UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO OCEANOGRÁFICO

LUCAS NOBREGA DELCISTIA

Análise comparativa da biota críptica incrustante em ilhas costeiras de São Paulo, Brasil

São Paulo
2021

LUCAS NOBREGA DELCISTIA

Análise comparativa da biota críptica incrustante em ilhas costeiras de São Paulo, Brasil

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Biológica.

Orientador: Prof. Dr. Tito Monteiro da Cruz Lotufo.

São Paulo

2021

DELCISTIA, L. N. **Análise comparativa da biota críptica incrustante em ilhas costeiras de São Paulo, Brasil**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

Aprovado em:

Versão corrigida

Banca examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente, aos meus pais, Solange e Cyro, por estarem sempre ao meu lado com todo carinho, apoio, preocupação e interesse pelo desenvolvimento deste trabalho. Sem toda a dedicação de vocês, nunca teria tido as oportunidades que me trouxeram até este momento e com certeza não seria a pessoa que sou hoje, muito obrigado por tudo. Agradeço também ao meu tio, Marcelo Nóbrega, por sempre me encorajar e estar presente no planejamento de minha vida acadêmica e profissional, sendo uma grande inspiração.

Agradeço ao meu namorado Nickolas Morilho que, com muita paciência e amor, aguentou todos meus momentos eufóricos e crises de ansiedade e choro causados pela repentina mudança de rotina e isolamento prolongado por conta da pandemia, além de todo estresse e pressão do trabalho e do ambiente acadêmico. Sem ele, com certeza estaria bem pior quanto a minha saúde, tanto física, quanto mental, sua presença e apoio foram, e são, meu porto seguro. Muito Obrigado por tudo, te amo demais!

Agradeço ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP) pela oportunidade de realizar meu mestrado em um programa de pós-graduação muito bem avaliado e reconhecido nacionalmente.

Agradeço muito ao meu orientador, Tito Lotufo, que, desde antes de eu iniciar o mestrado, se mostrou muito receptivo e atencioso, e aceitou me orientar após o resultado do processo seletivo em 2019, mesmo não me conhecendo direito. Agradeço por todos os ensinamentos e ajuda, aprofundando meus conhecimentos em ecologia marinha, uma área que certamente me apaixonei ainda mais durante estes dois anos, especialmente dentro de um projeto tão inovador como as ARMS.

Agradecimentos especiais aos Doutores Christopher Meyer e Sarah Tweedt, da Smithsonian Institution, por terem vindo ao Brasil acompanhar e auxiliar no processamento das ARMS da Ilha de Alcatrazes, sempre mostrando a beleza e praticidade do projeto como um todo. Um grande agradecimento também a equipe de profissionais que participaram do processamento das ARMS em março de 2020 e posterior identificação dos organismos para confecção deste trabalho, Doutores Fernando Moraes (JBRJ), Cristiane Barroso (UFC), Alvaro Migotto (CEBIMar), Rafael Metri (UNESPAR) e Ana Carolina Almeida (UFPE).

Um grande agradecimento a equipe do BIOREC, Guilherme, Júlia, Alexandre, Amanda, Thabata, João, Silas, Luísa, Ana Paula e Bianca Del Bianco (ICBUSP), tanto em campo no

processamento das ARMS, quanto pela convivência no laboratório e a distância durante esse momento de isolamento. Agradecimentos especiais a Sandra Bromberg e Ana Cristina Leonel por terem constituído grandes amizades e uma rede de apoio mútuo para diversos assuntos, tanto pessoais, quanto profissionais, além de terem contribuído muito com leituras minuciosas deste trabalho.

Agradeço também a minha antiga orientadora da graduação, e atual colega de profissão, Paola Dall'Occo, por sempre ter me encorajado a perseguir esse caminho na pesquisa com oceanografia e a não desistir do processo seletivo do IOUSP. Obrigado por sempre confiar em minhas capacidades como profissional e como pessoa. Agradeço também a todos meus amigos do período de graduação por me acompanharem desde o início desta jornada de estudos pela pesquisa em ecologia e oceanografia, além de todo o apoio inestimável.

A todas as outras pessoas que me acompanharam neste processo deixo meus sinceros agradecimentos. Viva à ciência!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“Alienígenas interessados em pesquisar a vida na Terra provavelmente começariam por sua paisagem dominante – o mar. “Sigamos a água”, talvez eles dissessem. “Toda vida precisa de água, e olha só! A Terra é azul!”. Ao mergulhar, eles logo descobririam o que os terráqueos finalmente estão começando a entender: a maior abundância e diversidade de vida do planeta (e, até onde sabemos, do universo) está ali, embaixo d’água, entre a superfície e as maiores profundezas do mar.” (EARLE, 2017, p. 131)

RESUMO

DELCISTIA, L. N. **Análise comparativa da biota críptica incrustante em ilhas costeiras de São Paulo, Brasil.** 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

Ambientes coralíneos são importantes, complexos e valiosos sistemas de vida marinha da região costeira. Possuem alta relevância biológica e socioeconômica e abrigam uma infinidade de organismos, muitos nunca nomeados ou descritos. Comunidades bênticas destes ambientes são altamente diversas e parte dela é denominada fauna críptica, geralmente composta por invertebrados habitantes da matriz recifal. Muitos organismos ali viventes realizam bioincrustação e seu estudo é negligenciado por conta de dificuldades como identificação taxonômica e o acesso ao ambiente críptico. Neste contexto, foram concebidas as *Autonomous Reef Monitoring Structures* (ARMS) como um método de amostragem de biodiversidade recifal padronizado, cujo objetivo é reproduzir a matriz recifal, atraindo sua biota para colonizá-la como abrigo. Assim, este trabalho teve por objetivo realizar a análise comparativa da biota críptica incrustante de ARMS instaladas em ilhas costeiras de São Paulo através de levantamento faunístico baseado na captura de imagens em alta definição e taxonomia tradicional. Quatro conjuntos de ARMS foram instalados entre março e abril de 2019, dois na Ilha de Alcatrazes e dois em Ubatuba, nas Ilhas de Palmas e Cabras. Um ano depois, foram recuperadas para processamento. As estruturas foram desmontadas e fotografias em alta definição foram feitas de cada face de suas placas, totalizando 216 imagens. Utilizando a plataforma CoralNet, as imagens foram processadas e organismos foram identificados até o menor nível taxonômico possível. Os dados obtidos foram analisados quanto à riqueza, diversidade e padrões de cobertura bêntica em diferentes escalas espaciais. Foi identificada grande abundância de briozoários, tunicados e esponjas, além de poliquetas e moluscos. A Ilha de Alcatrazes apresentou maior riqueza, entretanto, Ubatuba foi mais diverso do que Alcatrazes considerando-se os índices de Simpson e Shannon. Foram observados padrões intercalados de diversidade e riqueza dentro da estrutura das ARMS, que podem ser resultantes do próprio design das ARMS e como este favoreceu a adição de micro-habitats nas estruturas. A análise de diversidade beta evidenciou maior relevância na substituição de componentes do que seu aninhamento e atestou grande complexidade no ambiente críptico. As ARMS mostraram-se ferramentas eficientes para o estudo do componente críptico, constituindo um método não destrutivo e gerando conhecimento em prol da conservação destes ambientes, com custo-benefício satisfatório.

Palavras-chave: ARMS. Fauna críptica. Comunidade bêntica. Ecologia marinha.

ABSTRACT

DELCISTIA, L. N. **Comparative analyses of cryptic encrusting biota in coastal islands of the São Paulo State, Brazil**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

Coralline environments are important, complex and valuable systems of coastal marine life. They are highly relevant biologically and socioeconomically, harboring an infinite number of organisms, most of which have never been named or described. Local benthic communities are diverse and one of its components is the cryptic fauna, usually composed by invertebrates that inhabit crevices within the reef matrix. Many of them encrust to surfaces and their study is hampered by the limited access to this component and troublesome taxonomic identification. To deal with such issues, the Autonomous Reef Monitoring Structures (ARMS) were conceived as a standardized reef biodiversity sampling method, aimed at reproducing the reef matrix and attract the colonization of the cryptic biota. Therefore, the goal of this study is to analyze and compare cryptic encrusting biota from installed ARMS structures in coastal islands of the São Paulo estate, Brazil, through high-definition image capture and traditional taxonomy. Four ARMS sets were deployed between March and April of 2019, two in Alcatrazes isle and two in Ubatuba, in Palmas and Cabras isles and, one year later, retrieved for processing. The structures were disassembled and all 216 face plates were photographed in high definition. All images were processed using the CoralNet platform and organisms were identified to the lowest possible taxonomic level. Resulting data was analyzed regarding richness, diversity and benthic coverage for different spatial scales. A great abundance of bryozoans, tunicates, sponges, polychaetes and mollusks were identified. ARMS from the Alcatrazes island showed higher richness, while Ubatuba showed higher diversity according to both Simpson and Shannon indexes. Interspersed patterns of diversity and richness were observed inside the ARMS structure, which can be a result caused by the ARMS own design and the addition of micro-habitats in the structures themselves. Beta diversity analyses showed higher component turnover rather than their nestedness, thus vouching for a big complexity in the cryptic component. The ARMS were very efficient to assess the cryptic biota, being a non-destructive method that generates knowledge for the conservation of these environments with satisfactory cost-benefit.

Key-words: ARMS. Cryptic fauna. Benthic community. Marine ecology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura de uma ARMS montada. 14
Figura 2 - Estrutura de uma ARMS instalada após um ano recrutando organismos. 15
Figura 3 - Estação Ecológica (ESEC) Tupinambás. 18
Figura 4 - Setor 1, Arquipélago de Alcatrazes. Zonas primitivas em destaque. 19
Figura 5 - Setor 2, Arquipélago da Ilha Anchieta. Zona de uso conflitante em destaque. 20
Figura 6 - Localização geográfica das ARMS de ambos os sítios da Ilha de Alcatrazes (acima) e de Ubatuba (abaixo). 22
Figura 7 - Estrutura das ARMS após retirada e antes do processamento em laboratório. 23
Figura 8 - Estrutura das ARMS desmontada e mantida com aeradores. 24
Figura 9 - Vista expandida de uma estrutura das ARMS. 24
Figura 10 - Estrutura para captura de imagens das placas das ARMS montada no CEBIMar. 25
Figura 11 - Processo de obtenção de imagens das placas das ARMS. 26
Figura 12 - Imagens das placas das ARMS. A esquerda, placa 9B da estrutura B da Ilha das Palmas e, a direita, placa 6B da estrutura C da ESEC de Alcatrazes. 26
Figura 13 - Curva do coletor do teste com 10 imagens e 200 pontos. 28
Figura 14 - Exemplo de face das ARMS com o X causado pelos retângulos de PVC intercalados entre placas. Placa representada: BRUBA_2020_CABR_C_P2_B. 30
Figura 15 - Variação da riqueza de UTOs por cm² entre placas (1 a 9) das ARMS de todos os sítios. 33
Figura 16 - Variação da riqueza de UTOs por cm² entre faces inferiores (B) e superiores (T) das ARMS de todos os sítios. 33
Figura 17 - Variação da riqueza de UTOs por cm² entre faces que possuíam e que não possuíam o desenho em “X”. 34
Figura 18 - UTOs identificadas dentro de grandes grupos nos quatro sítios. “Outros” inclui Entoprocta, Cirripedia, biofilme, desovas de outros organismos. 35
Figura 19 - Abundância relativa das UTOs divididas em grandes grupos taxonômicos dentre todas as ARMS analisadas. “Outros” abriga Foraminifera, Cnidaria e desovas de peixes/moluscos. 36
Figura 20 – Porcentagem de cobertura por cm² das UTOs mais abundantes identificadas em todas as ARMS. 37
Figura 21 – Frequência relativa das 20 UTOs mais frequentes identificadas em todas as 216 faces das ARMS. 37

Figura 22 - Abundância relativa de grandes grupos nas ARMS do sítio Geladeira. "Outros" abriga Cirripedia, Foraminifera, Entoprocta, Cnidaria, Mollusca e desovas de peixes/moluscos. 38
Figura 23 - Abundância relativa de grandes grupos nas ARMS do sítio ESEC. "Outros" abriga Cirripedia, Foraminifera, Entoprocta, Mollusca, Porifera e desovas de peixes/moluscos. 38
Figura 24 - Abundância relativa de grandes grupos nas ARMS do sítio Palmas. "Outros" abriga Cirripedia, Foraminifera, Porifera, Mollusca e desovas de peixes/moluscos. 39
Figura 25 - Abundância relativa de grandes grupos nas ARMS do sítio Cabras. "Outros" abriga Cirripedia, Mollusca e desovas de peixes/moluscos. 39
Figura 26 – UTOs mais abundantes quanto a sua porcentagem de cobertura por cm² (acima) e frequência relativa (abaixo) nas faces das placas das ARMS do sítio Geladeira. 40
Figura 27 – UTOs mais abundantes quanto a sua porcentagem de cobertura por cm² (acima) e frequência relativa (abaixo) nas faces das placas das ARMS do sítio ESEC. 41
Figura 28 – UTOs mais abundantes quanto a sua porcentagem de cobertura por cm² (acima) e frequência relativa (abaixo) nas faces das placas das ARMS do sítio Palmas. 42
Figura 29 – UTOs mais abundantes quanto a sua porcentagem de cobertura por cm² (acima) e frequência relativa (abaixo) nas faces das placas das ARMS do sítio Cabras. 43
Figura 30 - Diversidade de Shannon entre placas (1 a 9) das ARMS de todos os sítios. 46
Figura 31 - Diversidade de Shannon entre faces superiores (T) e inferiores (B) das placas das ARMS de todos os sítios. 46
Figura 32 - Dendrograma de agrupamento das faces das ARMS do sítio Geladeira a partir do índice de similaridade de Bray-Curtis. 49
Figura 33 - Dendrograma de agrupamento das faces das ARMS do sítio ESEC a partir do índice de similaridade de Bray-Curtis. 50
Figura 34 - Dendrograma de agrupamento das faces das ARMS do sítio Palmas a partir do índice de similaridade de Bray-Curtis. 51
Figura 35 - Dendrograma de agrupamento das faces das ARMS do sítio Cabras a partir do índice de similaridade de Bray-Curtis. 52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados da ANOVA aninhada para riqueza e UTOs. 32
Tabela 2 - Biomassa da fração séssil de cada ARMS individualmente. 35
Tabela 3 - Resultados da PERMANOVA aninhada para cobertura bêntica das ARMS utilizando 999 permutações. 44
Tabela 4 – Resultados para os índices de diversidade de Simpson (1-D), Shannon-Weaver (H') e equitabilidade de Pielou (J') para cada localidade e sítio estudado. 44
Tabela 5 - Resultados da ANOVA aninhada para diversidade de Shannon-Weaver. 45
Tabela 6 - Resultados da diversidade beta entre locais de estudo e seus respectivos sítios. 47
Tabela 7 - Resultados da diversidade beta entre ARMS instaladas no mesmo sítio. 47
Tabela 8 - Resultados da diversidade beta para cada ARMS instalada nos sítios Geladeira e ESEC. 47
Tabela 9 - Resultados da diversidade beta para cada ARMS instalada nos sítios Palmas e Cabras. . 48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 11

1.1. Ambientes Coralíneos 11

1.2. Comunidades bênticas e fauna críptica 12

1.3. ARMS (*Autonomous Reef Monitoring Structures*) 13

1.4. Litoral Norte do Estado de São Paulo 16

1.5. Objetivo 17

2. MATERIAIS E MÉTODO 18

2.1. Área de estudo 18

2.2. Trabalho de campo e processamento de amostras 21

2.3. Processamento dos dados 27

2.4. Análise de dados 29

3. RESULTADOS 32

4. DISCUSSÃO 53

5. CONCLUSÃO 63

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 64

APÊNDICES 69

1. INTRODUÇÃO

1.1.Ambientes Coralíneos

Ambientes coralíneos podem ser caracterizados como alguns dos mais importantes e complexos sistemas de vida marinha, podendo ser encontrados desde regiões costeiras rasas até o mar profundo. Sua formação é derivada de diferentes fatores, podendo ser biogênica, a partir da construção geralmente calcária de corais e algas, ou abiogênica como os costões rochosos e recifes de arenito, sendo que geralmente há uma combinação de elementos bióticos e abióticos (BRASIL, 2017a).

Tais ambientes, como os recifes, são de grande relevância tanto em um viés socioeconômico, promovendo serviços ecossistêmicos como proteção costeira e pesca de subsistência, quanto ecológica por serem o ambiente de maior diversidade biológica marinha conhecido (LEÃO et al., 2016; BRASIL, 2017a). Sua diversidade pode variar segundo fatores locais e históricos. Recifes da região do indo-pacífico abrigam um maior número de espécies do que os do Oceano Atlântico, sendo que, neste último, a maior diversidade é encontrada no Caribe (ZILBERBERG et al. 2016). Grande parte das espécies presentes nestes ambientes nunca foi nomeada ou descrita, o que também faz deles grandes bancos genéticos de alta relevância natural (VILLAÇA, 2009; RANSOME et al., 2017).

Ambientes coralíneos também são conhecidos por sua complexidade estrutural. Sabe-se que esta complexidade está atrelada aos serviços ecossistêmicos que eles proveem. Dessa forma, a perda da cobertura coralínea acarreta em perda de complexidade, o que pode afetar o futuro das comunidades ali viventes (GRAHAM; NASH, 2013).

No Brasil, sobre a plataforma continental, ambientes coralíneos podem ser encontrados desde o Pará até Santa Catarina, incluindo os únicos recifes de coral do Atlântico Sul com alto grau de endemismo, assim como em Ilhas oceânicas como Fernando de Noronha, Atol das Rocas, até a Ilha de Trindade (ZILBERBERG, 2016).

Diferentemente das regiões supracitadas, o sudeste do país é dominado por ambientes coralíneos rochosos, os quais estão dentro de uma região de transição de um ambiente tropical para o subtropical. Nestes ambientes há, em geral menor, cobertura de corais pétreos, dando espaço para outros organismos como macroalgas, tunicados, zoantídeos, briozoários, entre outros, constituírem grande parte da diversidade ali encontrada (SILVA et al., 2019).

1.2.Comunidades bênticas e fauna críptica

Comunidades bênticas possuem importante papel na manutenção do equilíbrio ecológico do ambiente costeiro, atuando nos ciclos biogeoquímicos e fornecendo abrigo e alimento para a maior parcela da biodiversidade marinha. Também influenciam processos de trocas de matéria, energia e nutrientes dentro da dinâmica do acoplamento bento-pelágico, estando localizadas principalmente na região costeira e são algumas das mais produtivas do mundo, fornecendo serviços ecossistêmicos como filtração de água e fontes de alimento (GRIFFITHS et al., 2017).

O zoobentos é extremamente rico e diverso, com animais pertencentes a vários grupos taxonômicos diferentes, realidades esta dos ambientes coralíneos, já que fazem parte do domínio bentônico (SOARES-GOMES; PITOMBO; PAIVA, 2009). Há discussões que afirmam que estes ambientes são análogos a florestas tropicais no quesito de biodiversidade. Suas paisagens são dominadas por organismos sésseis que possuem capacidade de alterar o substrato do ambiente, por isso são conhecidas como espécies fundadoras (SOARES et al., 2016).

Parte da fauna bêntica presente nestes ambientes é a chamada fauna críptica, composta geralmente por invertebrados, tanto sésseis quanto móveis, que habitam locais escondidos na matriz do recife. Sabe-se que estas comunidades ocultas podem contar com até dois terços do volume dos recifes, e pouco é conhecido sobre suas histórias de vida e preferências de habitat (PEARMAN et al., 2018). O ambiente que habitam se mostra diferente do que é visto em porções mais superficiais, oferecendo habitats diferentes aos organismos ali viventes. Primeiramente, são caracteristicamente sombreados ou completamente escuros assim, limitando o potencial fotossintético quando comparados à superfície do recife. Também possuem quantidade limitada de substrato para o crescimento de seres vivos em densidade e tamanho, e grande parte das cavidades dos recifes são habitats protegidos que não estão completamente sujeitos à influência das mesmas variáveis ambientais das áreas superficiais (KOBLUK, 2017).

Em relação ao seu papel ecológico, sabe-se que esta fauna críptica, especialmente poríferos, atuam como depósitos de matéria orgânica dissolvida, prevenindo assim que haja perda de nutrientes para o oceano aberto. Organismos crípticos compreendem uma diversa seleção de grupos animais importantes, como suspensívoros, predadores, herbívoros e detritívoros, que estão presentes em grandes populações devido aos seus menores tamanhos corpóreos (PEARMAN et al., 2018).

Organismos sésseis da fauna críptica realizam o processo conhecido como bioincrustação, que é visto como a colonização de superfícies submersas naturais, ou de origem antrópica, como naufrágios,

plataformas, entre outros e também é realizado por muitas espécies de algas e bactérias (GAMA; PEREIRA; COUTINHO, 2009). É um processo que envolve uma série de etapas, se iniciando com a impregnação de biopolímeros a uma superfície, promovendo a formação de colônias de bactérias no substrato. Estas viabilizarão o crescimento de populações secundárias de outros microrganismos, como diatomáceas ou protozoários. formando-se assim comunidades microincrustantes. Após estas etapas, comunidades macroscópicas irão se desenvolver sobre as microinscrutações, caracterizando macroinscrustações, o que inclui poríferos, tunicados, briozoários, macroalgas, entre outros (WAHL, 1989).

O estudo dos padrões de distribuição destes seres vivos é de suma importância para o entendimento da dinâmica dos ecossistemas recifais, bem como a importância ecológica destas comunidades, já que elas compõem grande parte da diversidade recifal, o que pode influenciar decisões referentes à conservação e manejo destas espécies (PEARMAN et al., 2018). Entretanto, o estudo da matriz recifal é uma prática pouco frequente quando comparada a outros tipos de pesquisas sobre a comunidade bêntica destes ambientes (KNOWLTON et al., 2010).

Estudos anteriores realizados com o intuito de avaliar essas comunidades na costa brasileira, também conhecidos como "*reef surveys*" (FRANCINI-FILHO et al., 2013; AUED et al., 2018), tem seu foco somente no epibentos a partir do uso de metodologias como análise de fotoquadrados padronizados. Além disso, segundo Kobluk (2017), a proximidade com que as comunidade crípticas vivem em relação às comunidades epibênticas contribui para que ambas sejam tratadas como sendo uma mesma assembleia de organismos, mesmo apresentando composição e estrutura diferentes. Isto pode afetar a precisão de estudos sobre os ambientes coralíneos tanto em âmbito atual como paleontológico.

