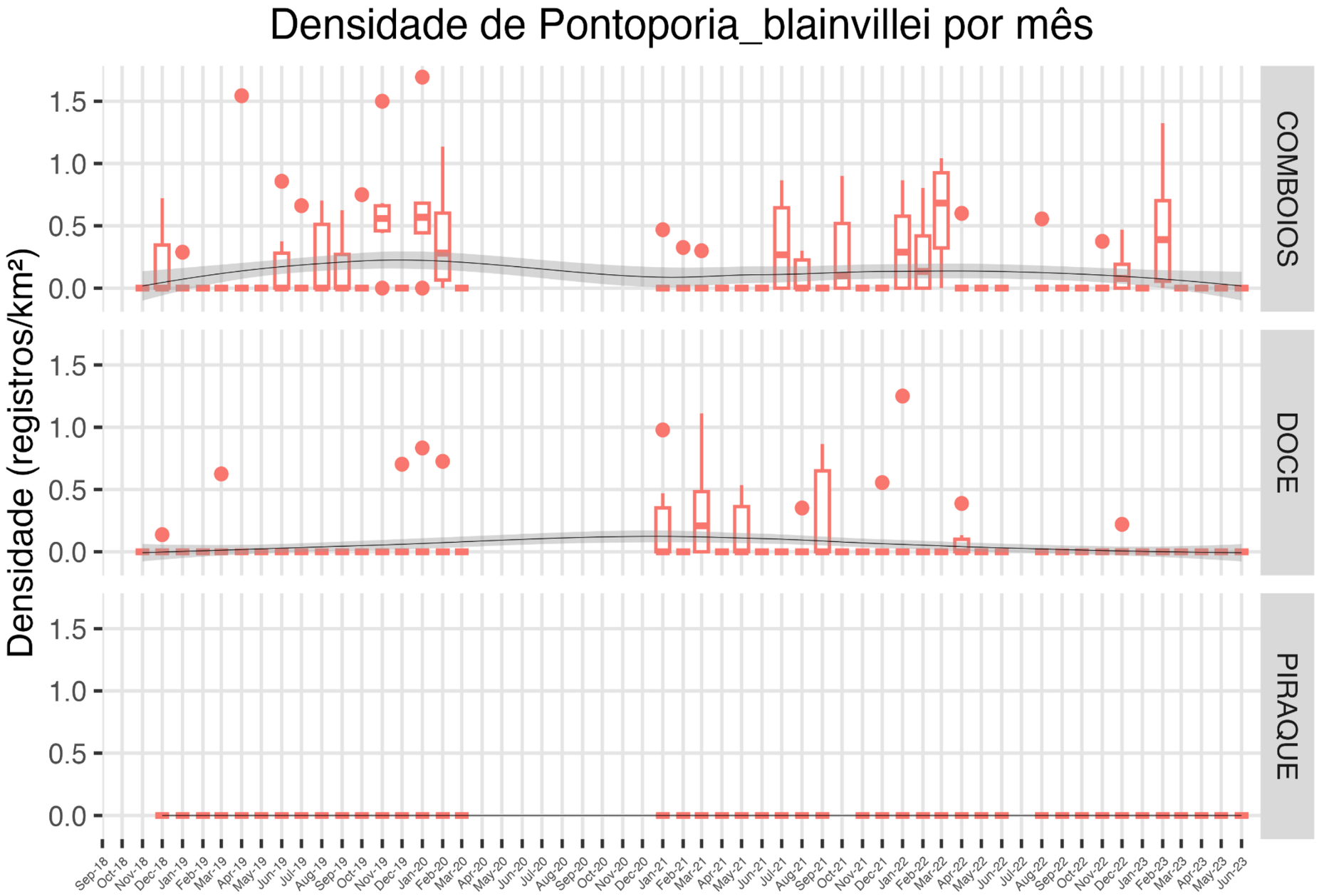


Figura 23:Densidade mensal de toninha (*P. blainvillei*), entre outubro de 2018 e junho de 2023, nas três áreas de monitoramento (Comboios, rio Doce, Piraquê-Açu). Os pontos vermelhos são outliers. Não houve amostragem entre abril e dezembro de 2020, devido à Pandemia de COVID-19



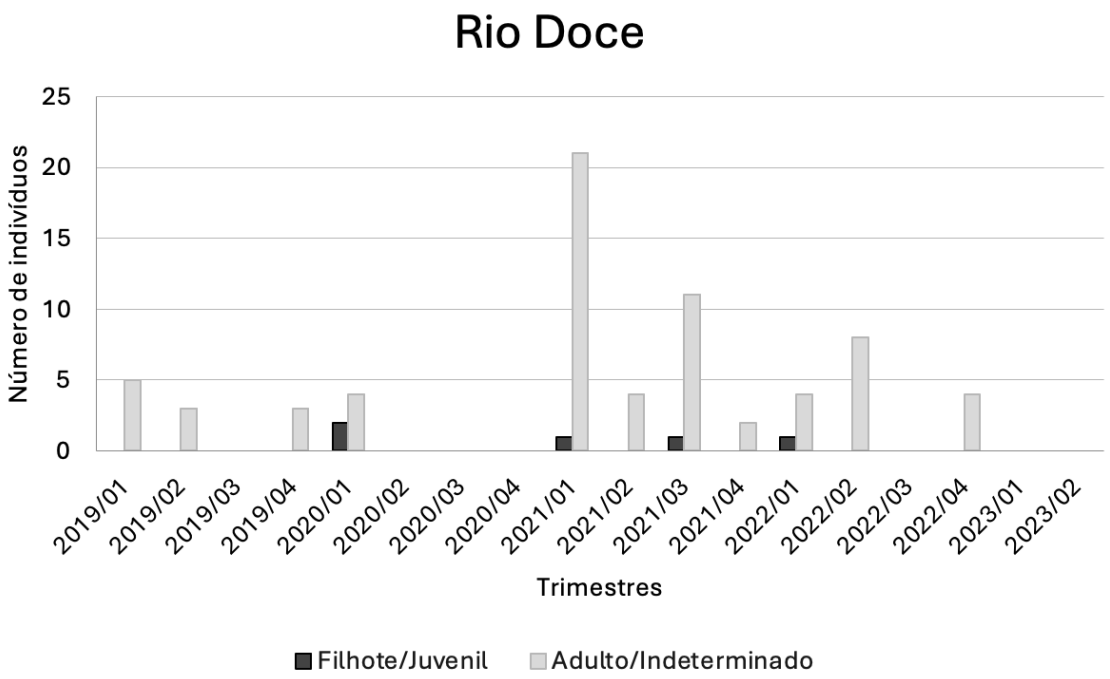
Foram analisados, através de gráficos boxplot que mostram a tendência central e a variabilidade dos dados, os números de registros mensais da toninha, *Pontoporia blainvillei*, entre outubro de 2018 e junho de 2023 (Figura 22) e a densidade mensal nos três pontos de monitoramento (Figura 23), rio Doce, Comboios e Piraquê-Açu. Houve pouca variação ao longo do tempo, com maior número de registros nos períodos chuvosos. A maior concentração de registros da espécie se deu na região de Comboios. A única diminuição do número de registros, em Comboios, foi no primeiro trimestre de 2021, no qual houve um aumento no número de registros na região da foz do rio Doce. Não houve registro de toninha, *Pontoporia blainvillei*, em nenhuma campanha de monitoramento realizada no Piraquê-Açu, o que mostra a importância da região próxima a foz do rio Doce para espécie.