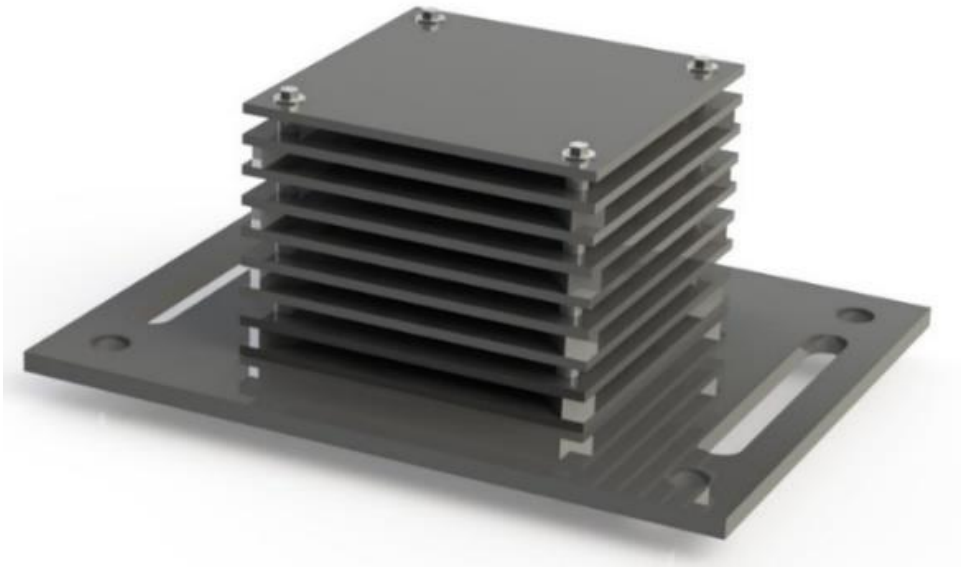
Abordagens como as mencionadas acabam por limitar o espectro de análise destes ambientes, ignorando a fauna críptica bêntica e, assim, negligenciando seu estudo por conta da sua localização dentro dos ambientes coralíneos, além da grande dificuldade na identificação dos organismos ali presentes, visto que muitas das espécies ainda não foram descritas (PEARMAN et al., 2016, 2018).

1.3.ARMS (*Autonomous Reef Monitoring Structures*)

Uma das principais dificuldades para estudar organismos crípticos recifais é o método de coleta e extração destas espécies que, por muitos anos, se resumiu a amostragens realizadas por coleta manual em atividades de mergulho autônomo ou na utilização de armadilhas (ZIMMERMAN; MARTIN, 2004).

Tendo isso em mente, foram desenvolvidas as *Autonomous Reef Monitoring Structures* (ARMS) (figura 1). Idealizadas em 2004, as ARMS foram propostas como um método de amostragem de biodiversidade recifal padronizada e concebidas originalmente como estruturas de concreto bastante pesadas. Seu desenho foi se modificando ao longo dos anos iniciais de uso até chegarem ao seu formato atual, que consiste em estruturas montáveis e desmontáveis compostas por nove placas de PVC atóxico cinza, que medem 22,50 cm X 22,50 cm cada, e se alternam em camadas abertas e semiabertas (ZIMMERMAN; MARTIN, 2004; RANSOME et al., 2017).

Figura 1 - Estrutura de uma ARMS montada.



Fonte: *NOAA/Pacific Islands Fisheries Science Center.*

As ARMS foram desenvolvidas com o objetivo de imitar a matriz recifal, assim, atraindo invertebrados e algas incrustantes para colonizar as estruturas, recrutando-as como abrigo (figura 2). Diferentemente de seu primeiro desenho, as ARMS atuais visam estratégias de avaliação de fauna críptica de maneira simples e com custo-benefício satisfatório, pois leva em consideração fatores espaciais e temporais do ambiente. Além disso, compreendem um método de estudo de fauna críptica sem que haja necessidade de danificar os ambientes recifais com a retirada direta de amostras de rochas (KNOWLTON et al., 2010).

Figura 2 - Estrutura de uma ARMS instalada após um ano recrutando organismos.

Fonte: Christopher Meyer (2020).

A análise do material coletado pelas ARMS pode ser feita por diversos métodos, como biologia molecular com meta-barcoding (LERAY; KNOWLTON, 2015) e através da obtenção de fotografias em alta resolução das placas recobertas após a recuperação das estruturas. O registro destas imagens permite que pesquisadores avaliem a cobertura de diversos táxons de fauna séssil dos ambientes recifais (SMITHSONIAN, 2017).

Neste contexto, utilizar as ARMS atrai uma ampla gama de fauna incrustante para suas placas, fornecendo, assim maior acessibilidade ao ambiente críptico. Pode-se dizer que investigações sobre a matriz recifal são complementos fundamentais aos "*reef surveys*", já que permitem a visualização desta fauna oculta (KNOWLTON et al., 2010; PEARMAN et al., 2016). As ARMS são amplamente usadas mundialmente, apesar de ser um método recente para realizar o monitoramento de fauna críptica de recifes de coral. A maioria se concentra no oceano pacífico, com algumas ocorrências no Índico e Caribe. Alguns exemplos destas instalações são as ilhas Havaianas, Samoa Americana, a Grande Barreira de Corais Australiana, Panamá, assim como no Brasil nos recifes de Abrolhos (KNOWLTON et al., 2010).

1.4.Litoral Norte do Estado de São Paulo

Em território brasileiro, existem locais com promissores para a utilização das ARMS, como o litoral de São Paulo, estado mais industrializado e populoso do Brasil, fator que se apresenta como um grande desafio para manutenção da saúde e estabilidade dos ecossistemas costeiros. O litoral norte, em especial, é conhecido por apresentar um clima quente e úmido constituindo uma região de transição no quesito biogeográfico (AMARAL; NALLIN, 2011).

Sua costa é fortemente marcada por recortes, como baías e estuários, apresentando um número considerável de ilhas costeiras ao longo de toda sua extensão, das quais, grande parte se encontra dentro de Unidades de Conservação, tanto estaduais quanto federais. Estas são subdivididas em duas categorias: de proteção integral, como Estações Ecológicas (ESEC) e Refúgios de Vida Silvestre (REVIS); e as de uso sustentável, como Áreas de Proteção Ambiental (APA) e reservas extrativistas (DE SOUSA; SERAFINI, 2018).

Entretanto, durante as décadas de 1960, 70 e 80, a região vivenciou um acelerado crescimento urbano-industrial, principalmente por conta da construção e pavimentação de rodovias, possibilitando assim a exploração de petróleo. Foi durante este período que grande parte das UCs costeiras foram criadas e categorizadas como parques. Contudo, grande maioria do território da UCs marinhas paulistas estão classificadas como Áreas de Proteção Ambiental e possibilitam uso sustentável de seus recursos (LEITE, 2014).

No litoral paulista, a Estação Ecológica (ESEC) Tupinambás, se destaca com 2.463,59 hectares de área protegida. O conjunto de ilhas do arquipélago de Alcatrazes se mostra como um dos mais bem conservados da estação, estando localizado a 34 Km da costa e com parte de sua área também sendo considerada um Refúgio de Vida Silvestre, conhecido como REVIS do arquipélago de Alcatrazes (BRASIL, 1987; ARAUJO, 2014; GOMES; GODOY, 2019).

A ESEC também engloba outras ilhas como parte do arquipélago da Ilha Anchieta juntamente com as Ilha das Palmas e a Ilha das Cabras, que, juntos, formam o Parque Estadual da Ilha Anchieta e somam 27 Km² de área de proteção e refúgio para espécies marinhas. Esta área se encontra a uma distância bem menor da costa, cerca de quatro quilômetros, tornando-a mais acessível a atividades humanas (ARAUJO, 2014; BRASIL, 2017b; ROLIM; RODRIGUES; GADIG, 2017).

Há grande diversidade e riqueza de organismos na ESEC e na REVIS e, dependendo de fatores como grandes distâncias, tanto do continente, quanto entre pontos amostrais, ambas podem sofrer

variações expressivas ou não. Com relação somente aos invertebrados bentônicos, foram registradas mais de 400 espécies. O bentos da estação é associado a costões rochosos e terrenos arenosos ou lamacentos, sendo que os costões podem ou não estar cobertos por corais escleractíneos e algas calcárias (FIGUEIRÓ, 2015; BRASIL, 2017b).

De maneira geral, o bentos da ESEC se encontra preservado, porém muito susceptível a interferências tanto antrópicas quanto naturais, independentemente de qualquer distanciamento costeiro, sendo algumas das principais ameaças a bioinvasão, poluição, mudanças climáticas, além de impactos causados por embarcações tanto operantes, quanto naufragadas. Características como trafegabilidade reduzida e grande diversidade tornam o ambiente favorável à aplicação de estudos visando monitoramento ecológico que podem vir a auxiliar na implementação de medidas de manejo (BRASIL, 2017b).

Dessa forma, este trabalho buscou verificar a pertinência do uso de ARMS para estudos da biota críptica em ilhas costeiras de São Paulo, buscando entender com esta fração da comunidade está estruturada e avaliar de que forma fatores como distância da costa podem influenciar este componente.

O presente estudo está inserido dentro do projeto “Uso de “Autonomous Reef Monitoring Structures” no inventário e monitoramento da fauna marinha críptica”, com apoio financeiro FAPESP (2017/11948-6). Este tem por objetivo geral utilizar as ARMS para o inventário de biota críptica de áreas insulares costeiras em São Paulo instalando estruturas em quatro pontos nas áreas de conservação: Estação Ecológica Tupinambás, Parque Estadual da Ilha Anchieta e Refúgio da Vida Silvestre de Alcatrazes.

1.5.Objetivo

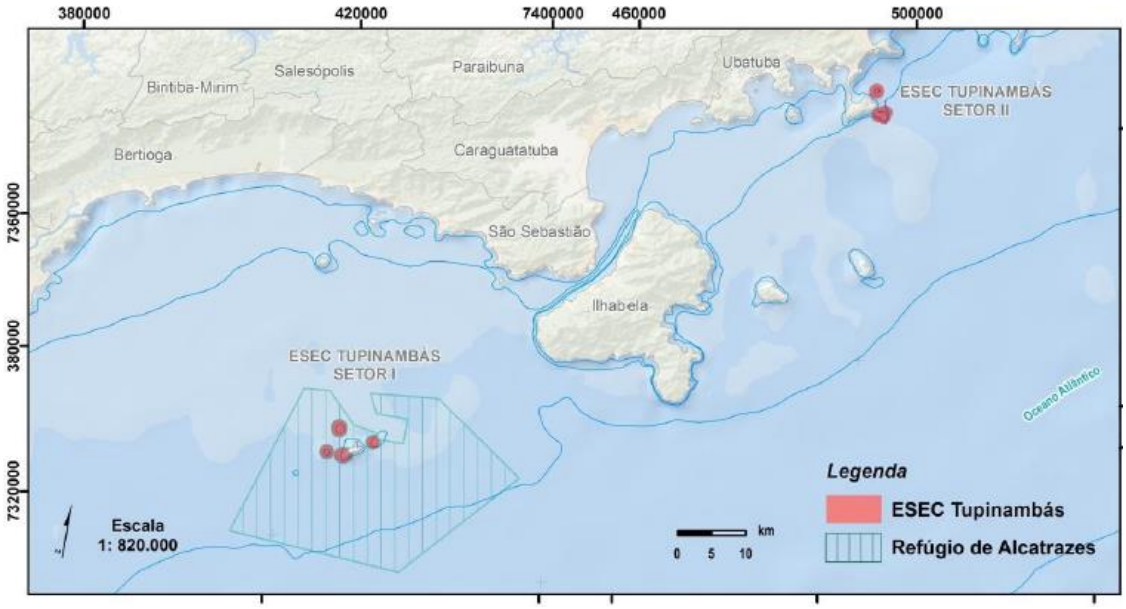
Tendo levantado todos os aspectos anteriores, o presente estudo tem por objetivo central realizar a análise da biota críptica incrustante encontrada em estruturas das ARMS instaladas em duas regiões da ESEC Tupinambás, a ilha de Alcatrazes e ilhas na região de Ubatuba (Palmas e Cabras), através do levantamento faunístico de cada uma com base na captura de imagens das placas e taxonomia tradicional, além de comparar a biodiversidade encontrada em todas as localidades levando em consideração a distância da costa e influência antrópica. A principal hipótese de trabalho é de que as ARMS da Ilha de Alcatrazes, que estão mais distantes da costa, apresentam uma fauna críptica mais rica e diversa do que as instaladas não região de Ubatuba, estas, mais próximas do continente.

2. MATERIAIS E MÉTODO

2.1.Área de estudo

Criada em julho de 1987 com o Decreto Federal 94.656, a ESEC Tupinambás foi uma das primeiras Unidades de Conservação (UC) a ser criada no sudeste brasileiro, mais especificamente no litoral norte do Estado de São Paulo. Ela abrange conjuntos de ilhas, lajes e parcéis divididos em dois setores: o setor 1, que engloba o Arquipélago de Alcatrazes, e o setor 2, que compreende o Arquipélago da Ilha Anchieta, como ilustrado na figura 3 (LEITE, 2014).

Figura 3 - Estação Ecológica (ESEC) Tupinambás.



Fonte: Brasil (2017c).

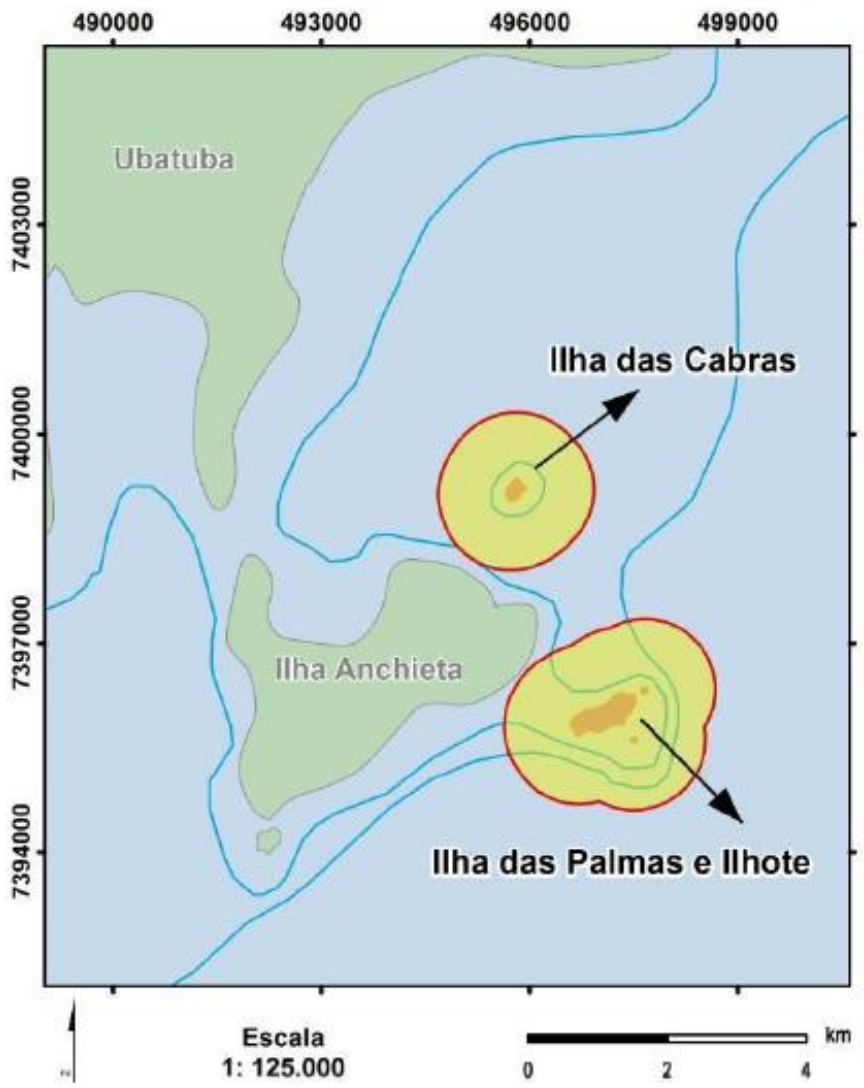
O Arquipélago de Alcatrazes (setor 1) é formado por um conjunto de diversas ilhas, sendo estas a Ilha da Tartaruga (ou do Paredão), Ilha do Farol (ou do Porto), Ilha do Oratório, Ilha Rasa, Ilha da Sapata e, a maior e principal, Ilha de Alcatrazes, além de diversos parcéis e ilhotas adjacentes (figura 4). Certas áreas do setor 1 são configuradas como zonas primitivas, ou seja, permitem intervenção antrópica somente por meio de ensaios científicos já que são áreas de alta relevância para conservação de biodiversidade. Além da área da ESEC, o arquipélago também conta com uma área de Refúgio de Vida Silvestre (REVIS) bem mais extensa, criada em agosto de 2016 e cuja gestão é feita em conjunto com a ESEC Tupinambás. Atualmente a REVIS possui autorização para uso público com atividades de visitação embarcada e mergulho mediante credenciamento e autorização do ICMBio, visando promover o ecoturismo (BRASIL, 2017c).

Figura 4 - Setor 1, Arquipélago de Alcatrazes. Zonas primitivas em destaque.

Fonte: Brasil (2017c).

O setor 2 da ESEC abrange uma área do Arquipélago da Ilha Anchieta, que inclui a Ilha das Palmas e a Ilha das Cabras. Por estarem muito mais próximas da costa do que o setor 1, estas ilhas estão mais sujeitas a interferência antrópica por poluição costeira, navegação e pesca. Essa área é considerada como zona de uso conflitante (figura 5) já que necessita de outras estratégias que visam minimizar os impactos da navegação sobre a biodiversidade local (BRASIL, 2017c).

Figura 5 - Setor 2, Arquipélago da Ilha Anchieta. Zona de uso conflitante em destaque.



Fonte: Brasil (2017c).

Geologia

O litoral norte como um todo pertence à mesorregião do vale do Paraíba e possui seu relevo dividido em duas zonas: a Serra do Mar, que apresenta um conjunto de morros costeiros, extensos e contínuos; e baixadas litorâneas formadas por planícies costeiras pequenas e descontínuas (BRASIL, 2017b).

Os arredores da Ilha Anchieta são constituídos de rochas ígneas intrusivas, cuja origem está relacionada à separação dos blocos continentais e abertura do Oceano Atlântico. A existência de um paredão rochoso faz com que o acúmulo de sedimentos trazidos por correntes marinhas se torne uma

tendência natural (BRASIL, 2017b). No caso do Arquipélago de Alcatrazes, sua plataforma continental é composta principalmente de sedimento arenoso, com menos silte e argila (CONTI; FURTADO, 2006).

Em uma visão mais geral, os solos da ESEC são pouco profundos. Apresentam restrições para trafegabilidade, por conta da suscetibilidade à erosão natural devido a presença de declives, além de alta capacidade de degradação. Todos estes fatores tornam seus terrenos altamente sensíveis a interferências (BRASIL, 2017b).

Correntes marítimas

Regimes oceanográficos das proximidades de São Sebastião são influenciados por elementos marcantes da região como a Ilha e o Canal de São Sebastião, além da proximidade com a Corrente do Brasil (CB). Esta é resultante da bifurcação da Corrente Sul Equatorial (CSE), que origina também a Corrente do Norte do Brasil (CNB), além da CB. Após a bifurcação, a CB flui para o sul do país e CNB para o norte (SILVEIRA et al., 2000).

Há transporte de diferentes massas de água, de origens distintas, ao longo do talude continental da região, são estas: a Massa de Água Tropical (AT), descrita como um massa de água quente que é transportada pela porção superficial da CB. Ao longo da costa brasileira ela se mistura com águas costeiras mais frias, resultando em temperaturas acima dos 20°C na região sudeste; e Água Central do Atlântico Sul (ACAS), caracterizada por águas com temperatura entre 6°C e 20°C fluindo na região de picnoclina, em maiores profundidades do que a AT (SILVEIRA et al., 2000; SILVA; MIRANDA; CASTRO, 2001).

Ambas AT e ACAS foram descritas na região do Arquipélago de Alcatrazes, tendo como referência propriedades termohalinas da plataforma continental. Adicionalmente, outra massa de água foi descrita na região, a massa de Água Central, que é resultante da mistura de drenagem continental com água da própria plataforma (BRASIL, 2017b).

2.2.Trabalho de campo e processamento de amostras

As ARMS foram instaladas entre março e abril de 2019 na Ilha de Alcatrazes (conjuntos 1 e 2), Ilha das Palmas (conjunto 3) e Ilha das Cabras (conjunto 4) (figura 6). Cada conjunto era composto por 3 estruturas, totalizando a instalação de 12 ARMS. As especificações de instalação dos conjuntos são as seguintes:

Conjunto 1: instalado em 26/03/2019 próximo à boia do ICMBIO do ponto identificado como “Geladeira”, nas coordenadas 24°05’49,5” S e 45°41’35,1” W. Profundidade média 10m.

Conjunto 2: instalado em 26/03/2019 próximo à boia do ICMBIO do ponto identificado como “ESEC” nas coordenadas 24°06’15,2” S e 45°42’05,1” W. Profundidade média 10m.

Conjunto 3: instalado em 16/04/2019, nas coordenadas 23°32’43,0” S e 045°01’41,1” W. Profundidade média 10m.

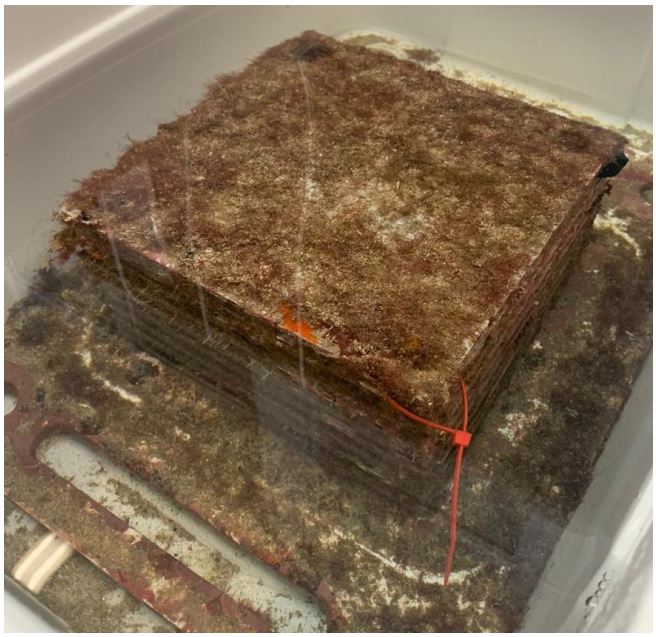
Conjunto 4: instalado em 16/04/2019, nas coordenadas 23°31’01,1” S e 045°02’30,6” W. Profundidade média 10m.

Figura 6 - Localização geográfica das ARMS de ambos os sítios da Ilha de Alcatrazes (acima) e de Ubatuba (abaixo).

Fonte: Delcistia (2021).