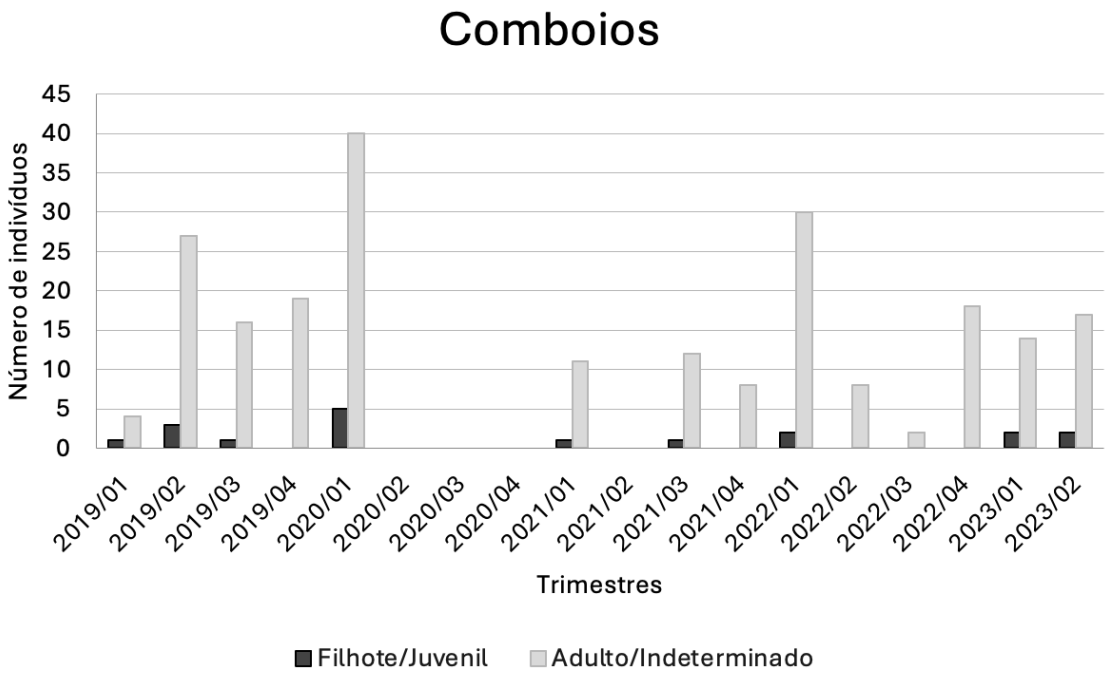
Figura 24: Registros de toninha (*P. blainvillei*) durante 15 trimestres, entre os meses de janeiro de 2019 a junho de 2023, distribuídos espacialmente nos pontos de monitoramento na região da foz do rio Doce e Comboios. Não houve amostragem entre abril e dezembro de 2020, devido à Pandemia de COVID-19



A análise espacial da distribuição da espécie na foz do rio Doce e Comboios está apresentada na (Figura 24). Os gráficos mostram, desta forma, que há uma tendência da população em utilizar de forma alternada a foz do rio Doce e Comboios. Percebe-se também que há uma preferência pelo uso de Comboios, principalmente nos primeiros anos de monitoramento. O período seco apresentou o menor número de registros ao longo dos anos de dronemonitoramento próximos à foz do rio Doce, o que pode justificar a falta de registros de toninhas no segundo trimestre de 2023.

Figura 25: Estrutura populacional da toninha (*P. blainvillei*), com a classificação etária dos indivíduos registrados trimestralmente, entre janeiro de 2019 e junho de 2023, nos pontos de monitoramento rio Doce e Comboios. Não houve amostragem entre abril e dezembro de 2020, devido à Pandemia de COVID-19

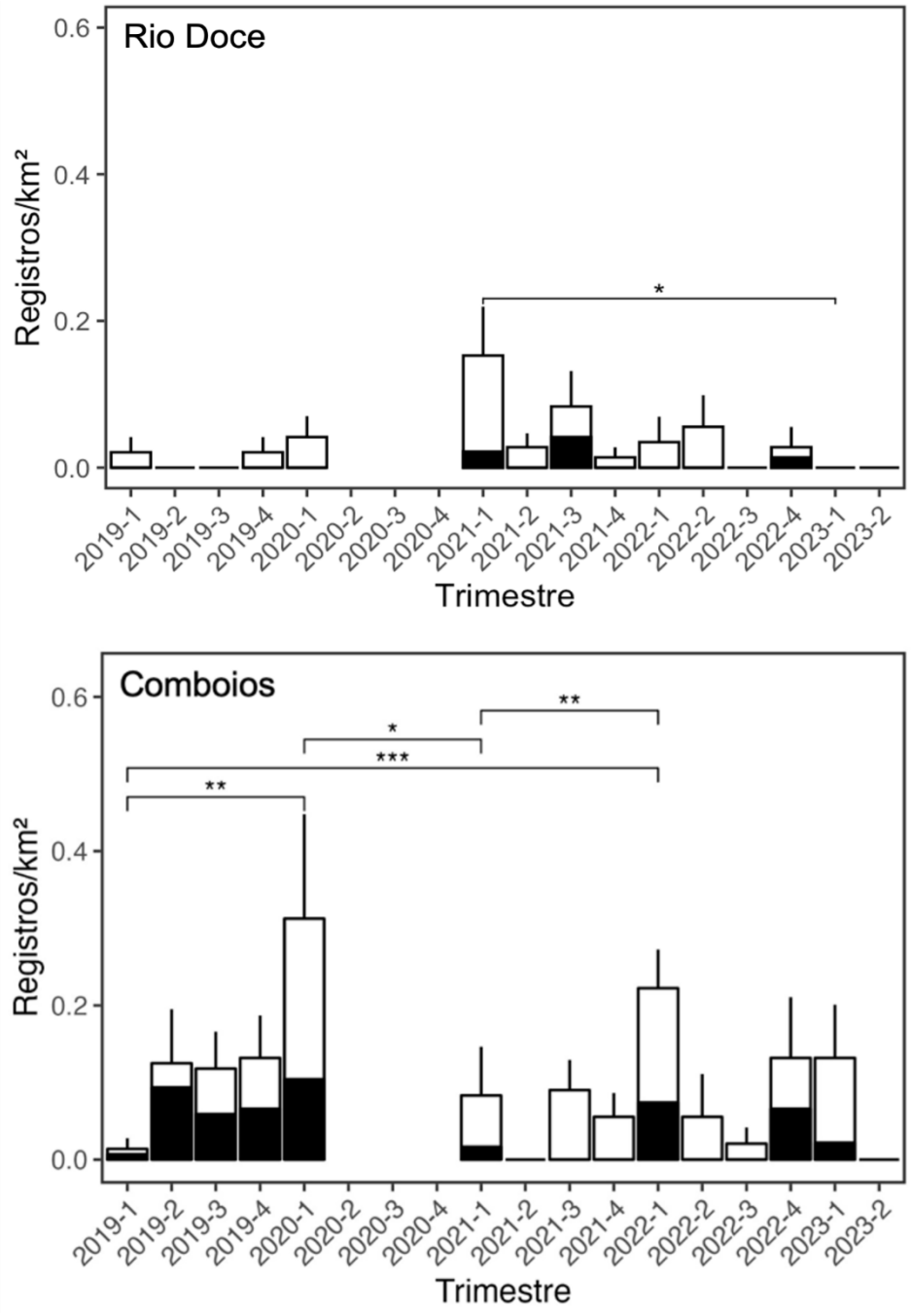




A estrutura populacional foi analisada nos locais de ocorrência da espécie para o estudo (Figura 25). Na região da foz do rio Doce houve um maior número de registros a partir do primeiro trimestre de 2021, principalmente por indivíduos adultos ou indeterminados. Em Comboios, houve um maior número de filhotes no período chuvoso (trimestres com meses de verão), o que pode ter relação com o período de nascimento da espécie, que ocorre preferencialmente na primavera (DENUNCIO et al., 2013). Os

resultados em porcentagem mostraram que foram encontrados em 2020/01 - 33,3%, 2021/01 - 4,76%, 2021/03 - 9%, 2022/01 - 25% de presença de filhotes/juvenis na região do rio Doce. Em Comboios foram mais trimestres com presença de filhotes, porém em porcentagens menores (2019/01 – 25%; 2019/02 – 11,1%; 2019/03 – 6,25%; 2020/01 – 12,5%; 2021/01 – 9%; 2021/03 – 8,3%; 2022/01 – 6,6%; 2023/01 - 14,2%; 2023/02 – 10,5%). Não foi identificada variação significativa da presença de filhotes nas áreas amostradas.

Figura 26:Frequência de avistagem (altura das colunas) e proporção de indivíduos em comportamento alimentar (hachurados em preto nas colunas) da toninha (*P. blainvillei*) durante 15 trimestres, entre os meses de janeiro de 2019 a junho de 2023 nas localidades de Regência – rio Doce (gráfico superior) e Comboios (gráfico inferior). Os asteriscos representam uma diferença significativa entre os trimestres monitorados. Não houve amostragem entre abril e dezembro de 2020, devido à Pandemia de COVID-19.



O comportamento alimentar da toninha foi analisado nos dois locais onde a espécie foi encontrada e monitorada, foz do rio Doce e Comboios (Figura 26) no período entre janeiro de 2019 e junho de 2023.

O comportamento alimentar apresentou maior percentual na região de Comboios, sendo presente durante o período chuvoso e seco. Houve um aumento significativo nos registros realizados no primeiro trimestre de 2021 até o quarto trimestre de 2022, no ponto de monitoramento em frente à foz do rio Doce. Em Comboios foi identificado um aumento significativo nos registros realizados no primeiro trimestre (período chuvoso) de 2020 e 2022 em relação ao mesmo período de 2019. Entretanto, houve uma diminuição significativa nos registros do primeiro trimestre de 2021 nesta mesma área, em comparação aos anos de 2020 e 2022.

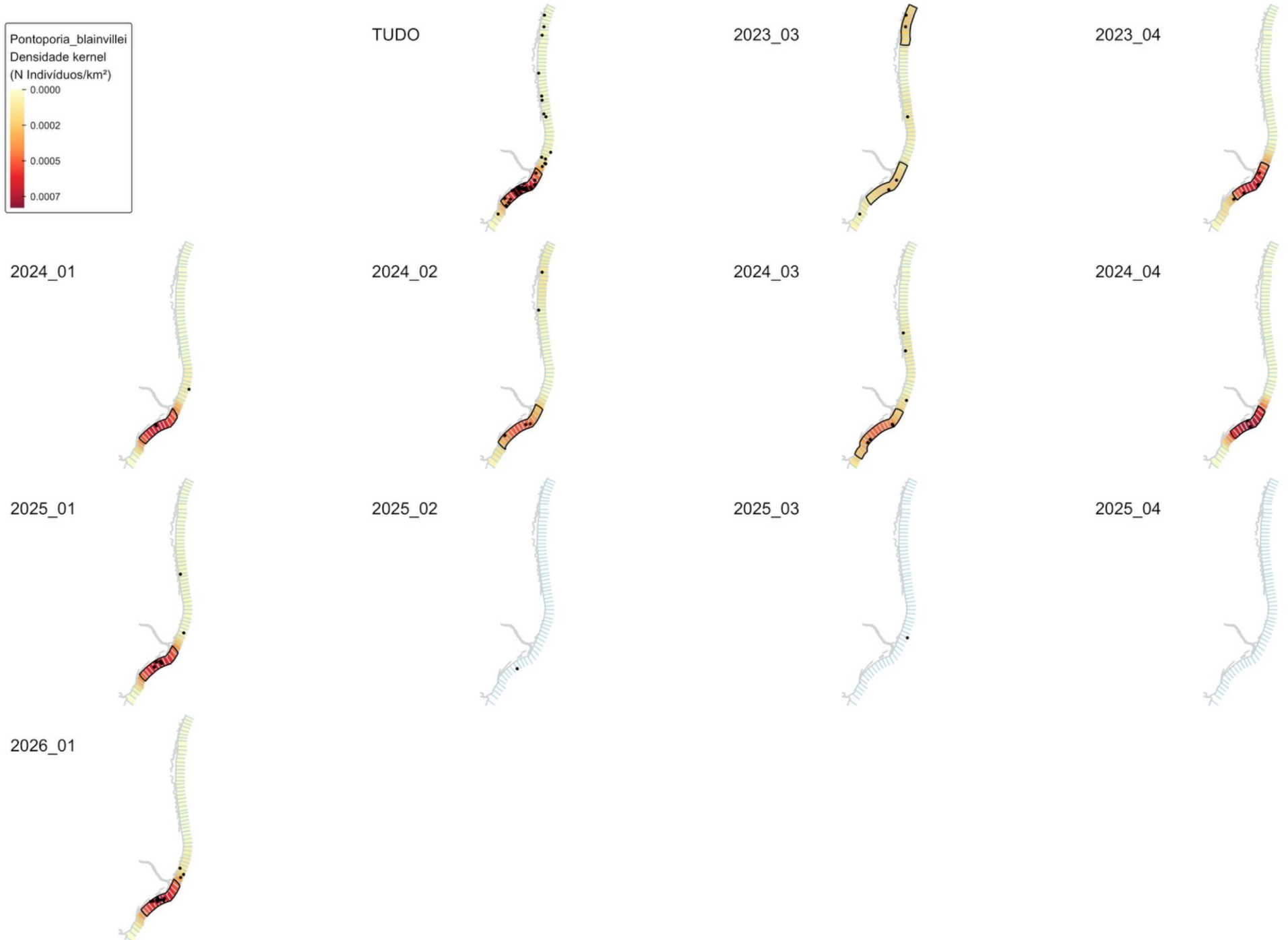
3.1.2 Dronemonitoramento de Longo Alcance

Figura 27: Frame de vídeo-amostra com o drone capturando um grupo de toninha (*P. blainvillei*). Período seco, 2026.



A partir da análise das vídeoamostras dos 63 transectos de cada campanha, foram identificados 48 grupos de toninha, sendo 6 no primeiro trimestre monitorado (2023_3), 5 no segundo (2023_4), 4 no terceiro (2024_1), 5 (2024_2) no quarto (2024_2), 7 no quinto (2024_03), 2 no sexto (2024_04), e 4 no sétimo (2025_1), 2 no oitavo (2025_2), 1 no nono (2025_3), 0 no décimo (2025_4) e 12 no décimo primeiro trimestre (2026_1). Ao todo, 119 indivíduos foram registrados durante o dronemonitoramento de longo alcance entre julho de 2023 e março de 2026 (Figura 27).

Figura 28: Densidade da toninha (*P. blainvillei*) durante o período de julho de 2023 até março de 2026, nos trimestres 2023_03, 2023_04, 2024_01, 2024_02, 2024_03, 2024_04 e 2025_01, 2025_02, 2025_03, 2025_04 e 2026_01, entre Santa Cruz (Aracruz-ES) e Itaúnas (Conceição da Barra-ES). Mapa de densidade utilizando o pacote adehabitatHR (2011). A área com contorno em preto representa a Área Central (Core Area), uma parte do habitat (Home Range) onde um animal passa uma quantidade significativa de tempo, frequentemente definida como a distribuição de utilização de 50%. A área central é caracterizada por uma maior disponibilidade de recursos, como alimento e abrigo, tornando-a vital para atividades como alimentação, reprodução e descanso.



Foram determinadas as áreas de maior concentração das toninhas, *Pontoporia blainvillei*, durante todo o período de amostragem. A densidade para ambos os períodos também foi estimada a partir dos dados coletados entre julho de 2023 a março de 2026.

Os transectos para a realização da estimativa de abundância e distribuição da população de toninha da FMA Ia, foram realizados entre as campanhas do terceiro trimestre de 2023, período seco (julho e agosto de 2023) do quarto trimestre, período chuvoso (outubro e novembro de 2023), do primeiro trimestre de 2024, período chuvoso (janeiro e fevereiro de 2024), segundo trimestre de 2024, período seco (abril e maio de 2024), terceiro trimestre de 2024, período seco (julho e agosto de 2024), quarto trimestre de 2024 (outubro e novembro de 2024) e primeiro trimestre de 2025 (janeiro e fevereiro de 2025) (período chuvoso), segundo (abril e maio/2025) e terceiro trimestre (julho e agosto/2025) de 2025, (período seco), quarto trimestre de 2025(outubro e novembro/2025) e primeiro trimestre de 2026 (janeiro e fevereiro/2026) (período chuvoso). O tamanho dos grupos registrados variou de 1 a 6 indivíduos, totalizando 119 indivíduos (48 indivíduos no período seco e 71 indivíduos no período chuvoso). A representação da distribuição da espécie foi calculada a partir do pacote adehabitatHR (CALENGE, 2011).

Após as análises da distribuição da toninha, foi observado que no terceiro trimestre de 2023 e no segundo trimestre de 2024 (período seco) a distribuição esteve mais espaçada ao longo da área de estudo, com registros desde o extremo norte da FMA Ia, em frente a Itaúnas, até ao extremo sul da FMA Ia, em frente a Santa Cruz (Figura 28). Ficou evidente que a concentração da espécie está mais predominantemente ao sul da foz do rio Doce (área com o contorno em preto representando mais de 50% das ocorrências em cada período de amostragem). No quarto trimestre de 2023 e no primeiro trimestre de 2024 (período chuvoso) a distribuição da toninha esteve mais restrita à região da foz do rio Doce.