Inspeções periódicas foram realizadas antes da retirada das estruturas em intervalos de, aproximadamente, três meses. Após aproximadamente 12 meses de sua instalação, as ARMS foram recuperadas. Por meio de mergulho autônomo, caixas plásticas foram utilizadas para abrigar as ARMS ainda submersas e transportá-las para a superfície, além de conservá-las até a chegada à praia. Após a retirada e transporte, foi dado início ao processamento das estruturas em laboratório (figura 7). Os conjuntos 1 e 2 foram processados nas dependências do Centro de Biologia Marinha (CEBIMar) da Universidade de São Paulo, em São Sebastião, e os conjuntos 3 e 4 na Base Clarimundo de Jesus do IOUSP em Ubatuba.

Figura 7 - Estrutura das ARMS após retirada e antes do processamento em laboratório.



Fonte: Guilherme Piazzaroli (2020).

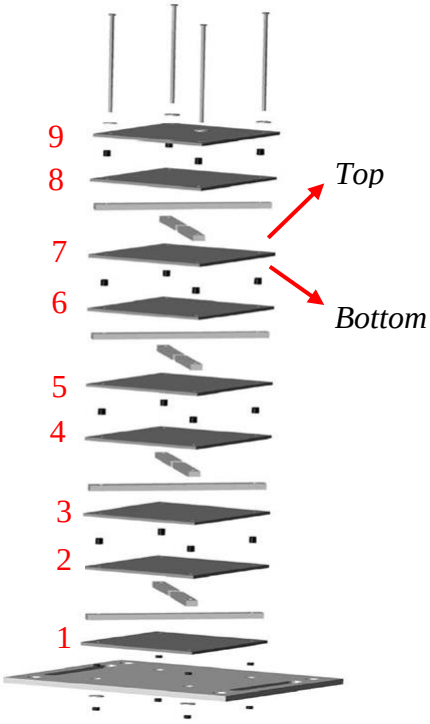
Ao chegar no laboratório, as estruturas foram desmontadas em caixas com água do mar filtrada, obtida durante o mergulho de recuperação das ARMS, e mantidas com aeradores (figura 8). A extremidade direcionada para o norte *in situ* era marcada em cada placa como um ponto de referência e cada placa foi numerada segundo a figura 9, sendo a número 1 a mais próxima do substrato e a número 9 a mais próxima da superfície. Também foram distinguidas as faces T (*Top*, voltadas para cima) e B (*Bottom*, voltadas para baixo). Todas as etapas do processamento desde sua retirada até a amostragem de organismos, foram realizadas conforme os protocolos padronizados, os quais podem ser consultados em https://www.oceanarms.org/protocols-overview.

Figura 8 - Estrutura das ARMS desmontada e mantida com aeradores.

Fonte: Lucas Delcistia (2020).

Após serem feitas as imagens de cada placa, todas passaram por um processo de subamostragem de organismos, retirando pequenas amostras para identificação taxonômica. Depois, toda a fração séssil era completamente raspada e processada em um liquidificador, além de filtrada, para mensuração de biomassa e análise genética, que não será feita neste estudo. As placas eram então totalmente limpas para futura reutilização.

Figura 9 - Vista expandida de uma estrutura das ARMS.



Fonte: *NOAA/Pacific Islands Fisheries Science Center.*

As fotografias das placas foram feitas após a desmontagem das estruturas. Um tripé com uma câmera (Nikon D500), montada com uma lente de 60 mm compatível com o modelo e auxiliada por um par de flashes, foi posicionada em cima de uma bandeja que abrigava as placas, sempre preenchida com água do mar limpa e filtrada. As placas foram fixadas com espaçadores para não se movimentassem com facilidade dentro da bandeja. À medida que o processo de registro prosseguia, a água era trocada conforme a necessidade pois, frequentemente, ficava saturada de sedimento, impossibilitando a visualização dos organismos (figura 10).

Figura 10 - Estrutura para captura de imagens das placas das ARMS montada no CEBIMar.

Fonte: Lucas Delcistia (2020).

A bandeja foi colada em cima de outra placa branca que deslizava sobre outra com guias previamente desenhadas que a dividia em 15 setores, cada qual foi fotografado utilizando o zoom da lente fotográfica (figura 11). Uma imagem extra do primeiro setor foi feita para cada face das placas com o intuito de identificá-las utilizando etiquetas que continham os seguintes dados: local de instalação, ano de processamento, sítio de instalação (Geladeira, ESEC, Palmas ou Cabras), estrutura analisada (A, B ou C), número da placa (1 a 9) e indicação com as letras “T” (*top*) ou “B” (*bottom*), referenciando qual é a face da placa, superior ou inferior respectivamente. Um exemplo dessa nomenclatura utilizada para identificação das placas foi: BRALC_2020_ESEC_A_P1_B, que referenciou a face inferior da placa 1, da estrutura A do sítio ESEC, da Ilha de Alcatrazes, processada em 2020.

Após serem registradas, as 15 imagens foram fundidas a partir da função de criação de panoramas do aplicativo *Affinity photo* a partir da sobreposição de áreas em comum de cada setor fotografado, constituindo assim uma única imagem de alta resolução de cada face de cada placa (figura 12).

Figura 11 - Processo de obtenção de imagens das placas das ARMS.

Fonte: Guilherme Piazzaroli (2020).

Figura 12 - Imagens das placas das ARMS. A esquerda, placa 9B da estrutura B da Ilha das Palmas e, a direita, placa 6B da estrutura C da ESEC de Alcatrazes.

Fonte: Lucas Delcistia (2020).

2.3.Processamento dos dados

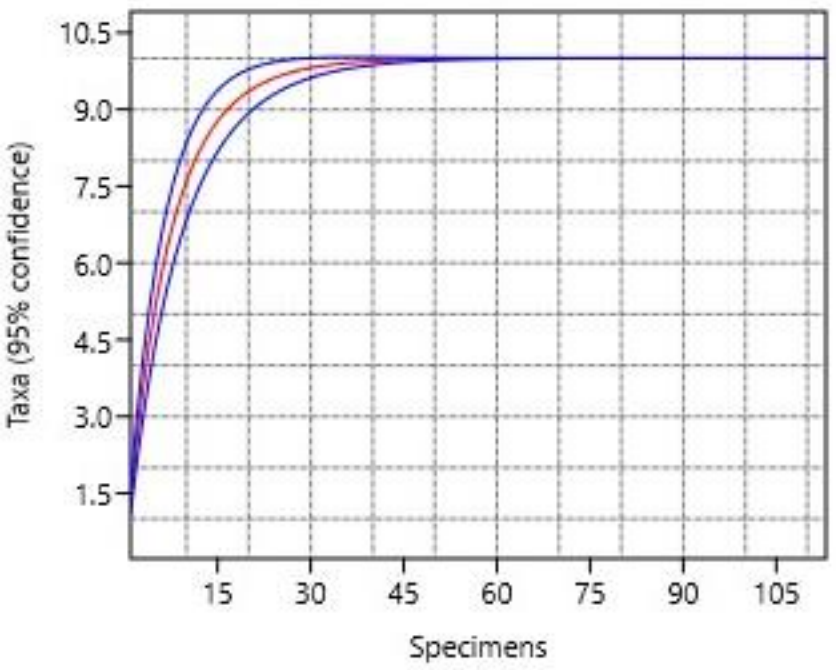
Para a análise de cobertura das placas das ARMS, optou-se por utilizar a plataforma online CoralNet, criada pelo departamento de ciência computacional da Universidade de San Diego, California, e de uso gratuito. Seu objetivo é organizar pesquisas e avaliações mundiais de cobertura bêntica de ambientes coralíneos e utilizar estes dados na criação de futuros métodos automatizados de análise.

Dentro da plataforma, cria-se um arquivo, denominado fonte (*source)*, para submeter dados referentes a local de coleta, colaboradores de avaliação, filtros de pesquisa, entre outros fatores. Dentro de cada fonte cria-se um conjunto de etiquetas (*labelset)*. Este é uma série de rótulos (*labels)* que são usados para identificar organismos nas fotografias a partir de pontos gerados aleatoriamente nas imagens. Foram feitos conjuntos destes rótulos prévios a coleta de dados na área de estudo, com posteriores alterações.

Após fundidas em um só plano, as imagens foram submetidas ao CoralNet, todas reduzidas a uma resolução de 8000 X 8000 pixels, a máxima comportada pela plataforma. As imagens foram, então, divididas em diferentes fontes conforme os conjuntos de ARMS: Geladeira Alcatrazes, ESEC Alcatrazes, Ilha das Palmas e Ilha das Cabras. Cada conjunto correspondeu a três ARMS, cada uma montada por nove placas, não considerando a placa base de sustentação, e ambas as faces de cada placa foram fotografadas. Assim, cada fonte continha 54 imagens, totalizando 216 imagens analisadas.

O programa se utiliza de uma abordagem de geração aleatória de pontos nas imagens, aos quais são designadas as etiquetas previamente selecionadas. Inicialmente, foi programada a geração de 200 pontos em 10 imagens aleatoriamente sorteadas de todos os conjuntos, visando realizar um teste para avaliar a quantidade adequada de pontos a ser utilizada. Após este teste foi feita a curva do coletor utilizando o software PAST (*PAleontological STatistics*). Esta mostrou que, aproximadamente, 50 a 60 pontos seriam suficientes para representar a biodiversidade encontrada nas áreas de estudo (figura 13).

Figura 13 - Curva do coletor do teste com 10 imagens e 200 pontos.



Fonte: Delcistia (2021).

Além deste teste, também foi feito um censo visual completo dos diferentes táxons encontrados nas mesmas 10 imagens, utilizando o software de manipulação de imagens Gimp, em sua versão 2.10.18. A partir desta análise foi observada a cobertura de cada táxon nas faces das placas selecionadas e sua influência na representação da porcentagem de cobertura delas.

Esta análise foi complementar ao teste de 200 pontos realizado no CoralNet e visou o mesmo objetivo, determinar o número de pontos adequado a ser utilizado para o método amostral escolhido. Assim levou-se em consideração a acurácia da análise em relação a biodiversidade ali presente.

Comparando ambos os métodos de avaliação, observou-se que o censo visual resultou em um número maior de táxons identificados do que no teste realizado no CoralNet, mas com pequenas diferenças numéricas. Neste caso, 200 seria uma quantidade excessiva de pontos para se utilizar em todas as 216 faces. Assim, decidiu-se por usar 110 pontos, uma quantidade que ao mesmo tempo representa a biodiversidade incrustada presente e avalia adequadamente sua cobertura, dentro deste método amostral, otimizando o tempo de identificação e análise para o grande número de faces a serem avaliadas.

Os organismos foram identificados até o menor nível taxonômico possível. Registros fotográficos também foram enviados a especialistas para auxiliar com identificações inconclusivas feitas em

campo. Ainda assim, neste processo, não foi possível identificar alguns organismos até o nível de espécie por conta de, tanto dificuldades taxonômicas, quanto logísticas impostas pelas limitações causadas pela pandemia de COVID-19. Em função disso, optou-se então por utilizar o termo UTO (Unidade Taxonômica Operacional) para identificar diferentes organismos e padronizar as diferentes categorias taxonômicas encontradas, aumentando o espectro de análise de diversidade.

2.4.Análise de dados

As análises feitas no presente estudo levaram em consideração somente a superfície das placas que estava disponível para colonização dos organismos nas faces das ARMS. Assim, a área classificada durante o processamento dos dados como “PVC”, ou seja, aquela correspondente aos espaçadores em formato de “X”, ou por estruturas de fixação das próprias ARMS no substrato marinho, não foram contabilizadas. Valores proporcionais dentro dos 100% do espaço disponível para incrustação foram calculados.

A porcentagem de cobertura de cada UTO identificada foi utilizada como proxy de abundância. Não houve necessidade de conversão ou padronização de dados para todas as análises, uma vez que o método das ARMS em si já é padronizado dentro de dado espaço pré-definido, neste caso, placas de PVC de 22,50 cm x 22,50 cm.

Em um âmbito facilitador, foram selecionados fatores que subdividiram as ARMS em diferentes escalas espaciais, indo de uma macrorregião, até o micro-habitat críptico. Foram estes: Local (Alcatrazes e Ubatuba), Sítio (Geladeira, ESEC, Palmas e Cabras), Placas (1 a 9), ARMS (estruturas individuais A, B ou C) e TopBottom (faces superiores e inferiores de cada placa). Esta última divisão se refere as diferentes faces das placas, as superiores (denominadas *top* e orientadas para superfície) e as inferiores (denominadas *bottom* e orientadas para o substrato), ambas são colonizadas (figura 12).

Primeiramente, foi calculada a riqueza de UTOs, por local e sítio de análise, a qual também foi submetida ao teste ANOVA, aninhando os fatores de escala espacial anteriormente determinados. O teste de Tukey também foi realizado para melhor identificação de diferenças significativas ($p < 0,05$). Ainda com relação à riqueza, ao analisar relações com os fatores “Placas” e “TopBottom”, optou-se por padronizar a unidade de medida para UTOs/cm². Houve a necessidade de realizar esta padronização por área por conta das ARMS terem o design intercalado de faces abertas e semiabertas, estas últimas possuem a presença de espaçadores retangulares em formato de “X”, ocasionando o

desenho da figura 14. Estes retângulos diminuíam área de recrutamento, então optou-se pela padronização, assim considerando uma área equivalente para todas as faces analisadas.

Figura 14 - Exemplo de face das ARMS com o X causado pelos retângulos de PVC intercalados entre placas. Placa representada: BRUBA_2020_CABR_C_P2_B.

Fonte: Delcistia (2021).

As UTOs registradas foram então subdivididas em grandes grupos taxonômicos e foram feitos histogramas das mais abundantes e frequentes, procurando comparar suas taxas de ocorrência considerando tanto o litoral norte como um todo, quanto divido nos sítios de análise individualmente. Aqui também se optou por representar as UTOs mais abundantes por área, ou seja, sua porcentagem de cobertura por cm² das faces.

Foram calculados os índices de diversidade de Shannon-Weaver (H'), diversidade de Simpson (1-D) e equitabilidade de Pielou (J') para as ARMS de cada local e sítio de estudo. A ANOVA aninhada também foi feita relacionando a diversidade de Shannon-Weaver com os mesmos fatores de escala espacial. Aqui também foi aplicado o teste de Tukey para melhor localização de diferenças significativas em relação a diversidade. Os mesmos fatores também foram utilizados em uma PERMANOVA, também aninhando os fatores de escala espacial, utilizando 999 permutações, para analisar a cobertura bêntica.

Estas análises foram feitas por meio do software R (*The R Project for Statistical Computing*). A riqueza de UTOs, a PERMANOVA e o cálculo dos índices de diversidade foram feitos utilizando o

pacote “vegan” com suas funções *specnumber*, *adonis* e *diversity*, respectivamente. Já a ANOVA foi feita com a função *aov* e o teste de Tukey com a função *TuckeyHSD* do pacote “stats”.

Dentro da análise de diversidade, também foi avaliada e comparada a diversidade beta de cada conjunto, tanto em sua dissimilaridade geral, quanto, separadamente nos componentes de substituição (*turnover*) e aninhamento (*nestedness*). Essa análise foi feita tanto em macro escala, entre locais e seus respectivos sítios, quanto em microescala, entre ARMS de um mesmo sítio. Os cálculos foram feitos utilizando o índice de dissimilaridade de Sorensen, objetivando uma análise de viés qualitativo, focado na presença e ausência de UTOs. O software R também foi utilizado para esta análise a partir do pacote “betapart”. Foi utilizada a função *beta.multi*, que já decompõe o valores entre os componentes de substituição e aninhamento e fornece a dissimilaridade total.

Também foram feitas individualmente para cada sítio, análises de agrupamento a partir de clusters de similaridade utilizando o índice de dissimilaridade de Bray-Crtis. Este índice foi escolhido devido ao caráter quantitativo dos dados amostrados. O objetivo foi identificar e descrever a presença de possíveis padrões de incrustação de organismos dentre as faces das placas. A construção destes clusters foi feita utilizando o software PAST (*PAleontological STatistics*).

3. RESULTADOS

Dentro de todas as ARMS analisadas de ambas as localidades, foi identificada uma riqueza total de 110 UTOs diferentes, incluindo diversos grupos taxonômicos, cuja lista completa pode ser conferida no apêndice A. Comparando os quatro sítios, observou-se que as ARMS instaladas na Ilha de Alcatrazes apresentaram maior riqueza de UTOs do que as instaladas em Ubatuba. Somando as ARMS de Alcatrazes (Geladeira e ESEC), foi identificada uma riqueza de 92 UTOs. Enquanto isso, nas de Ubatuba (Palmas e Cabras), foi identificada uma riqueza de 76 UTOs. Sob a perspectiva de cada sítio individualmente, ESEC foi o que apresentou maior riqueza de todos, 75 UTOs no total, seguido por Geladeira, que apresentou 74. Em terceiro lugar está o Cabras com 66 e, em último lugar, Palmas, com 56.

Analisando a riqueza de UTOs nas ARMS sob a perspectiva dos diferentes fatores de escala espacial, não foi encontrada diferença significativa quando considerados somente os locais de estudo, porém, quando aninhado aos sítios individuais, assim como cada ARMS, nota-se diferenças significativas. Já após aninhar as placas individuais, assim diminuindo ainda mais a escala de análise, não foram identificadas diferenças significativas quanto a riqueza de organismos (tabela 1). Se tratando dos sítios de análise, foi observada diferença significativa nas comparações entre os sítios ESEC e Cabras ($p = 0,01$).

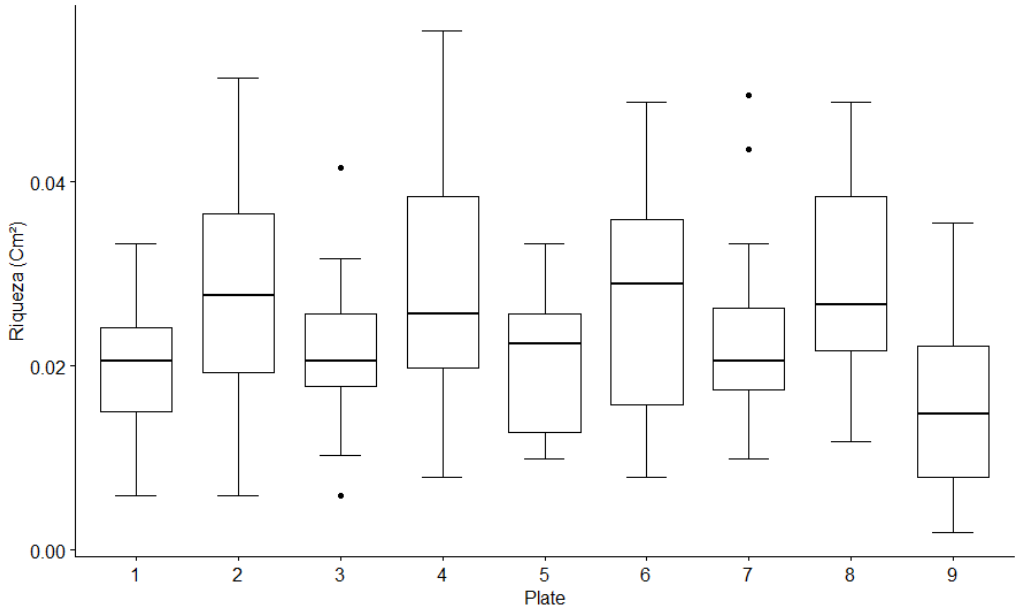
Tabela 1 - Resultados da ANOVA aninhada para riqueza e UTOs.

	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F value	p
Local	1	57,0	57,04	3,342	0,0703
Local:Sítio	2	88,41	88,41	5,180	0,0071
Local:Sítio:ARMS	8	522,0	65,25	3,822	0,0005
Local:Sítio:ARMS:Placa	96	1326,6	13,82	0,810	0,8543
Residual	108	1843,5	17,07		

Fonte: Delcistia (2021).

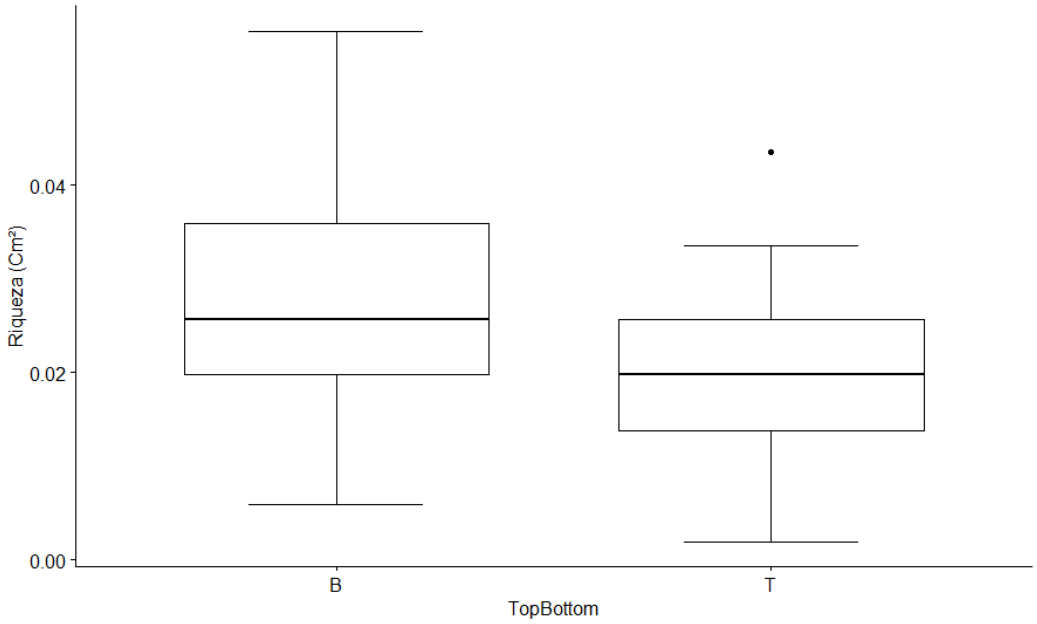
Observou-se um padrão intercalado na variabilidade da riqueza entre as placas das ARMS: as de numeração par apresentaram maior número de UTOs por cm² do que as de numeração ímpar. A placa 9 em especial apresentou maior discrepância em relação as demais (figura 15). Notou-se também maior riqueza em faces inferiores (B) que tinham sua orientação voltada para o substrato do que faces superiores (T), com orientação voltada para a superfície (figura 16).

Figura 15 - Variação da riqueza de UTOs por cm² entre placas (1 a 9) das ARMS de todos os sítios.



Fonte: Delcistia (2021).

Figura 16 - Variação da riqueza de UTOs por cm² entre faces inferiores (B) e superiores (T) das ARMS de todos os sítios.