No primeiro trimestre de 2025, observou-se novamente uma concentração mais acentuada ao sul da área de estudo, especialmente próxima à região da foz do rio Doce, mantendo o padrão registrado nos anos anteriores. Já no segundo e terceiro trimestres de 2025 houve redução expressiva dos registros da espécie ao longo da área monitorada, com ausência de áreas centrais bem definidas e ocorrência mais dispersa e pontual. No quarto trimestre desse mesmo ano, não houve registros de toninhas durante os transectos realizados.

Essa redução pode estar associada a fatores ambientais e operacionais, os quais reduzem a visibilidade durante os monitoramentos. Além disso, variações temporais na disponibilidade de presas e nas características oceanográficas da região podem influenciar os padrões de deslocamento da espécie dentro da própria área de distribuição. Somado a isso, a dinâmica temporal do monitoramento também pode influenciar as estimativas observadas, uma vez que a área amostral não é percorrida integralmente de forma simultânea, possibilitando deslocamentos das toninhas entre diferentes setores durante a realização das campanhas, o que pode afetar sua detectabilidade em determinados períodos.

Ainda assim, a ausência ou redução de registros em determinados trimestres também representa um resultado relevante para compreensão da dinâmica espacial da espécie na área de estudo. Embora não tenham sido registradas toninhas durante os voos de transecto até 7 km da costa no 4º trimestre de 2025, indivíduos da espécie continuaram sendo observados nos voos de comportamento ("behaviour"), realizados mais próximos à costa e em velocidades reduzidas, o que proporciona maior capacidade de detecção.

Esses resultados indicam que a espécie permaneceu utilizando a região ao longo de todo o período monitorado, sendo as oscilações observadas nas estimativas possivelmente relacionadas às características do método empregado, às condições ambientais durante as campanhas e à própria dinâmica espacial das toninhas dentro da área amostral. Dessa forma, os dados obtidos até o momento não indicam tendência clara de aumento ou redução populacional ao longo da série temporal analisada. Corroborando com os registros nos últimos sobrevoos tripulados e com estudos sobre a distribuição da espécie na região (AMORIM et al., 2022; SUCUNZA, et al. 2023, RRDM, 2020; RRDM, 2022).

Para estimar a abundância da população da toninha na FMA Ia, foi percorrido um total de 9.365,8 km, entre o terceiro trimestre de 2023 até o primeiro trimestre de 2026, abrangendo ao menos dois ciclos completos de períodos seco e chuvoso. A área de distribuição da espécie, a qual foi considerada para a distribuição dos 63 transectos de forma homogênea, possui 1432 km^2.

Para o período seco, durante o terceiro trimestre de 2023 a abundância total da população de toninha da FMA Ia para a região amostrada foi estimada em 1587 indivíduos (CV =0,068, 95% CI = 1736 - 1451). Enquanto no quarto trimestre de 2023 (ainda no período chuvoso), a abundância estimada foi de 1129 indivíduos (CV = 0,069, 95% CI = 1239 - 1028). No ano de 2024, a estimativa de abundância no primeiro trimestre foi de 1001 indivíduos (CV=0,069, 95% CI= 1090 - 918), no segundo trimestre de 1202 indivíduos (CV = 0,0,69, 95% CI = 1570 – 921), no terceiro trimestre de 1691 (CV=0,069, 95% CI= 1849 - 1547), e no quarto trimestre de 469 (CV=0,069, 95% CI= 423 - 520). No ano de 2025, a estimativa para o primeiro trimestre foi de 1067 (CV=0,069, 95% CI= 974 – 1169). no segundo trimestre de 695 indivíduos (CV = 0,072, 95% CI = 762 – 634), no terceiro trimestre de 198 (CV=0,075 95% CI= 218 - 179), e no quarto trimestre não foi possível calcular por ter tido avistagens.de 0 indivíduo (CV=0, 95% CI= 0). No ano de 2026, a estimativa para o primeiro trimestre foi de 2532 (CV=0,057, 95% CI= 2352 - 2727) (Tabela 2).

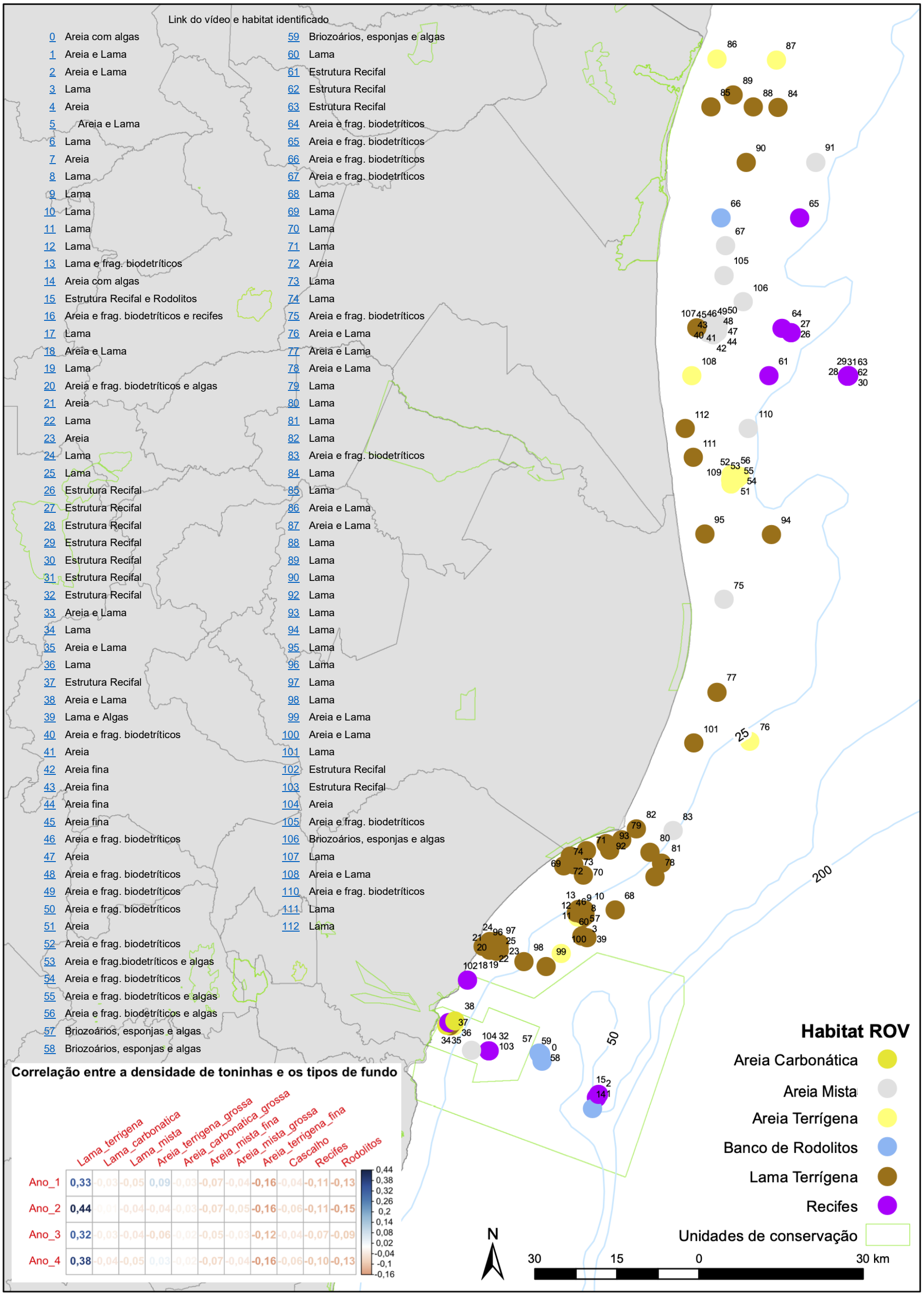
Tabela 2: Estimativas de abundância da toninha (*Pontoporia blainvillei*) por trimestre entre julho de 2023 e março de 2026 na região da FMA Ia, entre Santa Cruz (Aracruz-ES) e Itaúnas (Conceição da Barra-ES). São apresentados os valores estimados de abundância (n) e seus respectivos intervalos mínimo e máximo para cada período amostral, considerando as estações do ano correspondentes.