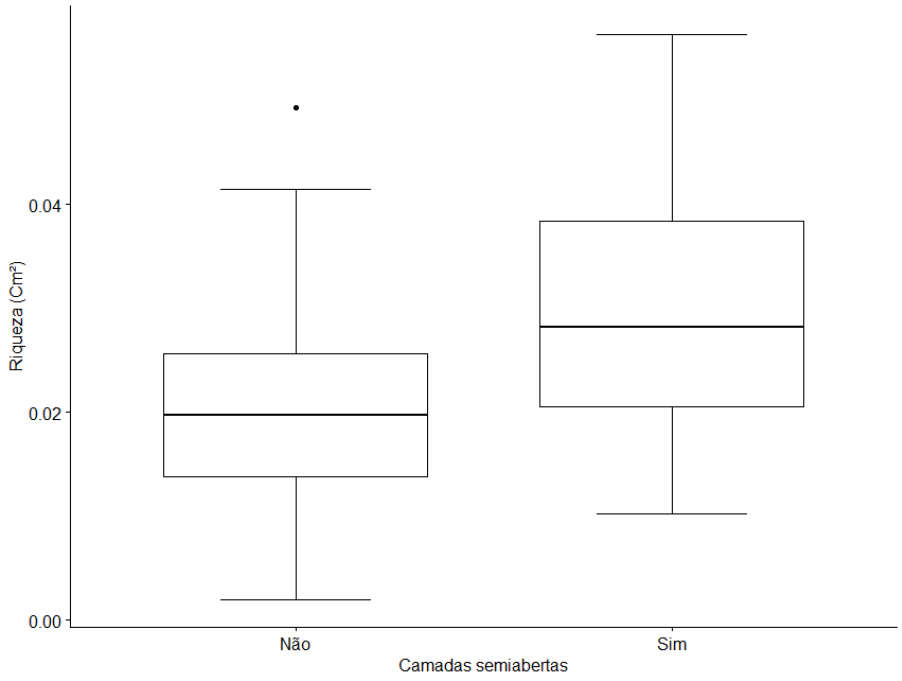


Fonte: Delcistia (2021).

Outro fator que apresentou importante influência na riqueza de UTOs por cm² das faces das ARMS foi a presença dos espaçadores retangulares em formato de “X” nas camadas semiabertas. Foi identificada uma diferença significativa ($p < 0,001$) na riqueza entre faces de camadas abertas ou

semiabertas. As que estavam em camadas semiabertas e possuíam o desenho de “X” apresentaram maior riqueza do que as que estavam em camadas totalmente abertas e não possuíam tal desenho (figura 17).

Figura 17 - Variação da riqueza de UTOs por cm² entre faces que possuíam e que não possuíam o desenho em “X”.

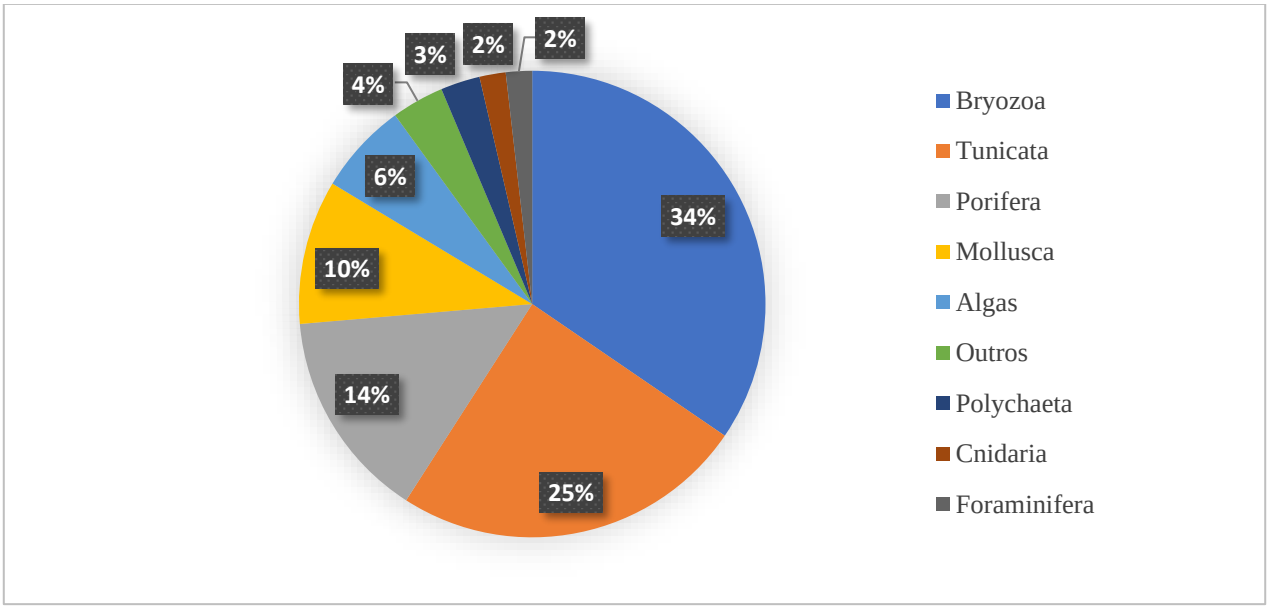


Fonte: Delcistia (2021).

Distinguindo todas as UTOs identificadas, notou-se presença marcante por parte de Bryozoa, com 38 UTOs, seguido de Tunicata, com 27. Porifera se encontra na terceira posição com 16 UTOs e Mollusca logo em seguida com 11. Algas representaram 7 UTOs do total, Polychaeta está representada por 3 UTOs e Cnidaria e Foraminifera por 2 cada um. Entoprocta e Cirripedia obtiveram somente 1 UTO de sua classificação biológica identificada, desovas de peixes/moluscos e o biofilme também foram considerados UTOs únicas, sendo incluídos na categoria “Outros” da figura 18.

Se tratando da abundância das UTOs identificadas, foram observados diferentes níveis de incrustação nas ARMS de cada local. A maior biomassa pesada foi observada no sítio Cabras, com 502,39g de organismos. O sítio ESEC vem em segundo lugar, com uma biomassa de 426,72g. Em terceiro lugar o sítio Palmas com 359,87g e, em seguida o sítio Geladeira com 241,96g. Os detalhes da biomassa de cada ARMS individualmente podem ser observados na tabela 2. Estes dados foram obtidos a partir da fração de organismos sésseis triturados nas etapas finais do processamento de cada ARMS.

Figura 18 - UTOs identificadas dentro de grandes grupos nos quatro sítios. “Outros” inclui Entoprocta, Cirripedia, biofilme, desovas de outros organismos.



Fonte: Delcistia (2021).

Tabela 2 - Biomassa da fração séssil de cada ARMS individualmente.

	Geladeira	ESEC	Palmas	Cabras
ARMS A	38,03 g	177,19 g	162,08 g	140,24 g
ARMS B	120,21 g	148,90 g	146,16 g	159,92 g
ARMS C	83,72 g	100,73 g	51,63 g	202,23 g

Fonte: Delcistia (2021).

Além de terem se destacado na riqueza de UTOs na ARMS, briozoários, tunicados e esponjas também estiveram dentre os mais abudantes do componente fauna, representados por diversas espécies. Poliquetas e desovas de outros organismos, como peixes e moluscos crípticos, também (figuras 19 e 20).

No entanto, a UTO mais abundante foi o biofilme (figuras 19, 20). Biofilme abrange organismos que não são passíveis de identificação visual, por isso foi incluído na categoria “Outros” na figura 18. Além de ter sido a UTO mais abundante, esteve presente em 98,6% de todas as faces das ARMS, fazendo dela a mais frequente também (figura 21).

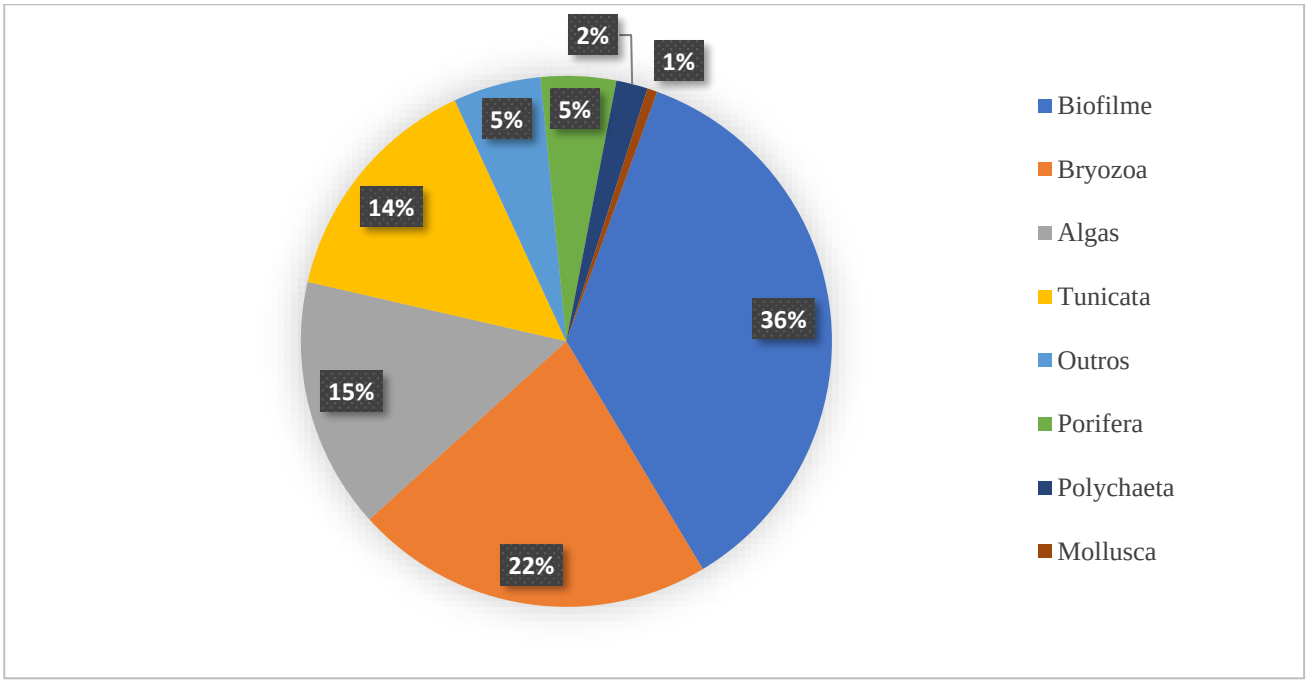
Algas também se mostaram abundantes dentro das ARMS (figura 19), especilamente as Rhodophyta em sua forma calcária (figura 20), que ocuparam principalmente regiões mais periféricas

das faces das ARMS, mesmo quando outras UTOs cresciam por cima delas. Sua presença foi registrada em 97,2% das faces das ARMS, fazendo dela a segunda UTO mais frequente e a segunda mais abundante também (figuras 20 e 21).

Turf também foi uma UTO de destaque, uma vez que se apresentou como uma das mais abundantes (figura 20). Sua frequência, por outro lado, foi muito baixa, aparecendo somente em 6,0% das faces. Estas são pontualmente localizadas como as faces superiores das placas 9 (P9T), que ficavam integralmente expostas nas camadas mais superficiais do ambiente. Sendo assim, estavam sob influência de outros fatores, tanto bióticos, quanto abióticos, que não os no ambiente críptico de fato, o qual é o escopo deste estudo.

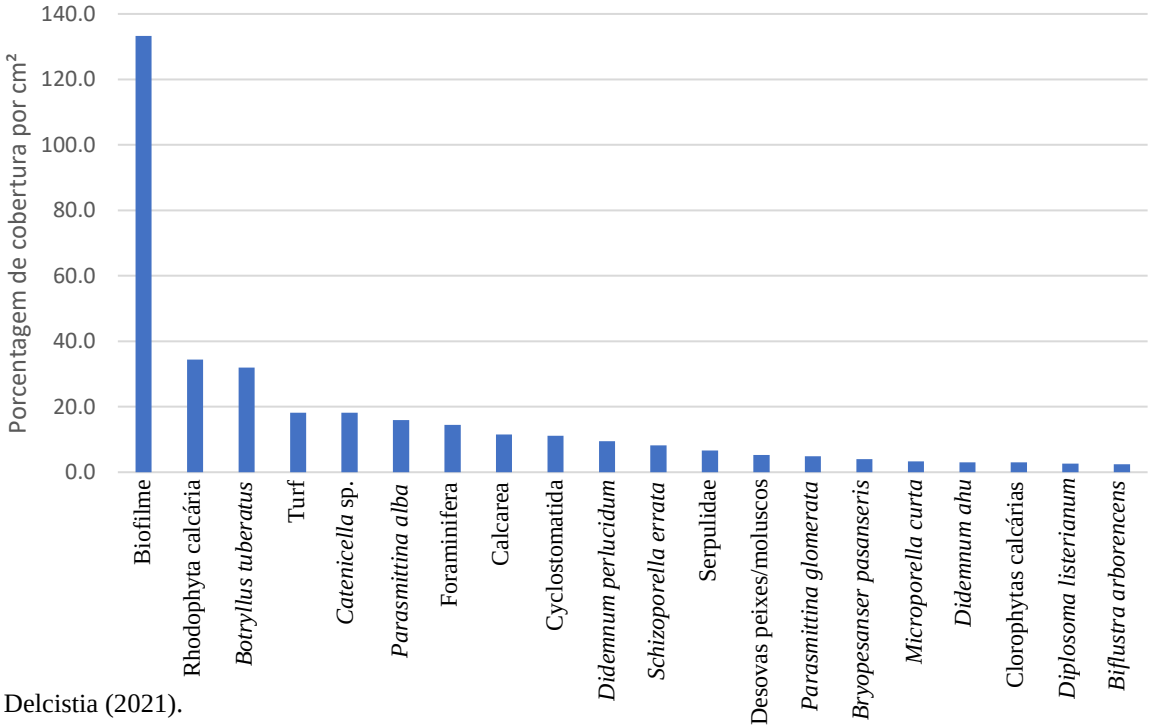
Outros invertebrados dividiram diferentes posições em abundância e frequência dentro das ARMS. *Botryllus tuberatus* se mostrou muito abundante (figura 20), entretanto pouco frequente, presente em 28,7% das faces das ARMS (figura 21). Em alguns casos, quando identificada, se mostrava dominante, preenchendo algumas faces por inteiro, e, por vezes, ARMS inteiras também, como ocorreu na estrutura ESEC_B.

Figura 19 - Abundância relativa das UTOs divididas em grandes grupos taxonômicos dentre todas as ARMS analisadas. "Outros" abriga Foraminifera, Cnidaria e desovas de peixes/moluscos.



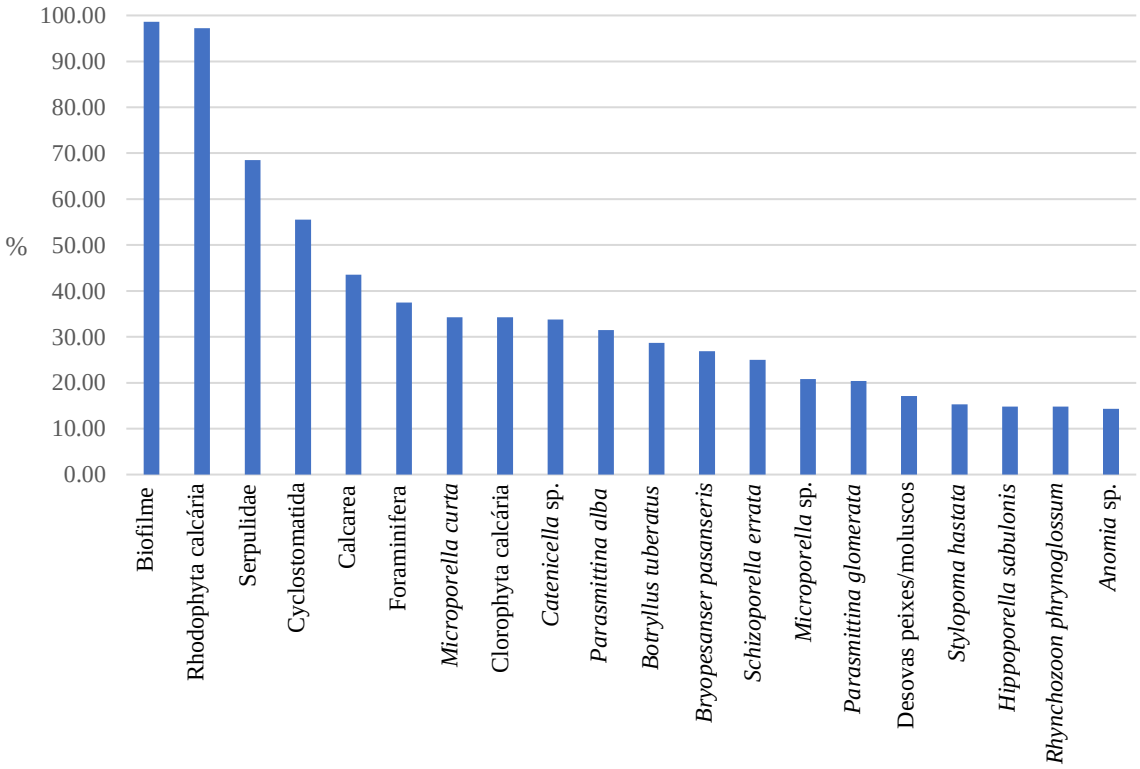
Fonte: Delcistia (2021).

Figura 20 – Porcentagem de cobertura por cm² das UTOs mais abundantes identificadas em todas as ARMS.



Fonte: Delcistia (2021).

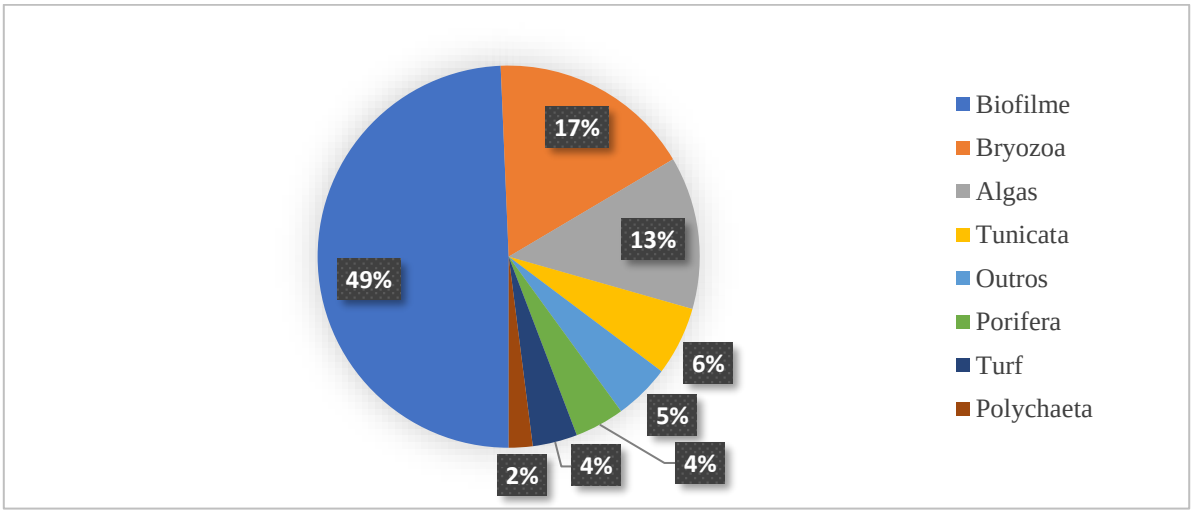
Figura 21 – Frequência relativa das 20 UTOs mais frequentes identificadas em todas as 216 faces das ARMS.



Fonte: Delcistia (2021).

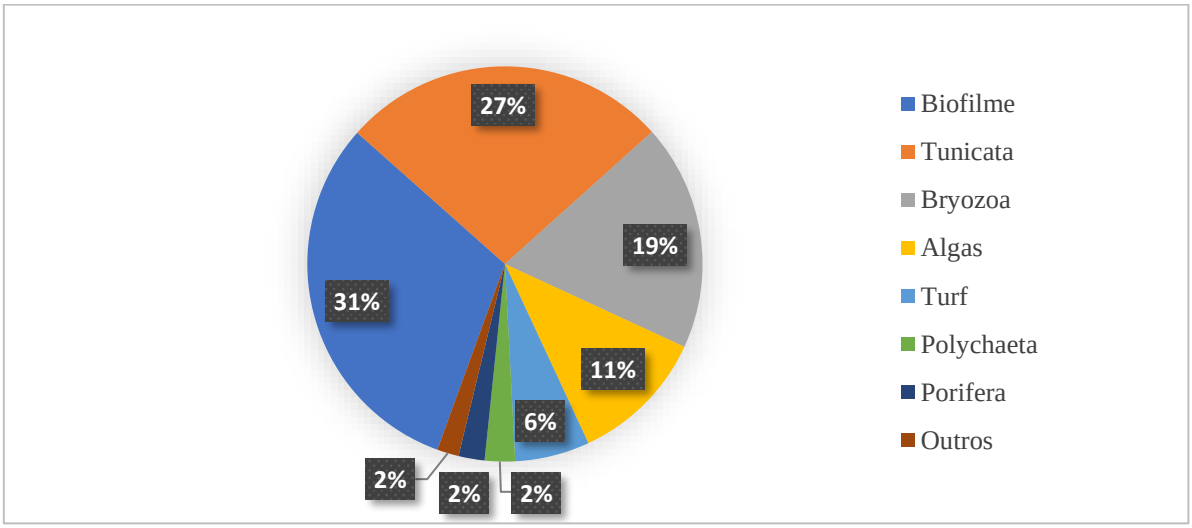
Observando sob uma perspectiva mais localizada, ou seja, por sítio de análise individualmente, o mesmo padrão de colonização das ARMS foi observado. Nos quatro sítios, Biofilme foi a UTO mais abundante de todas. Depois desta, Bryozoa, Tunicata e Algas se alternavam dentre as mais abundantes nos conjuntos (figuras 22, 23, 24 e 25). Nas ARMS dos sítios de Alcatrazes (Geladeira e ESEC), briozoários e tunicados se alternaram dentre os grupos mais abundantes (figuras 22 e 23). Vale ressaltar que o sítio Geladeira foi o único dos quatro em foi registrada a presença de cnidários, entretanto sua representatividade foi muito baixa, menor do que 1% de cobertura.

Figura 22 - Abundância relativa de grandes grupos nas ARMS do sítio Geladeira. "Outros" abriga Cirripedia, Foraminifera, Entoprocta, Cnidaria, Mollusca e desovas de peixes/moluscos.



Fonte: Delcistia (2021).

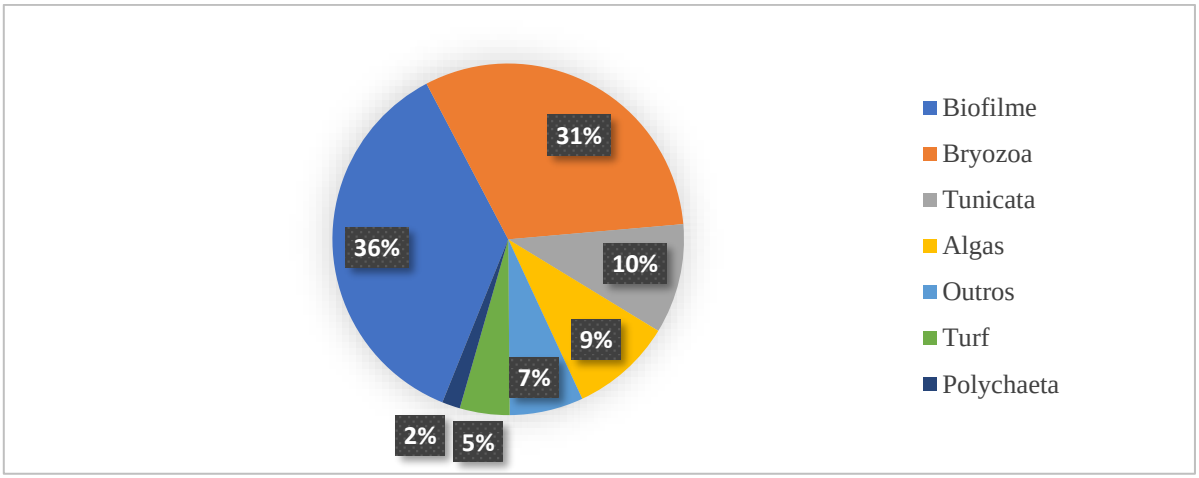
Figura 23 - Abundância relativa de grandes grupos nas ARMS do sítio ESEC. "Outros" abriga Cirripedia, Foraminifera, Entoprocta, Mollusca, Porifera e desovas de peixes/moluscos.



Fonte: Delcistia (2021).

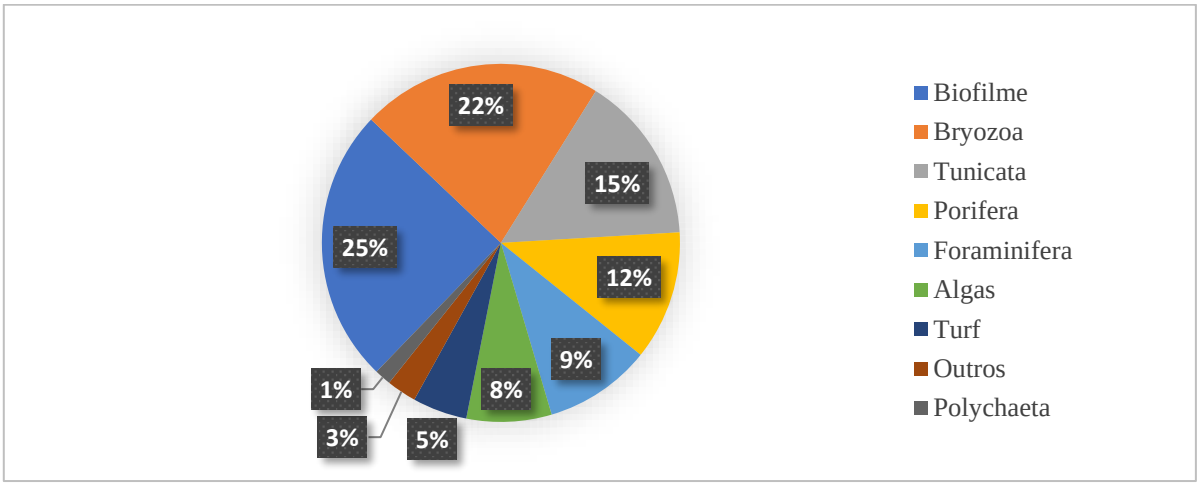
Nos sítios de Ubatuba (Palmas e Cabras), foram observados padrões de cobertura semelhantes aos dos sítios de Alcatrazes. Além disso, o sítio Cabras se sobressaiu como o de maior abundancia de poríferos e foraminíferos de todos os quatro (figuras 24 e 25).

Figura 24 - Abundância relativa de grandes grupos nas ARMS do sítio Palmas. "Outros" abriga Cirripedia, Foraminifera, Porifera, Mollusca e desovas de peixes/moluscos.



Fonte: Delcistia (2021).

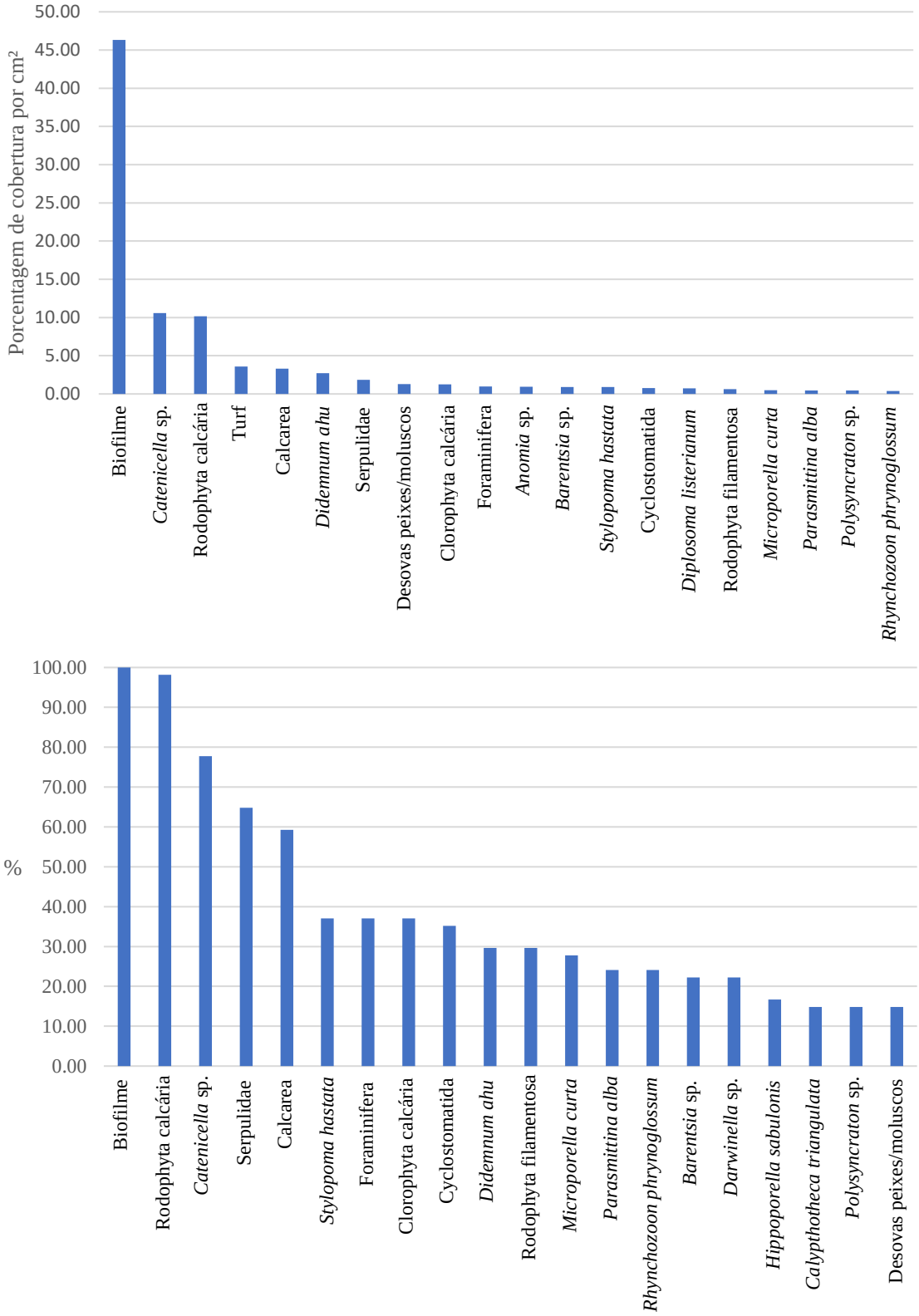
Figura 25 - Abundância relativa de grandes grupos nas ARMS do sítio Cabras. "Outros" abriga Cirripedia, Mollusca e desovas de peixes/moluscos.



Fonte: Delcistia (2021).

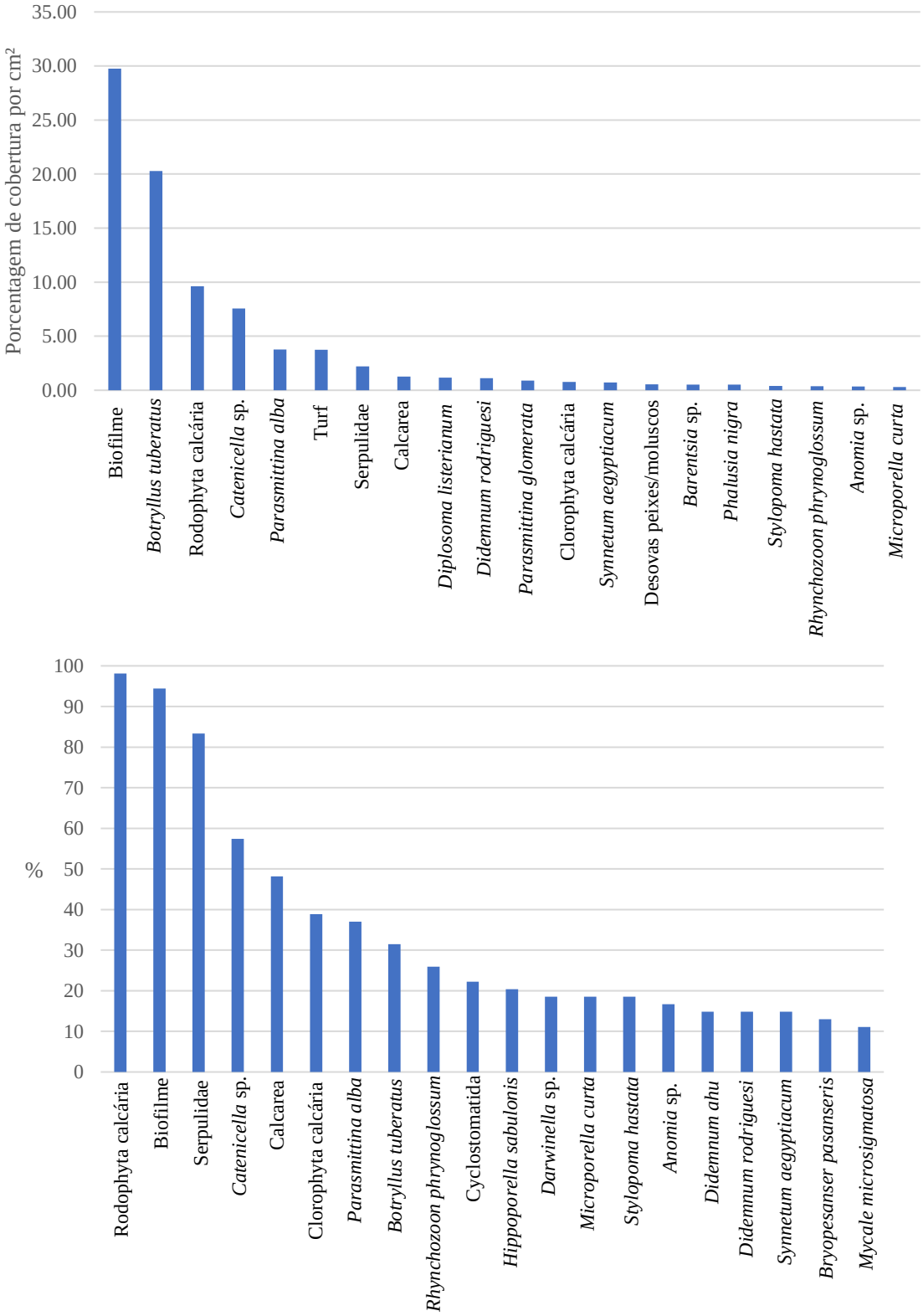
Considerando somente os sítios de Alcatrazes, ambos se mostraram muito semelhantes. Dentro dos briozoários registrados, *Catenicella* sp. foi tanto o mais abundante quanto o mais frequente do grupo. Tunicados também foram abundantes, no entanto pouco frequentes em ambos os sítios do local. Rhodophyta também marcou presença, sendo tanto muito abundante quanto frequente nestas ARMS (figuras 26 e 27).

Figura 26 – UTOs mais abundantes quanto a sua porcentagem de cobertura por cm² (acima) e frequência relativa (abaixo) nas faces das placas das ARMS do sítio Geladeira.



Fonte: Delcistia (2021).

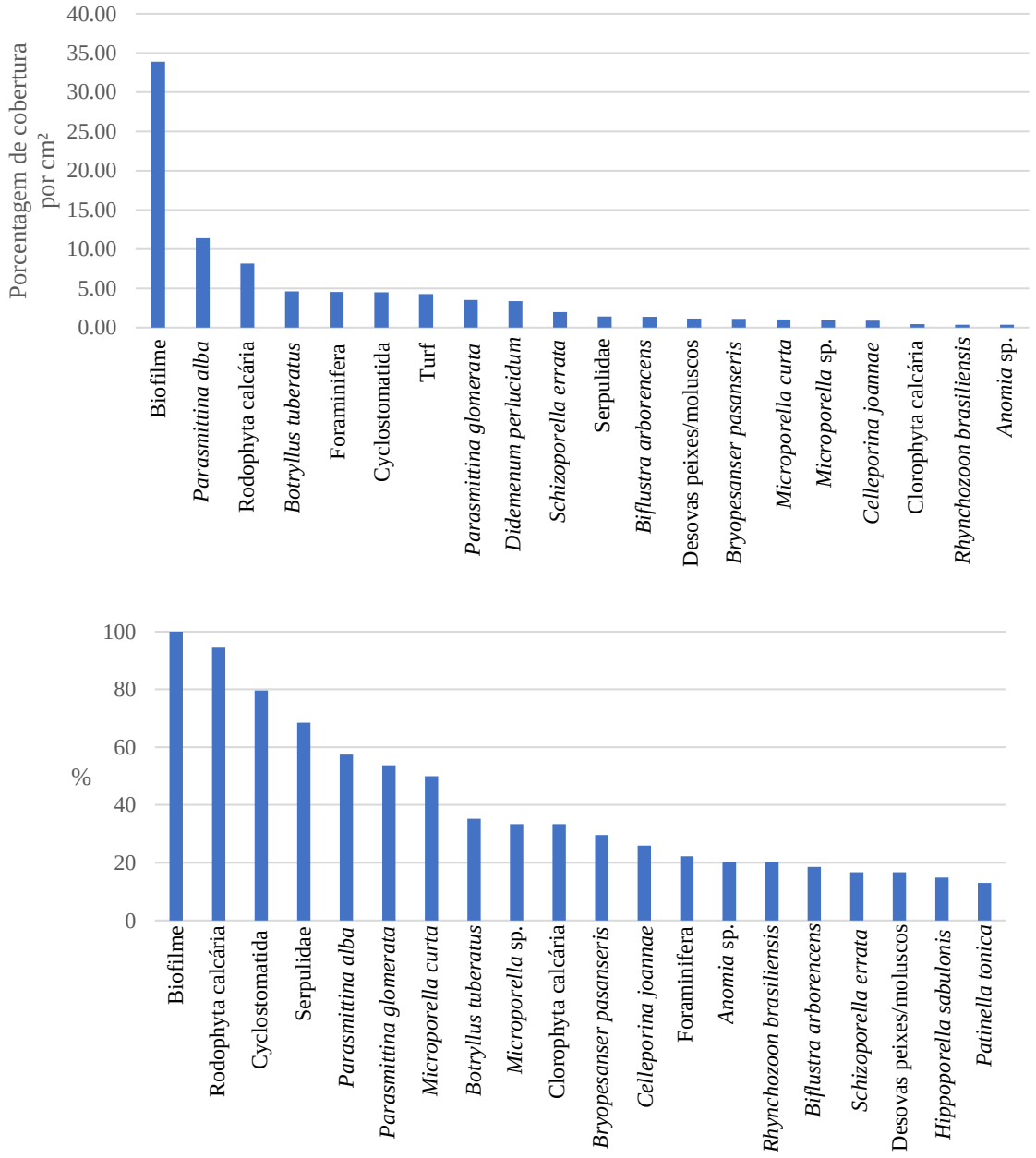
Figura 27 – UTOs mais abundantes quanto a sua porcentagem de cobertura por cm² (acima) e frequência relativa (abaixo) nas faces das placas das ARMS do sítio ESEC.



Fonte: Delcistia (2021).

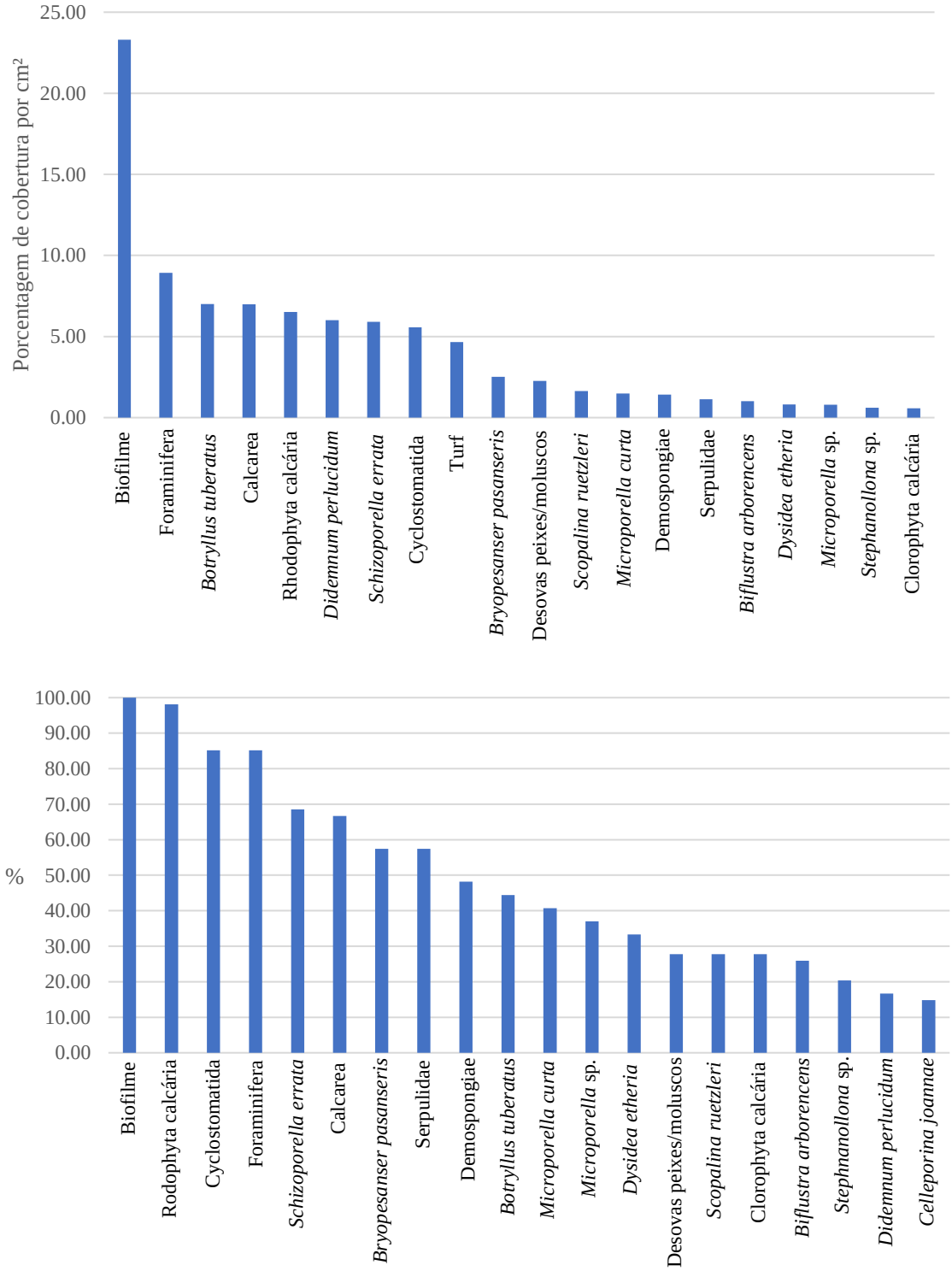
Nos sítios de Ubatuba, tunicados coloniais se sobressaíram com maiores abundancias do que os solitários, com destaque para *Botryllus tuberatus* e *Didemnum perlucidum*. Entretanto, foram pouco frequentes nestas ARMS. Com relação aos poríferos do sítio Cabras, Calcarea foi a UTO mais abundante do grupo, além de ter apresentado grande frequência também. Outras esponjas como *Scopalina ruetzleri* e *Dysidea etheria* também foram tanto abundantes, quanto frequentes nas ARMS deste sítio (figuras 28 e 29).

Figura 28 – UTOs mais abundantes quanto a sua porcentagem de cobertura por cm² (acima) e frequência relativa (abaixo) nas faces das placas das ARMS do sítio Palmas.



Fonte: Delcistia (2021).

Figura 29 – UTOs mais abundantes quanto a sua porcentagem de cobertura por cm² (acima) e frequência relativa (abaixo) nas faces das placas das ARMS do sítio Cabras.



Fonte: Delcistia (2021).

Aninhando novamente os fatores de escala espacial e realizando a PERMANOVA para analisar a cobertura bêntica, foram identificadas diferenças significativas em uma macro escala, considerando cada ARMS individualmente. Porém, quando acrescentado o fator Placa, diminuindo a escala de análise, não foram observadas diferenças significativas (tabela 3).

Tabela 3 - Resultados da PERMANOVA aninhada para cobertura bêntica das ARMS utilizando 999 permutações.

	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F model	R^2	p
Local	1	3,424	3,4236	21,5747	0,07230	<0,001
Local:Sítio	2	4,015	2,0075	12,6507	0,08479	<0,001
Local:Sítio:ARMS	8	8,914	1,1142	7,0217	0,18824	<0,001
Local:Sítio:ARMS:Placa	96	13,863	0,1444	0,9100	0,29275	0,917
Residual	108	17,138	0,1587		0,36192	
Total	215	47,353			1,00000	

Fonte: Delcistia (2021).

Com relação à diversidade destas UTOs dentro das ARMS, o cálculo de ambos os índices de diversidade de Shannon-Weaver e diversidade de Simpson apontam para maior diversidade nas ARMS de Ubatuba quando comparadas com as de Alcatrazes. O cálculos dos mesmos para cada sítio individualmente reforçam a observação (tabela 4).

Tabela 4 – Resultados para os índices de diversidade de Simpson (1-D), Shannon-Weaver (H') e equitabilidade de Pielou (J') para cada localidade e sítio estudado.