TRIMESTRE	ESTAÇÃO	ABUNDÂNCIA (n)	(MÍN – MÁX)
2023_3	Inverno	1587	1451-1736
2023_4	Primavera	1129	1028-1239
2024_1	Verão	1001	918-1090
2024_2	Outono	1202	921-1570
2024_3	Inverno	1691	1547-1849
2024_4	Primavera	469	423-520
2025_1	Verão	1067	974-1169
2025_2	Outono	695	634_762
2025_3	Inverno	198	179-218
2025_4	Primavera	-	-
2026_1	Verão	2532	2352 - 2727

A região FMA Ia (entre o rio Piraquê-Açú e Itaúnas) é a distribuição mais ao norte da espécie e isolada das outras regiões. Os resultados mostram uma possível diminuição na abundância na área estudada durante os anos de coleta e em comparação com estudos já realizados (SUCUNZA et al., 2023). Apesar de uma redução observada no quarto trimestre de 2024, a estimativa populacional da *P. blanivillei* mantiveram-se relativamente elevadas no primeiro trimestre de 2025, seguido por uma queda acentuada entre o segundo e o quarto trimestres de 2025. Essa redução pode estar associada tanto à fatores ambientais e oceanográficos quanto às limitações de detectabilidade durante as campanhas de monitoramento. No primeiro trimestre de 2026, foi observado um aumento da abundância, com a maior estimativa registrada em toda a série temporal monitorada, indicando que a utilização da área pela espécie permanece dinâmica, com uma alta concentração no verão, como identificado por Barreto et al., (2026). Ainda assim, o padrão observado segue ao longo dos trimestres monitorados, com maiores estimativas para os períodos secos.

3.1.3 Caracterização do tipo de fundo marinho (ROV)

Figura 29: Mapa com a distribuição dos pontos explorados com o ROV e correlação espacial entre a densidade kernel dos registros bioacústicos da toninha e os tipos de fundos identificados. Os números tabelados na figura representam vídeos selecionados para identificação dos habitats a partir de amostragens realizadas até o ano 2022.



As amostras coletadas pelo ROV de 2019 até 2022 foram correlacionadas em formato de um mapa da densidade kernel de registros de toninhas obtidos por bioacústica para os 4 anos de monitoramento (meta foi concluída no Novo Ciclo do PMBA/Fest-UFES, em ago/22). A espécie está associada ao fundo inconsolidado, principalmente lamoso, que ocorre ao sul da foz do rio Doce (Figura 29).

A análise foi complementada com dados da distribuição das fácies sedimentares na plataforma continental e a geomorfologia costeira (VIEIRA, 2019). Um grid de 5x5 km foi estabelecido até 35 km de distância da costa entre a APA Costa das Algas e Itaúnas, sendo que a média da densidade kernel das ocorrências de toninha foi correlacionada com a área de cada tipo de habitat para cada célula desse grid. Para os quatro anos de monitoramento bioacústico (2019 a 2022), a ocorrência desta espécie ficou altamente correlacionada com o habitat lama terrígena, com destaque para o Ano 2 que obteve um índice de correlação de 0,44 com o fundo inconsolidado lamoso. O resultado destaca a alta fidelidade da espécie ao habitat lamoso imediatamente ao sul da foz do rio Doce. A região é utilizada como área de alimentação da toninha, *Pontoporia blainvillei* (GIACOMO *et al.,* 2021). Esta associação determina a alta vulnerabilidade da toninha às regiões com mais depósito dos Material Ligado ao Desastre - MLD (OLIVEIRA-FERREIRA *et al.,* 2022). Os vídeos estão disponibilizados nos links da tabela presente na figura, referenciados espacialmente no mapa pelo número de identificação.

A partir do dronemonitoramento observou-se que a região de Comboios apresentou maior ocorrência de *P. blainvillei*, assim como um maior percentual do registro do comportamento alimentar da espécie, observado no período seco e chuvoso. Observou-se uma tendência da população em utilizar de forma alternada a foz do rio Doce e Comboios, assim como uma preferência pelo uso de Comboios, principalmente nos primeiros anos de monitoramento (Figura 23). Em Comboios foi registrado uma maior proporção de filhotes no período chuvoso comparado à foz do rio Doce, onde houve um aumento no número relativo de indivíduos adultos, a partir do primeiro trimestre de 2021. Foi identificado com o ROV que a ocorrência de *P. blainvillei* está associada ao fundo inconsolidado, principalmente lamoso, que ocorre em áreas próximas ao sul da foz do rio Doce. A partir da bioacústica e do sobrevoo tripulado encontrou-se um grau de concordância relativamente alto ($W=0,72$; $p<0,001$), indicando possível fidelidade da população remanescente de *P. blainvillei* às áreas costeiras ao redor da foz do rio Doce, com concentração ao sul desta.

Houve um aumento da vulnerabilidade (sensibilidade e suscetibilidade) da população da toninha devido ao uso intensivo de áreas impactadas para alimentação e reprodução. A espécie está associada ao fundo inconsolidado, principalmente lamoso, que ocorre ao sul da foz do rio Doce, área mais impactada pelo MLD.

3.2 INTEGRIDADE DOS HOTSPOTS DE MEGAFAUNA MARINHA

Figura 30: Mapa com a distribuição dos hotspots para análise da integridade. Os links das vídeo-amostras de cada réplica realizada no período chuvoso, constam no banco de dados disponibilizado.