	Equitabilidade de Pielou (J')	Diversidade de Simpson (1-D)	Diversidade de Shannon (H')
Localidade			
Alcatrazes	0,519	0,795	2,350
Ubatuba	0,630	0,874	2,732
Sítio			
Geladeira	0,493	0,726	2,123
ESEC	0,539	0,824	2,328
Palmas	0,613	0,832	2,469
Cabras	0,659	0,896	2,761

Fonte: Delcistia (2021).

Realizando a ANOVA aninhada com a diversidade de Shannon-Weaver, foram observados resultados semelhantes aos da PERMANOVA. Entre locais, ou seja, Alcatrazes e Ubatuba, foram encontradas diferenças significativas na diversidade, assim como quando se consideram cada sítio e cada ARMS individualmente. As diferenças significativas foram identificadas entre os seguintes sítios: ESEC e Cabras ($p < 0,001$), Geladeira e Cabras ($p < 0,001$) e Palmas e Cabras ($p = 0,029$). Entretanto, adentrando a micro escala de cada placa, não foram observadas diferenças significativas quanto a diversidade (tabela 5).

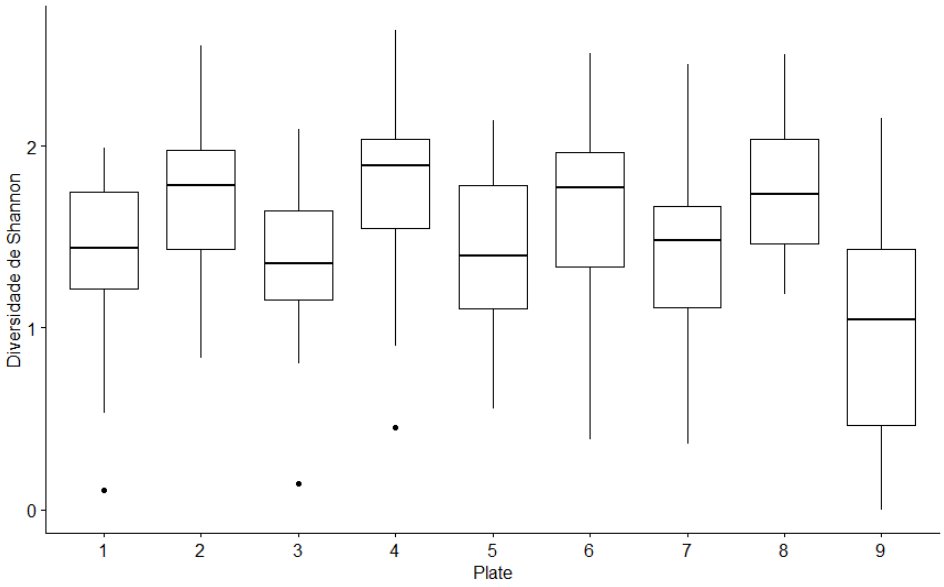
Tabela 5 - Resultados da ANOVA aninhada para diversidade de Shannon-Weaver.

	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F value	p
Local	1	4,514	4,514	25,084	<0,001
Local:Sítio	2	2,448	1,224	6,802	0,001
Local:Sítio:ARMS	8	9,841	1,230	6,836	<0,001
Local:Sítio:ARMS:Placa	96	22,551	0,235	1,305	0,089
Residual	108	19,435	0,180		

Fonte: Delcistia (2021).

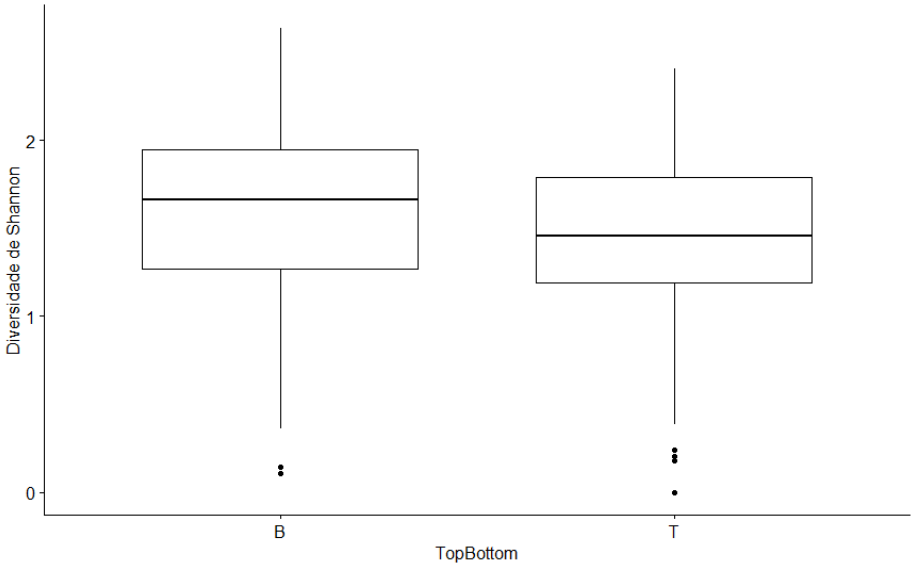
O mesmo padrão intercalado observado nos testes de riqueza em relação aos fatores de análise foi identificado nos testes com diversidade, ou seja, as placas de numeração par apresentaram maior diversidade do que as de numeração ímpar. Novamente a placa 9 se destacou em relação às outras como a mais discrepante (figura 30). Notou-se também que a maior diversidade se concentrou nas faces inferiores (B), com orientação voltada para o substrato, do que nas superiores (T), com orientação voltada para superfície (figura 31).

Figura 30 - Diversidade de Shannon entre placas (1 a 9) das ARMS de todos os sítios.



Fonte: Delcistia (2021).

Figura 31 - Diversidade de Shannon entre faces superiores (T) e inferiores (B) das placas das ARMS de todos os sítios.



Fonte: Delcistia (2021).

A diversidade beta, tanto entre locais de estudo, quanto entre seus respectivos sítios, também apresentou diferenças, revelando maior tendência para substituição (*turnover*) de UTOs do que aninhamento (*nestedness*) destas. Entretanto, observa-se que, tanto ambos locais de estudo, quanto seus respectivos sítios não diferem tanto entre si (tabela 6). Diminuindo a escala de análise e comparando ARMS de um mesmo sítio, também foi visto que o componente de substituição foi

dominante sobre o de aninhamento, além de evidenciar maiores diferenças em composição específica com maiores valores de dissimilaridade (tabela 7).

Tabela 6 - Resultados da diversidade beta entre locais de estudo e seus respectivos sítios.

	Substituição	Aninhamento	Dissimilaridade total
Alcatrazes : Ubatuba	0,25	0,06	0,31
Geladeira : ESEC	0,22	0,005	0,23
Palmas : Cabras	0,17	0,06	0,24

Fonte: Delcistia (2021).

Tabela 7 - Resultados da diversidade beta entre ARMS instaladas no mesmo sítio.

	Substituição	Aninhamento	Dissimilaridade total
Geladeira	0,90	0,038	0,94
ESEC	0,90	0,040	0,94
Palmas	0,91	0,029	0,94
Cabras	0,89	0,039	0,93

Fonte: Delcistia (2021).

Em escala ainda mais diminuta, comparando faces de uma mesma ARMS, observou-se o mesmo padrão anterior, o componente de substituição domina sobre o aninhamento. Além disso, mesmo placas de uma mesma ARMS diferem entre si a níveis maiores que 70% de dissimilaridade, assim, também destacando maior diferença em composição específica em micro escala (tabelas 8 e 9).

Tabela 8 - Resultados da diversidade beta para cada ARMS instalada nos sítios Geladeira e ESEC.

	Substituição	Aninhamento	Dissimilaridade total
GELA_A	0,71	0,14	0,85
GELA_B	0,79	0,062	0,85
GELA_C	0,79	0,074	0,86
ESEC_A	0,80	0,064	0,86
ESEC_B	0,70	0,14	0,84
ESEC_C	0,77	0,08	0,85

Fonte: Delcistia (2021).

Tabela 9 - Resultados da diversidade beta para cada ARMS instalada nos sítios Palmas e Cabras.

	Substituição	Aninhamento	Dissimilaridade total
PALM_A	0,73	0,05	0,79
PALM_B	0,80	0,04	0,85
PALM_C	0,71	0,12	0,83
CABR_A	0,75	0,07	0,83
CABR_B	0,71	0,12	0,83
CABR_C	0,76	0,06	0,83

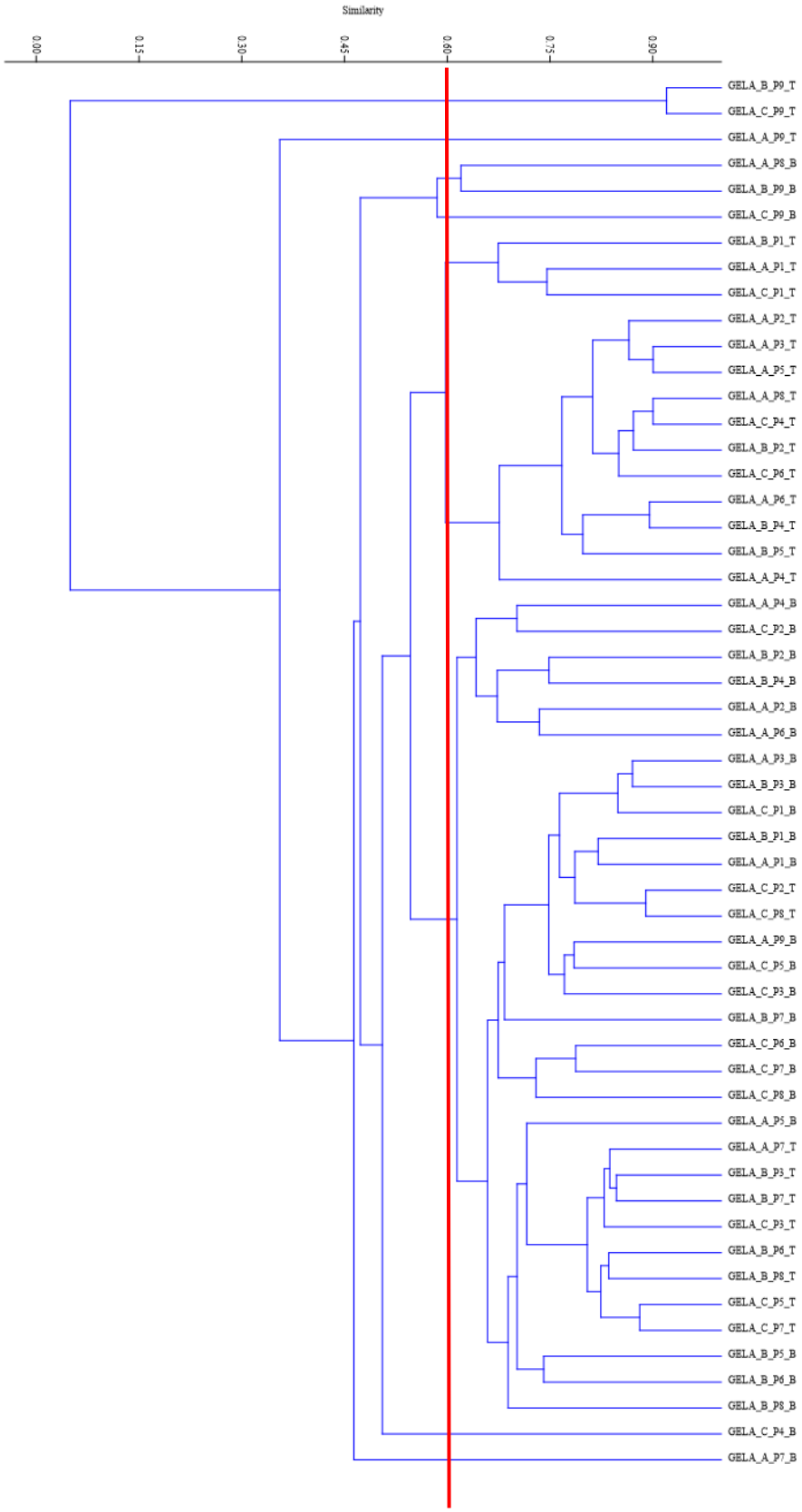
Fonte: Delcistia (2021).

Novamente sob uma perspectiva regional, a cobertura dos quatro sítios seguiu um mesmo padrão de incrustação. A análise de agrupamento das faces dos de cada sítio individualmente, em um nível de corte de 0,6 (60% de similaridade), representado em vermelho nos dendrogramas das figuras 32, 33, 34 e 35, mostrou um padrão de agrupamento de faces exclusivamente T ou B, independentemente da estrutura de origem (A, B ou C), o que se conecta com resultados anteriores de que as maiores diversidades foram observadas em faces B.

Este agrupamento também ocorreu entre placas, ou de mesma numeração, como P9B de ARMS diferentes do mesmo sítio, ou entre placas de numeração muito próxima, com poucas exceções. Um caso que se destaca dos demais foi no sítio ESEC, no qual a estrutura ESEC_B teve seu próprio agrupamento formado, separada de ESEC_A e ESEC_C, por conta de estar inteiramente dominada por *Botryllus tuberatus*.

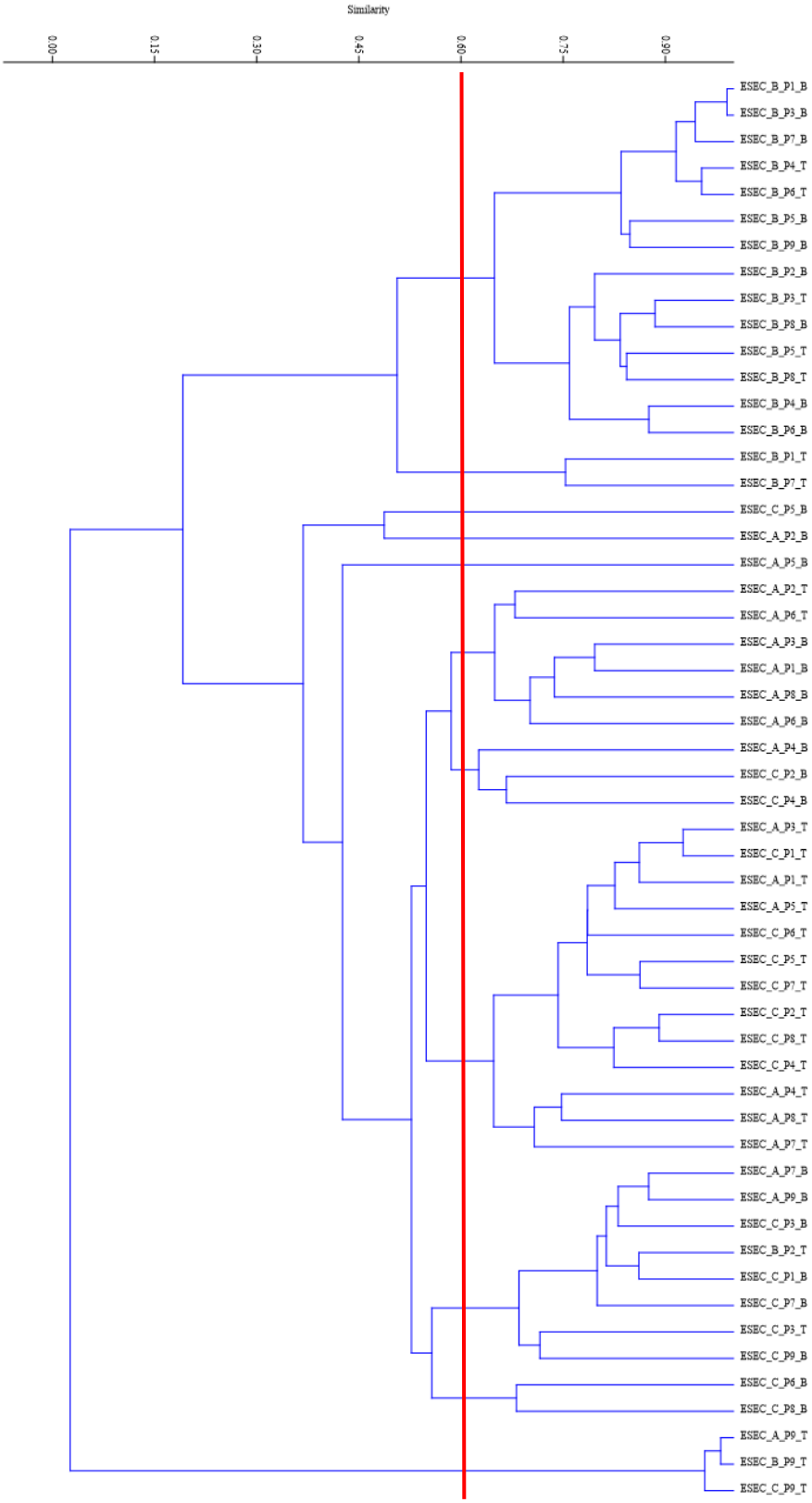
Outro agrupamento que ficou claramente destacado em todos os dendrogramas foi o das faces P9T. Essa separação se ocorreu devido à alta predominância de Turf nestas, já que eram as que estavam totalmente expostas na porção mais superficial do ambiente, não representando a biota críptica de fato.

Figura 32 - Dendrograma de agrupamento das faces das ARMS do sítio Geladeira a partir do índice de similaridade de Bray-Curtis.



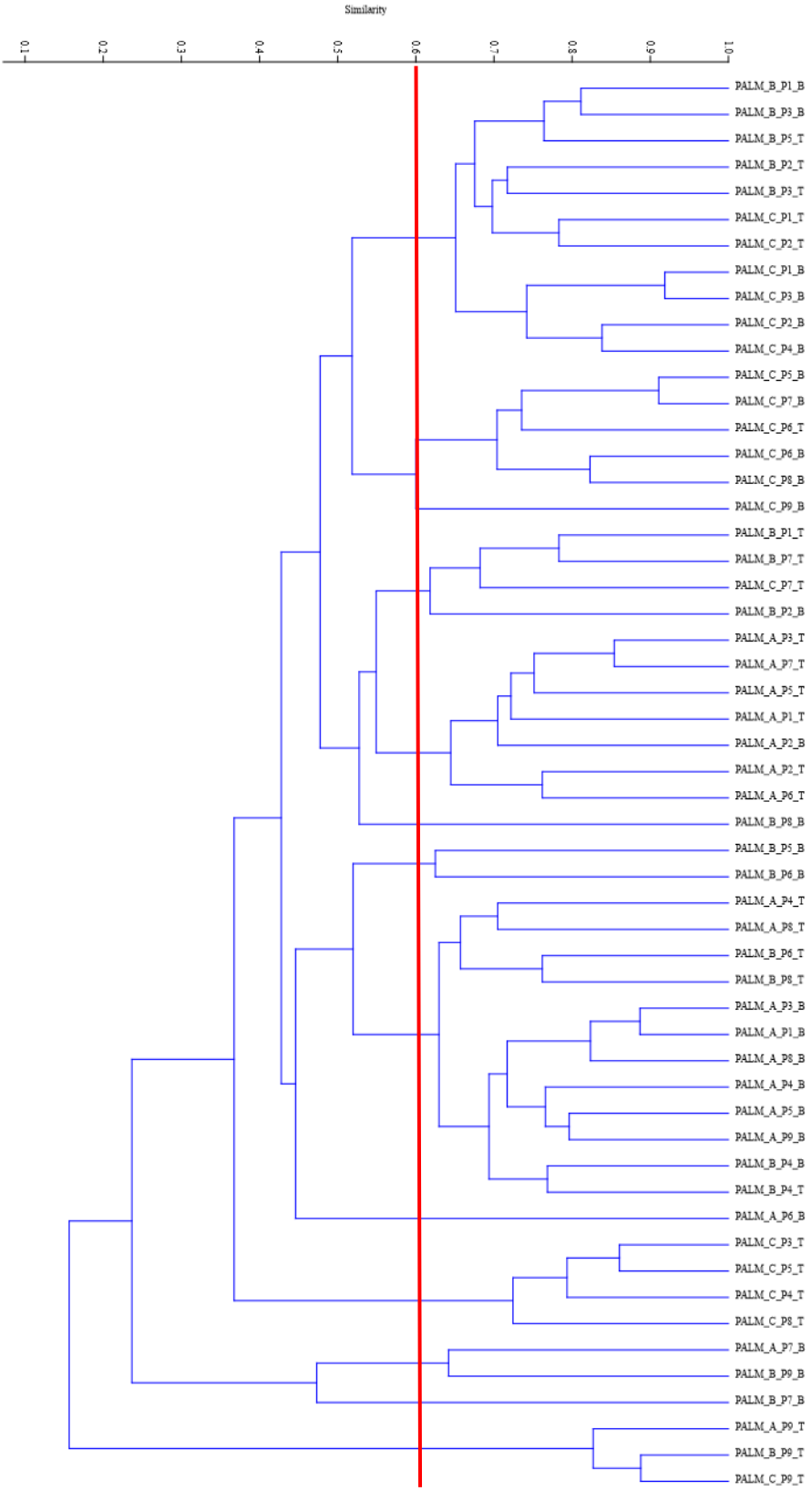
Fonte: Delcistia (2021).

Figura 33 - Dendrograma de agrupamento das faces das ARMS do sítio ESEC a partir do índice de similaridade de Bray-Curtis.