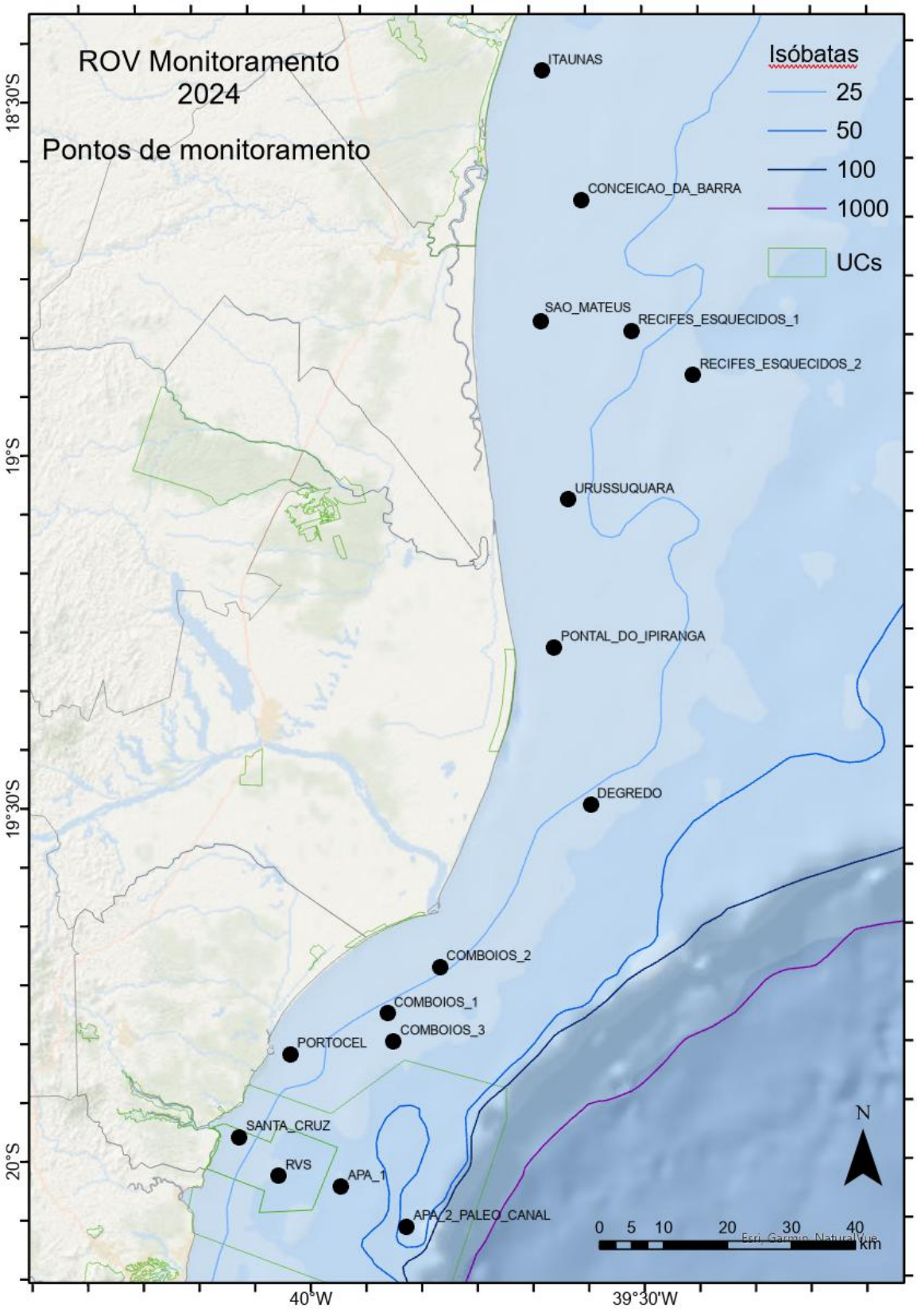
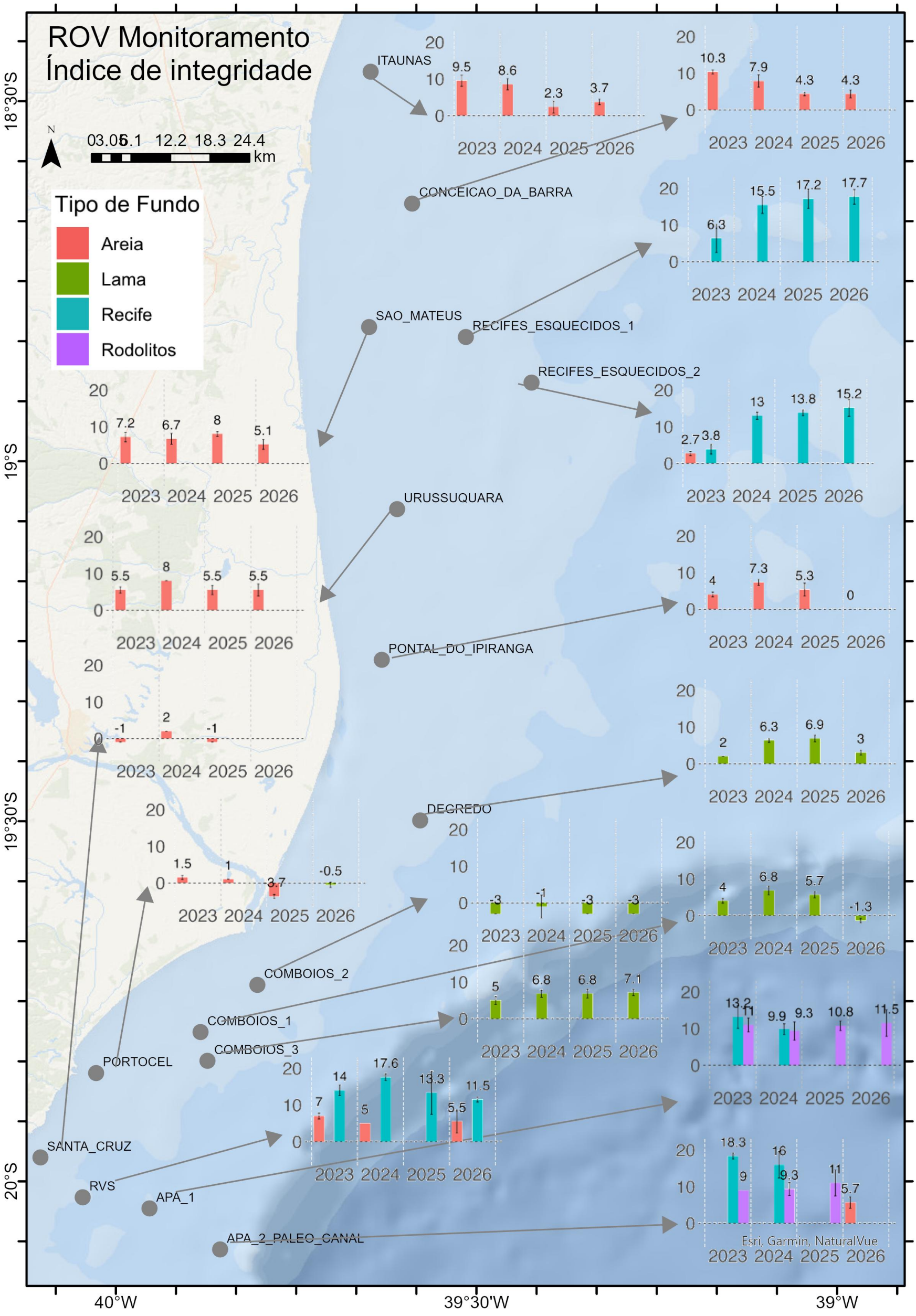


Figura 31: Mapa com a média dos índices de integridade calculados para cada hotspot amostrado e tipo de fundo predominante. Os valores podem ser negativos ou positivos, podendo ser comparáveis para o mesmo tipo de fundo em diferentes hotspots. As amostragens foram realizadas no período chuvoso de cada ano.



A análise da integridade ambiental dos hotspots pré-definidos no plano de trabalho foi implementada no período do Novo Ciclo do PMBA/Fest-UFES, tendo no mínimo seis vídeo-amostras coletadas em cada ponto representado na Figura 30. A integridade foi avaliada por tipo de fundo predominante em cada amostra e a média dos valores de cada ponto foi calculada, conforme representado na Figura 31.

O índice de integridade ambiental foi aplicado às vídeo-amostras obtidas pelo ROV nos meses de janeiro e fevereiro de cada ano com o objetivo de avaliar a integridade dos ambientes e sua variação entre os anos.

Nas áreas mais costeiras, principalmente de fundos de areia e lama, em geral houve uma diminuição na integridade dos ambientes, representada pelo índice, sendo que em São Mateus e Urussuquara a diminuição foi mais branda, já em Pontal do Ipiranga destaca-se uma diminuição acentuada para o ano de 2026, devido a elevada turbidez encontrada nessa campanha. As áreas de lama se mantiveram com integridade baixa, com uma melhora em Degredo para os anos de 2024 e 2025, seguido novamente por uma diminuição em 2026. Nos recifes esquecidos a integridade melhorou ao longo dos anos (entre 2023 e 2025), entretanto, nos recifes da APA Costa das Algas (2023 e 2025) e RVS de Santa Cruz a integridade apresentou leve piora. Os fundos de Rodolitos mantiveram a integridade estável.

Em 2025, o índice de integridade ambiental de Santa Cruz retornou aos valores observados em 2023, apresentando média de -1 (±0,89). De modo geral, a área manteve características estruturais e níveis de influência antrópica semelhantes aos registrados nos anos anteriores. Entretanto, diferentemente do observado em 2024, não foram registradas evidências de marcas no fundo nem presença de ictiofauna durante as campanhas realizadas em 2025. Ressalta-se que não foi possível realizar a coleta de dados nesse ponto no ano de 2026, impossibilitando comparações para o período. No hotspot RVS, o índice diminuiu de 17,6 (±0,89) em 2024, para 13,33 (± 5,88) em 2025 e para 11,5 (± 0,70) em 2026, com presença de areia. O ponto APA 1 demonstrou uma leve melhora nos anos de 2025 (10,78 (±1,3)) e 2026 (11,5 (±3,61) nos fundos de rodolito, sendo que os fundos de recifes não foram encontrados na amostragem de 2025 nem de 2026. As pequenas variações entre os parâmetros se devem à menor observação de fragmentos carbonáticos no decorrer dos anos. O hotspot APA 2 continuou a apresentar declínio na média do índice de integridade, seguindo a tendência observada entre 2023 e 2024. A média em 2025 foi de 11 (±3,52) para o fundo de rodolitos e já não foi encontrado os recifes, em 2026 a média encontrada foi de 5,7 (±1,52) para o fundo de areia, não sendo possível localizar os recifes nem os rodolitos na atual campanha.

Em Portocel, a média do índice seguiu em declínio ao longo dos anos amostrados, atingindo -3,66 (±0,51) em 2025, com uma leve melhora para 2026: -0,5 (±0,70). O local manteve a alta turbidez, mas em 2025 e 2026, foi possível observar a presença de resíduos lamosos nos transectos.