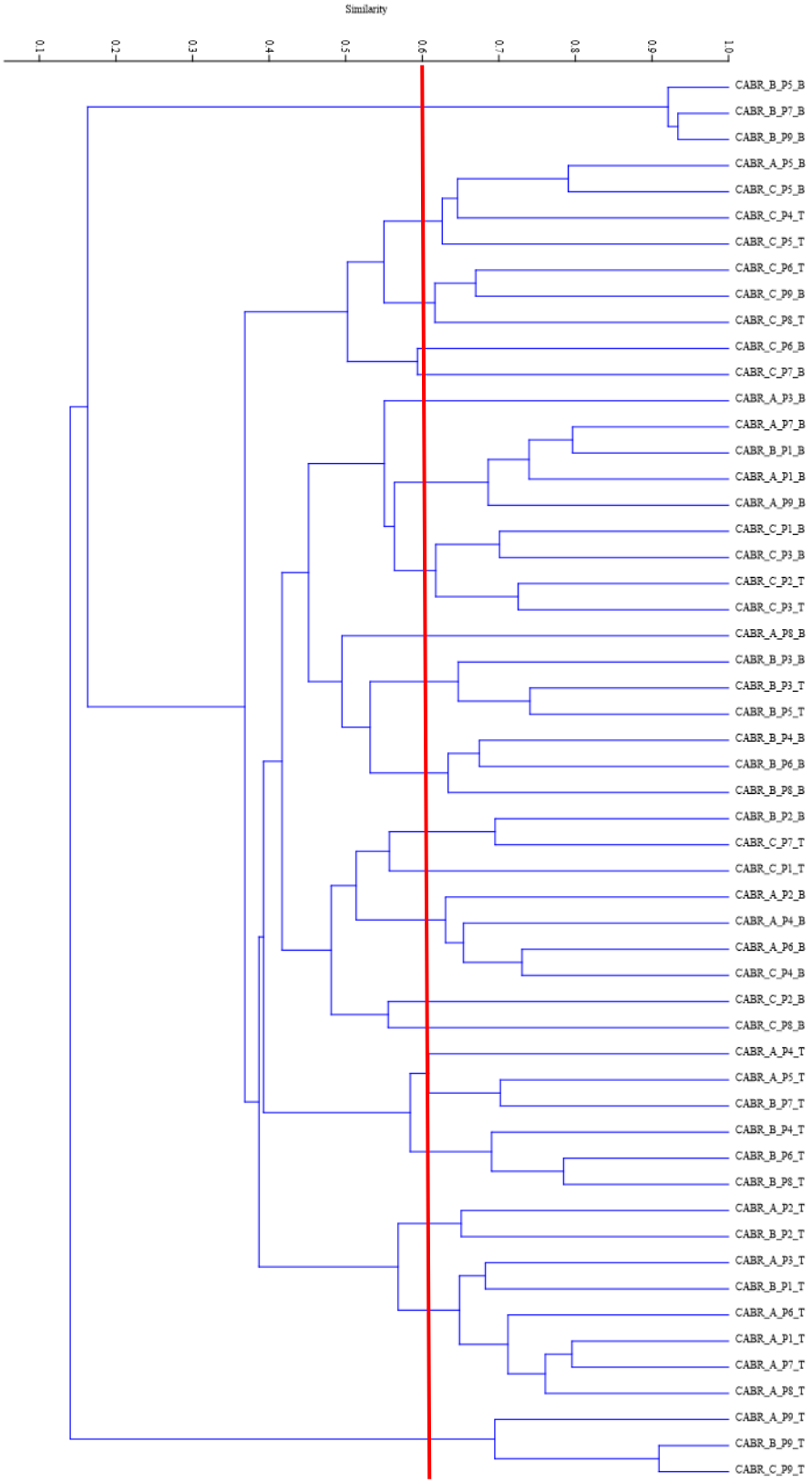
Fonte: Delcistia (2021).

Figura 34 - Dendrograma de agrupamento das faces das ARMS do sítio Palmas a partir do índice de similaridade de Bray-Curtis.



Fonte: Delcistia (2021).

Figura 35 - Dendrograma de agrupamento das faces das ARMS do sítio Cabras a partir do índice de similaridade de Bray-Curtis.



Fonte: Delcistia (2021).

4. DISCUSSÃO

No presente estudo foi possível identificar grande diversidade críptica nas ilhas costeiras de São Paulo, sendo que a maior riqueza foi vista na Ilha de Alcatrazes, corroborando a hipótese inicial neste aspecto. Além de estar mais distante do continente, a cerca de 34 km de São Sebastião, Alcatrazes se encontra parcialmente protegido pela Marinha do Brasil desde 1982, além da proteção já conferida pelo decreto de criação da ESEC, limitando o tráfego de embarcações e pesca na região. Foi somente em 2016 que parte do conjunto de Ilhas foi aberto como um refúgio de vida silvestre, permitindo certas embarcações trafegar na área com autorização do ICMBio visando o ecoturismo (ARAUJO, 2014; BRASIL, 2017c).

Outro fator a ser levado em consideração é o ambiente oceanográfico da plataforma continental de São Sebastião. A Acas (Água Central do Atlântico Sul), sazonalmente realiza uma intrusão de água fria e rica em nutrientes que, em contraste com a AC (Água Costeira), que é mais quente e menos salina, acaba formando uma termoclina bem definida que pode chegar a áreas mais rasas, a menos de dez metros profundidade. A proximidade da região de São Sebastião com a Corrente do Brasil (CB) pode vir a estender estas condições para Alcatrazes, o que poderia vir a acarretar em mudanças na riqueza e diversidade bêntica local. A presença de sedimentos mais arenosos e não tão finos nos arredores do arquipélago reforça esta hipótese já que, correntes marítimas fortes geralmente estão relacionadas a deposição de sedimentos mais pesados (AIDAR et al., 1993; CONTI; FURTADO, 2006; PIRES-VANIN, 2008).

A potência da Corrente do Brasil também pode trazer maior conectividade ao ambiente marinho local, a maior riqueza de Alcatrazes também pode encontrar suporte na teoria da biogeografia de ilhas (FIGUEIRÓ, 2015; MACARTHUR; WILSON, 1963). Embora esteja mais distante, é a maior das ilhas estudadas, e, dada essa conectividade, o distanciamento da costa, do ponto de vista da imigração, não deve ser um elemento relevante para a biota marinha dado o fato de que a distribuição de organismos sésseis marinhos é altamente condicionada pelo seu potencial de dispersão (COWEN; SPONAUGLE, 2009). O mesmo não pode ser dito para o componente terrestre.

Sabe-se que, tanto composição, quanto estrutura de comunidades bênticas são influenciadas por variáveis ambientais (CUMMINGS et al., 2006). Tendo em mente que a deposição, tanto de nutrientes, quanto de matéria orgânica, em plataformas continentais é fortemente influenciada pela proximidade destes locais com a costa (BARCELLOS; FURTADO, 1999; PIRES-VANIN, 2008), há a possibilidade de que, as grandes biomassas registradas nos sítio Palmas e Cabras (maior biomassa

de todos), ocorreram por conta deste motivo, já que a distância das ARMS de Ubatuba da costa era menor do que as de Alcatrazes. A intrusão sazonal da Acas também é recorrente da região de Ubatuba, o que pode a levar a um aumento de biomassa fitoplânctonica já que, sem esta interferência externa de nutrientes, as águas locais apresentam propriedades oligotróficas (AIDAR et al., 1993). Desta maneira, há possibilidade de um aumento de biomassa de populações de filtradores incrustantes.

Entretanto, o sítio ESEC apresentou a segunda maior biomassa dos quatro, o que pode levar a acreditar que a distância de ambos os locais em relação a costa não se mostra como um ponto relevante quando se trata da descarga de nutrientes e matéria orgânica. O que parece improvável, já que Alcatrazes possui uma estratificação mais clara da coluna d'água e menor turbidez quando comparado com Ubatuba.

O que poderia justificar este resultado é o fato de que, apesar de sua plataforma ser principalmente composta por sedimento arenoso, o arquipélago de Alcatrazes possui sedimentos predominantemente carbonáticos, que estão mais relacionados à deposição de partículas mais finas como silte e argila e a presença destes sedimentos indica grande atividade biológica (CONTI; FURTADO, 2006; BRASIL, 2017c). Como já dito por Pires-Vanin (2008), a influência da Acas pode chegar até áreas mais rasas. Como as ARMS estavam instaladas a cerca de dez metros de profundidade, a força da CB pode levar estes sedimentos até Alcatrazes e a Ilha age como uma parede de ancoragem para sua deposição e garantindo maior produtividade primária, assim, levando a um aumento de biomassa de filtradores.

Também é importante lembrar que Alcatrazes, especialmente o sítio ESEC, está sobre a vigência de um regime de proteção ambiental mais rígido do que Ubatuba, uma vez que este está dentro de uma das zonas primitivas da estação ecológica, ou seja, permite a intervenção humana somente por ensaios científicos, além do maior isolamento histórico (BRASIL, 2017c). Essas restrições de acesso podem ter dado a possibilidade de maior desenvolvimento de organismos como tunicados solitários, além de outros, que podem ter agregado fortemente na biomassa do local.

Com relação a cobertura bêntica observada, resultados obtidos neste estudo corroboram com o que é verificado na literatura atual. Recifes brasileiros são naturalmente dominados por macroalgas, sejam calcárias ou filamentosas, e turf (AUED et al., 2018). A grande abundância destas UTOs na periferia das faces das ARMS e cobrindo completamente as últimas faces superiores (9T) de todas as estruturas, traz à tona essa característica dos ambientes recifais nacionais. O posicionamento das algas nestas áreas específicas das ARMS também sugere que tal característica se atenha somente as porções mais superficiais e expostas dos ambientes recifais em questão.

Um fator decisivo para tal distribuição é a disponibilidade de luz solar, uma vez que algas necessitam desta para satisfazer suas necessidades energéticas. Segundo Kobluk (2017), o ambiente críptico é composto por espaços altamente sombreados ou em escuridão completa e, o fato das porções mais interiores das placas das ARMS serem mais sombreadas se apresentaria como um fator limitante a atividade fotossintetizante destes organismos.

Dentro da pluralidade de organismos identificados nas ARMS, os corais dificilmente seriam classificados como fauna de ambiente críptico, já que a costa brasileira possui baixa cobertura de corais construtores de recifes, sendo que, quando presentes, são espécies de grande tamanho como as dos gêneros *Siderastrea* e *Mussismilia*. Além disso, estes também dependem de luz solar para seu desenvolvimento por estarem em simbiose com microalgas (GARRISON, 2017; AUED et al., 2018).

Ainda assim, foram registradas UTOs de Cnidaria nas ARMS, representados por um hidrozoário e uma anêmona de pequeno tamanho. Os ambientes coralíneos paulistas não são considerados recifes de corais verdadeiros, estes estão presentes na região nordeste do país, além de ilhas oceânicas, como Fernando de Noronha e a Ilha de Trindade (ZILBERBERG, 2016).

Em contraste com a menor presença de cnidários nas ARMS, foram identificados diversos outros táxons de invertebrados, com alta abundância de organismos como Bryozoa ou Tunicata, sugerindo uma alta sobreposição de nichos, padrão observado em outras comunidades ao redor do mundo, até mesmo recifes coralíneos (LONGHURST; PAULY, 2007; AUED et al., 2018).

Estes invertebrados possuem grande importância na composição dos recifes do sudeste do Brasil, sendo considerados os engenheiros ecossistêmicos, ou espécies fundadoras destes ecossistemas, fundamentais na estruturação das comunidades bênticas da costa brasileira como um todo. Além dos cnidários, as esponjas, briozoários, moluscos e ascídias compõe a fauna engenheira ecossistêmica, especialmente na costa sudeste, que é dominada por costões rochosos graníticos e recifes rochosos, com influência de ressurgência e regimes de correntes de vento (SOARES et al., 2016).

Dos grupos supracitados, briozoários são considerados um dos mais abundantes e com maior diversidade de espécies registradas na costa de São Paulo em comparação a outros invertebrados sésseis. Isto foi observado nas ARMS, uma vez que Bryozoa foi o grupo com maior número de UTOs registradas, além de ter sido o segundo mais abundante, em três dos quatro sítios de análise. A grande abundância e frequência pode estar relacionada ao fato de que briozoários são ótimos competidores

por espaço, crescendo tanto em superfícies naturais quanto artificiais (AMARAL; NALLIN, 2011; SOARES et al., 2016).

Tunicata também marcou presença nas ARMS de todos os sítios. Espécies coloniais geralmente são predominantes em costões e recifes rochosos quando comparados às formas solitárias de maior tamanho. Ao longo da costa brasileira, Didemnidae se mostra como a família mais diversa, repetindo o padrão global. No entanto, no sudeste, Styelidae assume este posto (SOARES et al., 2016). Os dados obtidos das ARMS condizem com a literatura já que ambas as famílias citadas foram abundantes, ocupando largas porções das placas, em especial o gênero *Botryllus*. Contudo foram pouco frequentes, nunca estando presentes em mais de 50% do total de faces das ARMS em cada sítio.

Porífera foi o terceiro grupo mais diverso dentro das ARMS. O litoral norte de São Paulo é considerado um dos locais de maior diversidade de esponjas, juntamente com localidades do Nordeste do país como Fernando de Noronha e a Baía de Todos os Santos (AMARAL; NALLIN, 2011). Apesar de pouco abundantes nas ARMS, esponjas se fizeram frequentes de uma maneira geral com espécies pequenas já que o ambiente em questão é diminuto, fator que possivelmente exerceu influência para o crescimento somente destas.

Sabe-se também que, comunidades macrobênticas de regiões tropicais são constituídas em sua maioria por grupos como poliquetas, crustáceos, gastrópodes e bivalves (LONGHURST; PAULY, 2007). Destes, os poliquetas, mais especificamente a família Serpulidae, se mostraram muito frequentes no presente estudo, ocorrendo em quase 70% das faces das ARMS. Este é um grupo que aparece com frequência em substratos duros e era esperado que fossem abundantes nas ARMS. Já os Bivalves, principalmente a família Anomiidae, com o gênero *Anomia*, não foram tão abundantes quanto poliquetas, mas estiveram dentre as UTOs mais frequentes nas faces das ARMS, ocorrendo em cerca de 15% delas.

Ainda com relação a diversidade das ARMS, ambos os índices calculados, Shannon-Weaver e Simpson, apontaram para maior diversidade em Ubatuba em comparação com Alcatrazes. Naturalmente, locais de maior riqueza deveriam apresentar maiores valores de diversidade quando comparados a locais menos ricos, o que não ocorre aqui já que Alcatrazes apresentou maior número de UTOs diferentes tanto em âmbito regional, quanto local.

Ambos os índices utilizados são afetados pela abundância das espécies registradas. Muitas encontradas exclusivamente em Alcatrazes apresentaram tanto baixa abundância, quanto frequência nas faces de suas ARMS. Isto ocorreu especialmente em relação a tunicados, com ênfase às formas solitárias como *Microcosmus* sp. e *Eusynstyela* sp., mas também para algumas espécies coloniais como *Botrylloides niger* e *Didemnum vanderhorsti*. Outros táxons, como o briozoário *Watersipora subtorquata* e o bivalve *Pinctada imbricata*, também se encaixaram neste contexto.

O fato destas espécies terem apresentado tanto baixa abundância quanto baixa frequência pode ter sido o que fez com que ambos os índices indicassem maior diversidade críptica para Ubatuba. Os valores da equitabilidade de Pielou realçam esta teoria, revelando que certas espécies de Alcatrazes, além de pouco presentes nas ARMS, também estavam distribuídas de maneira menos uniforme.

Teoricamente, segundo o índice de Simpson, a distribuição de espécies de maneira mais equitativa acarretaria em maior diversidade para locais de menor riqueza, quando comparados a outros mais ricos, o que ocorreu nas ARMS visto que Ubatuba apresentou distribuição de organismos mais uniforme (ÁLVAREZ et al., 2006; LIMA; SOUZA; PEDERASSI, 2016). Já com relação ao índice de Shannon, este é mais sensível a espécies raras, sendo assim, a baixa abundância de certas UTOs, juntamente com a grande abundância de outras mais comuns, comprovam essa característica do índice, o que pode ter levado aos valores menores observados em Alcatrazes. Comparativamente a Ubatuba, estes resultados também podem remeter à uma maior porcentagem de espécies raras em Alcatrazes, apesar dos valores de diversidade para ambos os locais terem sido próximos (ÁLVAREZ et al., 2006; MELO, 2008).

Sendo assim, uma possível hipótese é a de que, dadas as condições oceanográficas e históricas de Alcatrazes, houve o desenvolvimento de um maior número de espécies diferentes de fauna críptica incrustante no local. Entretanto, algumas destas podem ser consideradas espécies raras por serem pouco abundantes e estarem distribuídas de maneira mais desigual no ambiente. Desta maneira, Alcatrazes apresenta uma maior porcentagem de espécies raras e, outras que são mais comuns dominam o ambiente críptico da região, o que acarretaria em uma fauna críptica menos diversa em relação a Ubatuba, que mostrou distribuição de organismos mais uniforme, resultando assim em uma fauna críptica mais diversa.

Ambos diversidade e riqueza demonstraram padrões dentro das ARMS, especialmente entre a placa 9 e as demais, o que também foi visto nas análises de agrupamento. A face superior desta (P9T) estava constantemente exposta, diferentemente das outras que estavam abrigadas, caracterizando o ambiente críptico simulado. Essa exposição explica a dominância por algas, aumentando a discrepância de colonização entre ela e o restante das ARMS.

Entretanto, os resultados das análises de variância aninhadas mostram que, em menor escala, não houve diferença significativa quanto a riqueza de organismos, nem quanto a diversidade dentro das ARMS. Um aspecto a ser levado em consideração é que comunidades bênticas crípticas são altamente competitivas e organismos sésseis dispõem de diversos mecanismos para disputar por espaço, sejam eles fisiológicos ou comportamentais. Além disso, a diversidade neste ambiente pode vir a aumentar com a presença de perturbações, como predação, a qual pode efetivamente alterar a estrutura de uma comunidade bêntica local, críptica ou não, com relação a sua composição específica em regiões subtropicais (JACKSON; BUSS, 1975; ORICCHIO; FLORES; DIAS, 2016).

No componente não críptico de ambientes recifais, a competição por espaço é em parte articulada pela remoção de espécies dominantes que facilmente monopolizam a área de incrustação, por parte de predadores como grandes peixes, isso ocorre principalmente depois do assentamento e desenvolvimento primário destas comunidades incrustantes. Pequenos peixes e crustáceos representam os principais predadores dentro do ambiente críptico protegido que, assim como na porção superficial, removem espécies dominantes que, em ambos os casos, são representadas por ascídias (ORICCHIO; FLORES; DIAS, 2016; KITAZAWA et al., 2021).

O fato de a porção críptica ser protegida do restante do ambiente faz com que diferentes pressões bióticas e abióticas estejam vigentes. A competição por espaço ainda existe, contudo, a falta de perturbações externas, como o típico hidrodinamismo, ou até predação por organismos maiores, possivelmente confere maior estabilidade ao ambiente críptico. Sendo assim, somente a competição por espaço não seria suficiente para alterar os padrões de incrustação de maneira significativa, ou até mesmo a riqueza ou diversidade dentro das cavidades. Isso ficou visível nos resultados da ANOVA e PERMANOVA aninhadas.

Desta maneira, espécies dominantes e mais competitivas monopolizariam espaços com maior facilidade, podendo levar a padrões de incrustação mais comuns e isso foi observada nas ARMS. Houve grande dominância por parte de *Botryllus tuberatus* (Tunicata), que ocupou totalmente a

estrutura ESEC_B. Outras placas de outras estruturas também registraram somente uma ou duas espécies que, na maioria das vezes, foram tunicados coloniais.

Essas observações também corroboram com Vieira, Flores e Dias (2018), que afirmam que, a maneira como uma comunidade bêntica se organiza depende muito da história de vida e das estratégias que espécies pioneiras utilizam para ocupar espaço, o que, consequentemente, pode alterar padrões de recrutamento de dado local. Sendo assim, dentro do ambiente críptico, o colonizador primário teria certa vantagem e, dependendo as espécie, poderia facilmente monopolizar o substrato.

Esta explicação também se relaciona com os padrões que demostram que as camadas semiabertas das ARMS, as quais possuíam faces com desenho em “X”, se mostraram mais ricas e diversas do que as em camadas totalmente abertas. Este desenho das ARMS pode ter causado um efeito de setorização das faces de camadas semiabertas, dividindo-as em quatro partes, as quais espécies diferentes poderiam ocupar sem competir com outras do setor vizinho. Assim, espécies dominantes eram impedidas de tomar estas faces por completo já que os espaçadores em “X” se mostraram como barreiras físicas para elas, as quais não existiam nas faces de camadas abertas e seriam mais facilmente monopolizadas.

Outra teoria para este resultado seria que a presença desses retângulos pode ter propiciado um efeito aditivo de micro habitats para a fauna críptica incrustante, assim aumentando a heterogeneidade espacial do substrato, o que, segundo Gallucci et al., (2020), leva a mudanças na estrutura de comunidades ali viventes, podendo ser grandes ou pequenas dependendo do tamanho dos organismos e de sua mobilidade. Desta maneira, a maior heterogeneidade fez com que as faces de camadas semiabertas apresentassem maior riqueza.

O aumento da heterogeneidade espacial leva a um aumento de complexidade tridimensional que, segundo Graham e Nash (2013), é um papel naturalmente desempenhado por corais, o que aqui foi artificialmente feito pelos espaçadores de PVC. Corais possuem uma correlação positiva com a estrutura de um recife e grandes coberturas contribuem com o aumento de sua complexidade estrutural. Desta maneira uma grande variedade de organismos se beneficiaria desta relação, podendo assim aumentar a riqueza e diversidade de dado local. Muitas espécies também se beneficiam destes micro habitats criados nas cavidades em baixo ou em meio a rochas nos ambientes recifais segundo Liversage et al. (2017), utilizando-as como abrigo contra predadores ou, encontrando nelas condições ambientais mais favoráveis para seu desenvolvimento.

O ambiente críptico pode se mostrar altamente complexo por diversos fatores, o que também pode ter sido mostrado pela análise de diversidade beta. Observando os resultados, notou-se maior diferença de composição específica entre placas e ARMS do que entre locais ou entre sítios, além do fato de que a substituição de UTOs foi mais evidente e relevante do que seu aninhamento, detalhe que condiz com o que encontrado atualmente na literatura. Ao longo dos recifes sul-americanos, tanto no Atlântico quanto no Pacífico, padrões de biodiversidade de costões e recifes rochosos são naturalmente regidos por substituição ao invés de aninhamento (CRUZ-MOTTA et al., 2020).

Este padrão foi visível em todas as escalas espaciais de análise das ARMS, desde a mais abrangente até ao nível de micro-habitat, demonstrando assim que o ambiente recifal como um todo segue um mesmo modelo de alteração de cobertura bêntica, tanto nas camadas mais superficiais, quanto em sua própria matriz. Mas, a complexidade do ambiente se mostra potencialmente maior em âmbito mais local e menor escala, do que regional.

Ainda observando em menor escala, o fato das faces inferiores (B) terem sido mais ricas e diversas do que as faces superiores (T), também condiz com o que seria esperado. Altas taxas de sedimentação em substratos podem prejudicar o desenvolvimento em abundância de invertebrados, no caso, as faces T, que por conta de sua orientação (voltadas para cima) estão mais propícias ao acúmulo de sedimentos. As faces B estavam em uma orientação que favorecia mais sombreamento e menor deposição de sedimentos, assim, condicionando uma maior diversidade de organismos. Tal divisão também ficou evidente nas análises de agrupamento individuais de cada sítio (IRVING & CONNELL, 2002).

A diversidade dos ambientes coralíneos é altamente suscetível a distúrbios externos, tanto de origem natural, quanto antrópica. Mudanças climáticas, poluição, sedimentação, entre outras causas estão levando a reduções, tanto de biodiversidade, quanto de serviços ecossistêmicos, diminuindo a resiliência destes ambientes (BELLWOOD et al., 2004; FRANCINI-FILHO et al., 2013). A matriz recifal, apesar de ser um ambiente protegido e com suas próprias peculiaridades (KOBLUK, 2017), não foge de tal realidade. Comunidades crípticas podem contar com dois terços do volume de um recife (PEARMAN et al., 2018), com isto em mente, somado ao ritmo em que a perda de biodiversidade está acontecendo mundialmente, há grande necessidade de protocolos e métodos de avaliação de biodiversidade que levem em consideração diferentes escalas dentro dos recifes (PEARMAN et al., 2016).