Comboios 1 apresentou uma variação muito expressiva, passando de 6,83 (±1,17) em 2024 e 5,67 (±0,82) em 2025 para -1,3 (±0,58) em 2026. Essa variação se deve à menor observação de fragmentos carbonáticos no substrato. Em Comboios 2, a análise indicou um índice médio de -3,0 (±0) para 2025 e 2026. Essa diminuição, em comparação com 2024, ocorreu devido ao desaparecimento de estruturas no fundo, o que resultou em uma redução da média dos critérios estruturais. Comboios 3 apresentou

estabilidade entre 2024 e 2025 e um leve aumento em 2026, com a média mantida em 6,83 (±0,98) e 6,83 (±1,17), e 7,1(±0,83) respectivamente.

Em Degredo, foi observada variação expressiva para a atual campanha, com um leve aumento de 6,33 para 6,86 (±0,9) entre 2024 e 2025 e um decaimento do índice para média 3 (±0,63) para 2026. Em 2026, a região de Pontal do Ipiranga apresentou o menor valor da média do índice já observado, chegando em 0. As variações positivas dos anos anteriores são atribuídas à maior presença de ictiofauna, e essa diminuição expressiva para 2026 se justifica pela grande turbidez observada nesse ponto impedindo a visualização de qualquer estrutura ou animais na área amostrada Em Urussuquara, a média de 5,5 (±1,22) observada em 2025 e 5,5 (±1,64) 2026 retornou ao mesmo patamar de 2023, após o aumento registrado em 2024 com média de 8,0 (±0). Essa variação se deu devido à diminuição da turbidez em 2024 e à menor observação de fragmentos carbonáticos no substrato em 2025 e 2026.

O hotspot Recifes Esquecidos 1 apresentou aumento na média do índice em 2025 e 2026 em relação aos anos anteriores. A média de 17,7 (±2,00) seguiu a tendência de crescimento dos anos anteriores, com destaque para a observação de estruturas no substrato e a diminuição de resíduos lamosos. Recifes Esquecidos 2 teve um aumento em relação ao ano anterior, variando de 13,8 (±0,84) em 2025 para 15,2 (±2,30) em 2026. Essa variação é devida à observação de presença mais constante de ictiofauna.

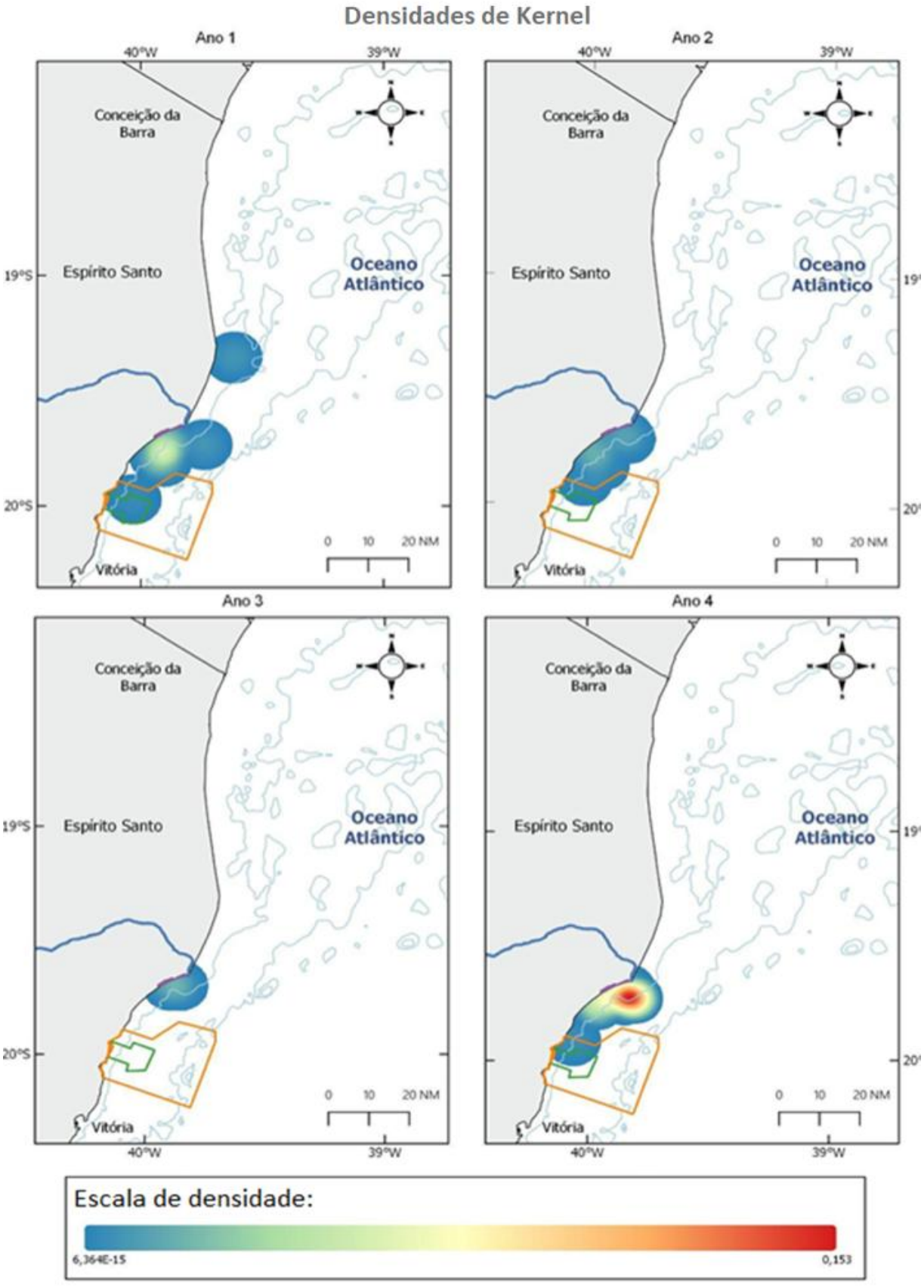
São Mateus em 2025 apresentou aumento em relação aos anos anteriores, registrando uma média de 8,0 (±0,63). O aumento é atribuído à maior presença de marcas de fundo como critério estrutural e de organismos bentônicos como critério biológico, porém, foi observado um decaimento no índice em 2026, com média de 5,1(±1,34). Em Conceição da Barra, o índice médio e 2026 foi de 4,33 (±0,52) e 4,33(±1,03), respectivamente, seguindo a tendência de diminuição observada em 2023 e 2024. Essa redução é atribuída principalmente à proliferação de uma espécie de alga marinha na região. Itaúnas apresentou uma variação negativa, caindo de 8,55 (±1,5) em 2024 para 2,33 (±1,66) em 2025, com uma leve recuperação para 2026 de 3,7 (±0,75). A queda se deve à redução nos critérios estruturais e aumento dos critérios antropogênicos em relação ao ano anterior, com menor presença de estruturas no substrato e aumento da turbidez observados em 2025.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS ANOS DE MONITORAMENTO ACERCA DOS INDICADORES OBSERVADOS E O AMBIENTE MONITORADO

Pelo dronemonitoramento, observou-se uma tendência da população de toninhas em utilizar de forma alternada a foz do rio Doce e Comboios, assim como uma preferência pelo uso de Comboios, principalmente nos primeiros anos de monitoramento. No dronemonitoramento de longo alcance, a utilização da região do rio Doce pela espécie ficou ainda mais evidente, principalmente nos períodos chuvosos. Não houve registro de toninha, na foz do rio Doce, no terceiro trimestre de 2019, no terceiro trimestre de 2022 (período seco), no primeiro trimestre de 2023 (período chuvoso) nem no quarto trimestre de 2025 (período chuvoso). Na região da foz do rio Doce há um maior número de registros a

partir do primeiro trimestre de 2021, principalmente por indivíduos adultos. Em Comboios, há um maior número de filhotes no período chuvoso (trimestres com meses de verão), o que pode ter relação com o período de nascimento da espécie, que ocorre preferencialmente na primavera. A estimativa de abundância da população (2023 – 2026) variou entre as médias de 2532 a 198 indivíduos, entre os trimestres. O monitoramento com drones mostra a condição do ambiente e da megafauna marinha em áreas mais atingidas pelo MLD e reforça essa hipótese devido as avistagens ao longo dos trimestres desde o início da amostragem. Isso indica uma maior dependência da população remanescente da espécie, já altamente ameaçada, de uma pequena área dentro da região mais impactada pelo MLD. O comportamento alimentar indica que a biomassa resultante da absorção de elementos derivados do MLD na cadeia alimentar está sendo incorporada na população.

Figura 32: Densidade de toninhas obtida pelo monitoramento bioacústico, mostrando a concentração da população ao sul da foz do rio Doce.



A partir da bioacústica e do sobrevoo tripulado encontrou-se um grau de concordância relativamente alto (W=0,72; p<0,001), indicando possível fidelidade da população remanescente de toninha às áreas costeiras ao redor da foz do rio Doce (Figura 32). As maiores densidades foram encontradas ao sul da foz do rio Doce nos quatro anos de monitoramento dessas metodologias, com a maioria das ocorrências fora das Unidades de Conservação APA Costa das Algas e REVIS de Santa Cruz. Foi estimada uma densidade para a espécie de 0,32 grupos/km2, resultando em um tamanho populacional de 777 indivíduos (IC 95% 410-1.474; CV: 0,34) no litoral do Espírito Santo. Desta forma, espera-se que não mais de 388 sejam indivíduos maduros e não mais que 194 sejam fêmeas maduras. Além disso, constatou-se que a população de toninhas do Espírito Santo é a menor e a que apresenta a área de vida mais restrita entre todas as populações da espécie e há indícios de redução gradativa da área de ocupação desse restrito grupo de animais com predominância na área mais impactada pelo MLD.

As amostras coletadas pelo ROV foram correlacionadas em formato de um mapa da densidade Kernel de registros de toninhas obtidos por bioacústica para os 4 anos de monitoramento. A espécie está associada ao fundo inconsolidado, principalmente lamoso, que ocorre ao sul da foz do rio Doce. A análise foi complementada com dados da distribuição das fácies sedimentares na plataforma continental e a geomorfologia costeira. Um grid de 5x5 km foi estabelecido até 35 km da costa entre a APA Costa das Algas e Itaúnas, sendo que a média da densidade Kernel das ocorrências de toninha foi correlacionada com a área de cada tipo de habitat para cada célula desse grid. Para os quatro primeiros anos de monitoramento bioacústico, a ocorrência desta espécie ficou altamente correlacionada com o habitat lama terrígena, com destaque para o Ano 2 que obteve um índice de correlação de 0,44 com o fundo inconsolidado lamoso. O resultado destaca a alta fidelidade da espécie ao habitat lamoso imediatamente ao sul da foz do rio Doce. Esta associação determina a alta vulnerabilidade da toninha às regiões com mais depósito do Material Ligado ao Desastre.

5. ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS

Todos os itens previstos para Tema Monitoramento Remoto da Megafauna foram cumpridos.

6. REFERÊNCIAS

AMORIM, T. O., CASTRO, F. R. D., FERREIRA, G. A., NERI, F. M., DUQUE, B. R., MURA, J. P., & ANDRIOLO, A. Acoustic identification and classification of four dolphin species in the Brazilian marine area affected by the largest tailings dam failure disaster. The Journal of the Acoustical Society of America, 152(6), 3204-3215. 2022.

BARLOW, J., OLIVER, C.W., JACKSON, T.D. & TAYLOR, B. L. Harbor porpoise, Phocoena phocoena, abundance estimation for California, Oregon, and Washington: II. Aerial Surveys. Fishery Bulletin: Vol. 86, No3. 1988.

BARRETO, J., CAJAÍBA, L., TEIXEIRA, J.B., NASCIMENTO, L., GIACOMO, A., BARCELOS, N., FETTERMANN, TI. & MARTINS, A.S. Drone-Monitoring: Improving the Detectability of Threatened Marine Megafauna. Drones. 5.14. 2021.

BARRETO, J., DI GIACOMO, A., VENTURINI, D., SUCUNZA, F., TEIXEIRA, J. B., FREIRE, J. B., NASCIMENTO, L., CAJAIBA, L., BARCELOS, N., VENTURA, T. B., & MARTINS, A. S. (Seasonal Occurrence and Behavior of an Endangered Franciscana Dolphin (Pontoporia blainvillei pukusi) Population. *Marine Mammal Science*, *42*(2), e70156. 2026.

BUCKLAND, S.T., ANDERSON D.R., BURNHAM K.P., LAAKE J.L., BORCHERS D.L. & THOMAS L. Introduction to Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations. Oxford University Press. 2001.

CALENGE, C. Home range estimation in R: the adehabitatHR package. *Office national de la classe et de la faune sauvage: Saint Benoist, Auffargis, France*. 2011.

CRÉOCÉAN. 2004. Notes pour la proposition d'un indice des paysages sous-marin du Languedoc-Roussillon. Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, Montpellier.

CRESPO, E., A., PEDRAZA, S.N., GRANDI, M.F., DANS, S.L., GARAFFO, G.V. Abundance and distribution of endangered Franciscana dolphins in Argentine waters and conservation implications. Marine Mammal Science, 26(1): 17–35. 2009.

CUNHA, H.A., MEDEIROS B.V., BARBOSA L.A., CREMER M.J., MARIGO J. Population Structure of the Endangered Franciscana Dolphin (*Pontoporia blainvillei*): Reassessing Management Units. PLOS ONE 9(1): e85633. 2014.

DENUNCIO, P., BASTIDA, R., DANILEWICZ, D., MORON, S., & HEREDI, S., RODRIGUEZ, D. Calving chronology of the Franciscana dolphin (*Pontoporia blainvillei*): birth, lactation and first predatory feeding evidences in coastal waters of Argentina. Aquatic Mammals. 39. 22-28. 10.1578/AM.39.1. 2013.

GIACOMO A.B., BARRETO J., TEIXEIRA J.B., OLIVEIRA L., CAJAÍBA L., JOYEUX J.C., BARCELOS N. & MARTINS A.S. Using drones and ROV to assess the vulnerability of marine megafauna to the Fundão tailings dam collapse. Sci Total Environ. 2021.

HILL, L. L. S. et al. The Ecosystem Integrity Index: a novel measure of terrestrial ecosystem integrity with global coverage. bioRxiv. 2022.

NARA, L., SECCHI, E. R., & CUNHA, H. A. Divergence, diagnosability, and description of a new subspecies of franciscana dolphin *Pontoporia blainvillei* (Gervais & d'Orbigny, 1844). Journal of Mammalian Evolution, 31-32. https://doi.org/10.1007/s10914-024-09718-3.2024

OLIVEIRA-FERREIRA, N., MANHÃES, B., SANTOS-NETO, E., EMI, Y., GUARI, B., BOTTA, S., COLOSIO, A., RAMOS, H., BARBOSA, L., CUNHA, I., BISI, T., AZEVEDO, A., CUNHA, H., LAILSON-BRITO, J. Franciscana dolphins, *Pontoporia blainvillei,* as environmental sentinels of the world's largest

mining disaster: Temporal trends for organohalogen compounds and their consequences for an endangered population, Environmental Pollution, Volume 306. 2022.

RRDM, Rede Rio Doce Mar. Relatório Anual do PMBA/Fest-RRDM – Ambiente Marinho. RT-36D, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 1600 pag. 2020.

RRDM, Rede Rio Doce Mar. Relatório Anual do PMBA/Fest-RRDM – Evolução espaço-temporal do Ambiente Marinho. RT-39D, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 1410 pag. 2022.

SECCHI, E. R. “Review on the threats and conservation Status of Franciscana, *Pontoporia blainvillei* (Cetacea, Pontoporiidae),” in Biology, Evolution and Conservation of River Dolphins within South America and Asia, Vol. 1, eds J. M. Shostell and M. Ruiz-Garcia (Hauppauge, NY: Nova Science Publishers Inc.), 323–339. 2010

SUCUNZA, F., DANILEWICZ, D., OTT, P. H., NEVES, M., FARRO, A. P. C., MARTINS, A. S., & ZERBINI, A. N. Distribution, population size and IUCN Red Listing of an isolated population of the threatened franciscana. *Endangered Species Research*, *52*, 17-26. 2023

THORIN, S., BODILIS, P., SCHVARTZ, T., DUTRIEUX, E., & FRANCOUR, P. Seascape integrity assessment: A proposed index for the Mediterranean coast. In *Underwater seascapes: From geographical to ecological perspectives* (pp. 263-275). Cham: Springer International Publishing.2014

VIEIRA, F. V. et al. Along-shelf changes in mixed carbonate-siliciclastic sedimentation patterns. v. 187, p. 103964–103964. 2019.