A utilização das ARMS no presente estudo trouxe um exemplo de como é possível atingir diferentes camadas dento do ambiente recifal simultaneamente. Seu protocolo de processamento permite a utilização de diversas metodologias, dentre elas a análise de fotografias. Outras também são muito bem-vindas e podem fornecer um olhar mais detalhado da diversidade deste componente do ecossistema. O metabarcoding é um ótimo exemplo, sendo um método mais independente de um observador especialista em certo táxon e pode trazer menos dificuldades de classificação dos organismos, já que a identificação baseada em fotografias é, por vezes, limitada e pode apresentar mais discrepâncias (PEARMAN et al., 2016). Por outro lado, a quantificação e outros detalhes de interações bióticas entre organismos são perdidos, especialmente porque, na metodologia atual do metabarcoding, a ARMS inteira é utilizada como uma unidade amostral. Detalhes como os mostrados aqui, de variação na diversidade entre placas, assim como diversidade beta, na escala de uma ARMS, não podem ser observados por meio de análises genéticas.

Assim, o uso das ARMS está na fronteira do conhecimento quando se trata da avaliação de biodiversidade em diversas escalas de maneira eficiente e relativamente simples. Por ser um método padronizado, sua aplicação é uniforme e gera resultados facilmente comparáveis com outros ao redor do mundo que utilizam a mesma metodologia (LERAY; KNOWLTON, 2015).

Apesar de recentes, as ARMS já foram utilizadas em diversos estudos para coleta de dados sobre biota críptica. A maioria utiliza a análise molecular como principal método de análise (PLAISANCE et al., 2011a; LERAY; KNOWLTON, 2015; AL-RSHAIDAT et al., 2016; RANSOME et al., 2017; PEARMAN et al., 2018). Alguns se utilizam de taxonomia tradicional e avaliação de cobertura com análises similares as feitas no presente ensaio, como riqueza, diversidade e composição taxonômica. Entretanto, estes estudos tiveram como seu escopo escalas espaciais mais amplas, comparando somente diferentes sítios e sem um detalhamento na escala local (HURLEY et al., 2016; PEARMAN et al., 2016; DAVID et al., 2019).

Alguns trabalhos foram mais específicos, focando seus esforços em táxons para os quais há melhor resolução taxonômica, analisando suas distribuições e, novamente, em escalas maiores (PLAISANCE et al., 2011b). Além disso, com as ARMS é possível ir além da fauna críptica, podendo-se explorar até composição microbiana da matriz recifal, que é igualmente importante, como feito por Pearman et al. (2019).

Sendo assim, em vista da velocidade com que a degradação dos ambientes coralíneos vem ocorrendo (GRAHAM; NASH, 2013), espera-se que seus protocolos sejam cada vez mais aplicados,

independente da metodologia de análise a ser utilizada, uma vez que, mesmo uma abordagem visual, por mais limitada que seja, pode ser uma importante ferramenta para trabalhos como o de Aued et al. (2018) e incluem a biota críptica nas avaliações de biodiversidade.

As ARMS foram concebidas como estruturas de monitoramento de ambientes recifais em diferentes escalas espaciais com conjuntos de dados comparáveis e que também colaboram com a supervisão da saúde destes ambientes frente a diferentes níveis de impacto antrópico (DANOVARO et al., 2016; PENNESI; DANOVARO, 2017). Por tudo o que foi verificado no presente estudo, acredita-se também ter sido demonstrada a viabilidade de seu uso nas localidades aqui analisadas.

O presente trabalho se mostra inovador e pioneiro em relação ao local onde foi conduzido por serem os primeiros conjuntos de ARMS do Atlântico Sul analisados segundo o protocolo global. Além disso ele traz uma abordagem não usual e vem a contribuir para o aumento do conhecimento sobre a ecologia da fauna críptica de ambientes coralíneos por utilizar a análise de imagens como método de processamento de dados e por trazer resultados em diferentes escalas espaciais.

Com a combinação de dados e metodologias aqui discutidas, visa-se grande colaboração para a construção de conhecimento sobre a fauna críptica recifal, tanto da região paulista, quanto outras onde seja possível e viável a instalação das ARMS, em prol de sua conservação. Estudos sobre o ambiente críptico são, muitas vezes, negligenciados por conta de um excesso de dificuldades, mas que, com o uso das ARMS, podem ser relativamente contornáveis, abrindo caminho para novas descobertas sobre um componente pouco conhecido dos ambientes coralíneos (PEARMAN et al., 2016, 2018).

5. CONCLUSÃO

A maior abundância de invertebrados como briozoários, tunicados, esponjas, além de poliquetas e moluscos, nas ARMS de Alcatrazes e Ubatuba está de acordo com o que seria esperado encontrar naturalmente em ambientes recifais rochosos. Isso atesta a grande importância dessa fauna na estruturação da comunidade bêntica local.

Os dados observados corroboraram parte da hipótese inicial de que Alcatrazes pode ter apresentado maior riqueza de espécies devido suas condições oceanográficas e nível de proteção ambiental histórico quando comparado à Ubatuba, este mais susceptível a atividades antrópicas. Entretanto, as mesmas condições também podem ter sido fator importante para que Alcatrazes apresentasse uma fauna críptica menos diversa segundo os índices de Shannon-Weaver e Simpson, devido a maior presença de espécies raras e a baixa uniformidade em suas distribuições, assim, divergindo desta parte da hipótese inicial.

A metodologia de análise de fotografias em alta resolução das placas das ARMS, somada a taxonomia tradicional, consistiu numa importante ferramenta para o estudo da fauna oculta dos ambientes coralíneos paulistas. Esta contribuiu para o aumento do conhecimento sobre a biota críptica do estado de São Paulo, utilizando-se de uma abordagem não destrutiva do ambiente. Espera-se futura utilização do conhecimento aqui produzido por meio de diferentes análises e metodologias.

Conclui-se assim que, a instalação das ARMS no litoral norte de São Paulo consistiu num instrumento eficiente no estudo de biota críptica e no monitoramento do estado de conservação dos respectivos ambientes recifais, capaz de contornar dificuldades impostas pelo próprio ambiente e com um custo-benefício satisfatório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIDAR, E. et al. **Ecossistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofllа-a e suas relações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba, SP**. [s.l: s.n.]v. 10

AL-RSHAIDAT, M. M. D. et al. Deep COI sequencing of standardized benthic samples unveils overlooked diversity of Jordanian coral reefs in the northern Red Sea. **Genome**, v. 59, n. 9, p. 724–737, 2016.

ÁLVAREZ, M. et al. Métodos para el análisis de datos: una aplicación para resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad. **Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad**, p. 235, 2006. Disponível em: <http://cdam.minam.gob.pe:8080/handle/123456789/764>.

AMARAL, A. C. Z.; NALLIN, S. A. H. **Biodiversidade e Ecossistemas Bentônicos Marinhos do Litoral Norte de São Paulo Sudeste do Brasil**. Campinas: UNICAMP/IB, 2011.

ARAUJO, R. M. **Fatores preditores da variação espacial na biomassa de peixes recifais ao longo da província brasileira**. 2014. Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

AUED, A. W. et al. Large-scale patterns of benthic marine communities in the brazilian province. **PLoS ONE**, v. 13, n. 6, 1 jun. 2018.

BARCELLOS, R. L.; FURTADO, V. V. Processo sedimentar atual e a distribuição de carbono e nitrogênio orgânicos no Canal de São Sebastião (SP) e plataforma continental interna adjacente. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 47, n. 2, p. 207–221, 1999.

BELLWOOD, D. R. et al. Confronting the coral reef crisis. **Nature**, v. 429, n. June, p. 827–833, 2004.

BRASIL. Sumário Executivo do Plano de Ação Nacional para Conservação dos Ambientes Coralíneos PAN Corais. p. 8, 2017a.

BRASIL. Plano de manejo da Estação Ecológica Tupinambás e refúgio de vida silvestre do arquipélago de Alcatrazes. v. 1, p. 160, 2017b. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/plano-de-manejo/plano_de_manejo_esec_tupinambas_revisarquipelogoalcatrazes_vol1.pdf>.

BRASIL. Plano de manejo da Estação Ecológica Tupinambás e Refúgio de Vida Silvestre do Arquipélago de Alcatrazes. v. 2, p. 43, 2017c. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/plano-de-manejo/plano_de_manejo_esec_tupinambas_revisarquipelogoalcatrazes_vol2_2020.pdf>.

CONTI, L. A.; FURTADO, V. V. Geomorfologia Da Plataforma Continental Do Estado De São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n. 2, p. 305–312, 2006.

COWEN, R. K.; SPONAUGLE, S. Larval dispersal and marine population connectivity. **Annual Review of Marine Science**, v. 1, p. 443–466, 2009.

CRUZ-MOTTA, J. J. et al. Latitudinal patterns of species diversity on South American rocky shores: Local processes lead to contrasting trends in regional and local species diversity. **Journal of Biogeography**, v. 47, n. 9, p. 1966–1979, 2020.

CUMMINGS, V. et al. Accounting for local scale variability in benthos: Implications for future assessments of latitudinal trends in the coastal Ross Sea. **Antarctic Science**, v. 18, n. 4, p. 633–644, 2006.

DANOVARO, R. et al. Implementing and innovating marine monitoring approaches for assessing marine environmental status. **Frontiers in Marine Science**, v. 3, n. NOV, p. 1–25, 2016.

DAVID, R. et al. Lessons from photo analyses of Autonomous Reef Monitoring Structures as tools to detect (bio-)geographical, spatial, and environmental effects. **Marine Pollution Bulletin**, v. 141, p. 420–429, 2019.

DE SOUSA, E. E.; SERAFINI, T. Z. Survey of coastal and marine protected areas in são paulo state. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 44, p. 360–377, 2018.

EARLE, S. A. **A Terra é azul: por que o destino dos oceanos e o nosso é um só?** São Paulo: SESI-SP editora, 2017.

FIGUEIRÓ, A. S. **Biogeografia: dinâmicas e transformações da natureza**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

FRANCINI-FILHO, R. B. et al. Dynamics of Coral Reef Benthic Assemblages of the Abrolhos Bank, Eastern Brazil: Inferences on Natural and Anthropogenic Drivers. **PLoS ONE**, v. 8, n. 1, p. 1–12, 2013.

GALLUCCI, F. et al. The effects of habitat heterogeneity at distinct spatial scales on hard-bottom-associated communities. **Diversity**, v. 12, n. 1, p. 1–13, 2020.

GAMA, B. A. P.; PEREIRA, C. R.; COUTINHO, R. A bioincrustação marinha. In: PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A. (Ed.). **Biologia Marinha**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2009. p. 299–318.

GARRISON, T. Comunidades Bentônicas. In: **Fundamentos de Oceanografia**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2017. p. 339–361.

GOMES, A. C. F.; GODOY, S. N. **Padrões temporais e espaciais da comunidade bentônica da Ilha de Alcatrazes**. [s.l: s.n.].

GRAHAM, N. A. J.; NASH, K. L. The importance of structural complexity in coral reef ecosystems. **Coral Reefs**, v. 32, n. 2, p. 315–326, 2013.

GRIFFITHS, J. R. et al. The importance of benthic–pelagic coupling for marine ecosystem functioning in a changing world. **Global Change Biology**, v. 23, n. 6, p. 2179–2196, 2017.

HURLEY, K. K. C. et al. An assessment of shallow and mesophotic reef brachyuran crab assemblages on the south shore of O‘ahu, Hawai‘i. **Coral Reefs**, v. 35, n. 1, p. 103–112, 2016.

IRVING, A. D.; CONNELL, S. D. Sedimentation and light penetration interact to maintain heterogeneity of subtidal habitats: Algal versus invertebrate dominated assemblages. **Marine Ecology Progress Series**, v. 245, p. 83–91, 2002.

JACKSON, J. B. C.; BUSS, L. Alleopathy and spatial competition among coral reef invertebrates. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 72, n. 12, p. 5160–5163, 1975.

KITAZAWA, K. et al. Can the variation of physical and biological parameters explain the distinct sessile communities from cryptic habitats across a coastal bay? **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 257, n. December 2020, 2021.

KNOWLTON, N. et al. Coral reef biodiversity. In: **Life in the world's oceans: diversity distribution and abundance**. [s.l: s.n.]p. 65–74.

KOBLUK, D. R. Cryptic Faunas in Reefs : Ecology and Geologic Importance Linked references are available on JSTOR for this article : Cryptic Faunas in Reefs : Ecology and Geologic Importance. v. 3, n. 4, p. 379–390, 2017.

LEÃO, Z. M. A. N. et al. Brazilian coral reefs in a period of global change: A synthesis. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, n. Special Issue 2, p. 97–116, 2016.

LEITE, K. L. **Gestão e integração de uma Unidade de Conservação Marinha Federal (Estação Ecológica Tupinambás) no contexto regional de gerenciamento costeiro do Estado de Sãoa Paulo**. 2014. Escola Nacional de Botânica Tropical, Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2014.

LERAY, M.; KNOWLTON, N. DNA barcoding and metabarcoding of standardized samples reveal patterns of marine benthic diversity. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 112, n. 7, p. 2076–2081, 2015.

LIMA, M.; SOUZA, C.; PEDERASSI, J. Qual Índice de Diversidade Usar? **Cadernos UniFOA**, n. 30, p. 129–138, 2016.

LIVERSAGE, K. et al. Availability of microhabitats explains a widespread pattern and informs theory on ecological engineering of boulder reefs. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 489, p. 36–42, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2017.01.013>.

LONGHURST, A. R.; PAULY, D. Comunidades biológicas dos oceanos tropicais. In: **Ecologia dos Oceanos Tropicais**. São Paulo: edusp, 2007. p. 79–158.

MACARTHUR, R. H.; WILSON, E. O. An equilibrium theory of island zoogeography. **International Journal of Organic Evolution**, v. 17, n. 4, p. 373–387, 1963.

MELO, A. S. What do we win "confounding" species richness and evenness in a diversity index? **Biota Neotropica**, v. 8, n. 3, p. 21–27, 2008.

ORICCHIO, F. T.; FLORES, A. A. V.; DIAS, G. M. The importance of predation and predator size on the development and structure of a subtropical fouling community. **Hydrobiologia**, v. 776, n. 1, p. 209–219, 2016.

PEARMAN, J. K. et al. Please mind the gap - Visual census and cryptic biodiversity assessment at central Red Sea coral reefs. **Marine Environmental Research**, v. 118, p. 20–30, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.04.011>.

PEARMAN, J. K. et al. Cross-shelf investigation of coral reef cryptic benthic organisms reveals diversity patterns of the hidden majority. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1–17, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-018-26332-5>.

PEARMAN, J. K. et al. Disentangling the complex microbial community of coral reefs using standardized Autonomous Reef Monitoring Structures (ARMS). **Molecular Ecology**, v. 28, n. 15, p. 3496–3507, 2019.

PENNESI, C.; DANOVARO, R. Assessing marine environmental status through microphytobenthos assemblages colonizing the Autonomous Reef Monitoring Structures (ARMS) and their potential in coastal marine restoration. **Marine Pollution Bulletin**, v. 125, n. 1–2, p. 56–65, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.08.001>.

PIRES-VANIN, A. M. S. **Oceanografia de um Ecossistema Subtropical: Plataforma de São Sebastião, SP**. São Paulo: Edusp, 2008.

PLAISANCE, L. et al. The diversity of coral reefs: What are we missing? **PLoS ONE**, v. 6, n. 10, 2011a.

PLAISANCE, L. et al. Using DNA barcoding and standardized sampling to compare geographic and habitat differentiation of crustaceans: A Hawaiian Islands example. **Diversity**, v. 3, n. 4, p. 581–591, 2011b.

RANSOME, E. et al. The importance of standardization for biodiversity comparisons: A case study using autonomous reef monitoring structures (ARMS) and metabarcoding to measure cryptic diversity on Mo'orea coral reefs, French Polynesia. **PLoS ONE**, v. 12, n. 4, p. 1–19, 2017.

ROLIM, F. A.; RODRIGUES, P. F. C.; GADIG, O. B. F. **Peixes de Recifes Rochosos - Estação Ecológica de TupinambásLivro**, 2017. .

SILVA, L. S.; MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M. Relatório do Projeto "Oceanografia da Plataforma Interna de São Sebastião" (OPISS) Subprograma Oceanografia Física. **Relat. téc. inst. oceanogr.**, n. 47, p. 1–31, 2001.

SILVA, R. et al. Sun coral invasion of shallow rocky reefs: effects on mobile invertebrate assemblages in Southeastern Brazil. **Biological Invasions**, v. 21, n. 4, p. 1339–1350, 2019.

SILVEIRA, I. C. A. et al. A corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 48, n. 2, p. 171–183, 2000.

SMITHSONIAN. **Global ARMS Program**. Disponível em: <http://www.oceanarms.org/protocols/processing/plate-photos>.

SOARES-GOMES, A.; PITOMBO, F. B.; PAIVA, P. C. Bentos e sedimentos não consolidados. In: PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A. (Ed.). **Biologia Marinha**. 2 ed. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2009. p. 319–337.

SOARES, M. D. O. et al. Brazilian Marine Animal Forests: A New World to Discover in the Southwestern Atlantic. In: **Marine Animal Forests**. [s.l.] Springer International Publishing Switzerland, 2016.

VIEIRA, E. A.; FLORES, A. A. V.; DIAS, G. M. Persistence and space preemption explain species-specific founder effects on the organization of marine sessile communities. **Ecology and Evolution**, v. 8, n. 6, p. 3430–3442, 2018.

VILLAÇA, R. Recifes biológicos. In: PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A. (Ed.). **Biologia Marinha**. 2 ed. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2009. p. 399–418.

WAHL, M. Marine epibiosis. I. Fouling and antifouling: some basic aspects. **Marine Ecology Progress Series**, v. 58, n. May, p. 175–189, 1989.

ZILBERBERG, C. et al. **Conhecendo os Recifes Brasileiros: Rede de Pesquisas Coral Vivo**. Rio de Janeiro: Museu Nacional, UFRJ, 2016.

ZIMMERMAN, T. L.; MARTIN, J. W. Artificial Reef Matrix Structures (Arms): An Inexpensive and Effective Method for Collecting Coral Reef-Associated Invertebrates. **Gulf and Caribbean Research**, v. 16, p. 59–64, 2004.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Total de UTOs identificadas e suas ocorrências em cada sítio.

UTOs	Geladeira	ESEC	Ilha das Palmas	Ilha das Cabras
Bryozoa				
Akatopora leucocypha			X	X
Antropora sp.				X
Arthropoma sp.	X	X	X	X
Beania sp.			X	
Biflustra arborencens		X	X	X
Biflustrra tenuis			X	X
Bryopesanser pasanseris	X	X	X	X
Bugula sp.				X
Calypthotheca lacrimosa	X	X	X	X
Calypthotheca triangulata	X	X		X
Catenicella sp.	X	X		
Celleporina joannae	X	X	X	X
Celleporaria atlantica			X	
Celleporaria mondax			X	X
Crepidacantha sp.			X	X
Cyclostomata	X	X	X	X
Exochella frigidula	X		X	X
Fodinella atlantica	X	X	X	X
Hemismittoidea corallinea		X	X	X
Hippoporella sabulonis	X	X	X	X
Labiporella tuberculata	X			
Microporella curta	X	X	X	X
Microporella sp.	X	X	X	X
Patinella tonica	X	X	X	X
Parasmittina alba	X	X	X	X
Parasmittina glomerata	X	X	X	X
Puellina sp.			X	

Rhynchozoon brasiliensis	X	X	X	X
Rhynchozoon phrynoglossum	X	X		X
Schizoporella errata	X	X	X	X
Scorpiodinipora costulata	X	X		X
Smittina smittiella			X	X
Smittipora tuberculata			X	X
Stephanollona sp.	X	X	X	X
Stylopoma hastata	X	X	X	
Stylopoma sp.	X			
Synnetum aegyptiacum		X		X
Watersipora subtorquata	X	X		
Tunicata				
Ascidiacea		X		
Ascidia sp.	X	X	X	X
Ascidia multitentaculata				X
Botrylloides nigrum	X			
Botryllus tabori	X	X		X
Botryllus tuberatus	X	X	X	X
Botryllus sp.		X		X
Cnemidocarpa sp.	X			
Didemnum ahu	X	X	X	
Didemnum galactum	X	X	X	X
Didemnidae		X		X
Didemnum perlucidum	X	X	X	X
Didemnum rodriguesi	X	X		
Didemnum vanderhorsti	X	X		
Diplosoma listerianum	X	X	X	X
Diplosoma sp.	X		X	X
Eusynstyela sp.		X		
Eusynstyela tincta	X			
Microcosmus sp.	X			
Microcosmus exasperatus		X		

Phalusia nigra	X	X	X	X
Polysyncraton sp.	X	X	X	
Pyura vitatta		X		
Pyuridae	X	X		
Stolidobranchia	X	X		X
Styelidae		X		
Symplegma sp.	X			
Porifera				
Aplysilla rosea		X		
Callyspongidae	X			
Chelonaplysilla erecta	X	X		
Clathria sp.	X	X		
Darwinella rosacea		X		
Darwinella sp.	X	X		
Dysidea etheria				X
Haliclona sp.	X	X		X
Leucandra sp.	X	X		
Mycale sp.			X	X
Mycale microsigmatosa	X	X		
Paraleucilla magna	X	X		
Porifera		X		
Calcarea	X	X		X
Demospongiae	X	X	X	X
Scopalina ruetzleri				X
Mollusca				
Anomia sp.	X	X	X	X
Arcidae			X	X
Bivalvia	X			
Calyptraeidae		X	X	X
Crepidula sp.			X	
Gastropoda				X
Ostreidae	X			X

Pinctata imbricata	X			
Pseudochasma sp.	X	X		
Pteridae		X	X	
Vermetidae	X			
Polychaeta				
Sabellariidae	X	X	X	X
Sabellidae	X	X	X	
Serpulidae	X	X	X	X
Cnidaria				
Actiniaria	X			
Clytia sp.	X			
Entoprocta				
Barentsiia sp.	X	X		
Arthropoda				
Cirripedia	X	X	X	X
Outros				
Biofilme	X	X	X	X
Desovas	X	X	X	X
Foraminifera	X	X	X	X
Homotrema rubra		X		X
Macroalga marrom calcária		X		X
Macroalga marrom filamentosa				X
Macroalga verde calcária	X	X	X	X
Macroalga verde filamentosa	X	X	X	
Macroalga vermelha calcária	X	X	X	X
Macroalga vermelha filamentosa	X	X	X	X
Turf	X	X	X	X

Fonte: Delcistia (2021)