



Ministério da Saúde
FIOCRUZ
Fundação Oswaldo Cruz



ESCOLA POLITÉCNICA DE SAÚDE
JOAQUIM VENÂNCIO

Gabriela Gopfert Ferreira Figueiredo

CORAL-SOL: potencial de ameaça à fauna marinha nativa do Rio de Janeiro, Brasil

Rio de Janeiro

2024

Gabriela Gopfert Ferreira Figueiredo

CORAL-SOL: potencial de ameaça à fauna marinha nativa do Rio de Janeiro, Brasil

Monografia apresentado à Escola Politécnica de Saúde
Joaquim Venâncio – Fundação Oswaldo Cruz (EPSJV-
Fiocruz) como requisito parcial para aprovação no Curso
Técnico em Análises Clínicas.

Orientador(a): Simone Ribeiro

Rio de Janeiro

2024

Gabriela Gopfert Ferreira Figueiredo

CORAL-SOL: potencial de ameaça à fauna marinha nativa do Rio de Janeiro, Brasil

Monografia apresentado à Escola Politécnica de Saúde
Joaquim Venâncio – Fundação Oswaldo Cruz (EPSJV-
Fiocruz) como requisito parcial para aprovação no Curso
Técnico em Análises Clínicas.

Aprovado em __/__/__.

BANCA EXAMINADORA

Simone Goulart Ribeiro
LATEC/EPSJV/FIOCRUZ

Daniel Santos
LATEC/EPSJV/FIOCRUZ

Viviane Felix Moraes Lima
LAPSA/IOC/FIOCRUZ

Rio de Janeiro

2024

Dedico esse trabalho a todos aqueles que amam os oceanos e não enxergam neles apenas águas, mas também vida, beleza e futuro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio – Fundação Oswaldo Cruz (EPSJV-Fiocruz) pelo apoio institucional e por ter me oferecido um espaço essencial para o meu crescimento pessoal e acadêmico, ampliando minha visão de futuro e me conectando à tantas pessoas incríveis, que me inspiraram e me forneceram conhecimentos de diversas áreas, sendo cenário de muitas lembranças positivas. Mencionando a Politécnica, reconheço o importante papel que cada um pertencente à sua composição possui, do corpo docente aos funcionários da secretaria, apoio escolar, infraestrutura, segurança, limpeza, bandeijão e todos aqueles que movem aquele lugar, o tornando um segundo lar. Apenas quem vive ou viveu a experiência da Poli entende de fato tudo aquilo que ela proporciona, sendo um ambiente tão receptivo, que respeita as individualidades e que promove o conhecimento científico desde cedo na vida dos estudantes. Foram quatro anos nada fáceis, sendo desde o início uma experiência imersiva de muita luta e diversos obstáculos, mas também de muitas conquistas (principalmente pessoais), que estarão pra sempre marcadas e guardadas com muito carinho na memória. Hoje, reconheço que todas as dificuldades enfrentadas fizeram parte do processo de amadurecimento, que ainda está em andamento. É só o começo do jogo.

Agradeço à minha orientadora, Simone Ribeiro, por compartilhar do mesmo fascínio que eu pela vida marinha e por ter abraçado a minha ideia desde quando ainda não estava totalmente formada, me ajudando a traçar rotas seguras em meio às incertezas e inseguranças.

Agradeço aos meus familiares, por todo apoio e incentivo durante o processo, em especial às minhas duas maiores inspirações, que formam meu porto seguro: minha mãe, Adriana, meu maior exemplo de mulher, minha linha do Equador, a vida da minha vida. É ela quem me acompanha em todas as minhas primeiras vezes. Cada conversa, cada atitude e cada lição vivida durante a minha existência me tornam quem sou, e por isso devo tudo a ela. Chega a ser poético pensar que esse amor é tão profundo quanto o ato de existir. Inclusive, foi ela quem desde sempre me ensinou sobre o respeito e a valorização não só dos mares, mas da fauna e da flora como um todo, aliás, dos seres vivos no sentido mais amplo, sendo minha principal motivação para idealizar este trabalho. O olhar

sensível dela de enxergar o mundo foi o que desenvolveu meu lado empático desde criança, e serei eternamente grata por isso. Meu segundo grande exemplo é minha avó, Sônia, e não poderia ser diferente, a minha famosa voz da experiência, quem desde sempre enxergou o meu potencial, mesmo nos momentos que eu não fazia ideia que tinha, e faz questão de reafirmar constantemente sobre a competência para realizar meus sonhos, não importando o tamanho. Valorizo cada conselho, cada gesto de cuidado, até nos mais simples. Obrigada por juntas serem a base de sustentação da nossa família e por confiarem em mim e na minha capacidade, sendo a dupla que forma a minha essência e me estimula a continuar seguindo, mesmo ao tropeçar nas pedras do caminho. Espero trazer o orgulho e a gratificação que merecem por prezarem pela minha educação desde o começo de tudo. Não poderia deixar de agradecer ao meu pai, Antonio Cesar, que mesmo a milhas de distância, sempre se encontra presente na minha vida, e sua história é um lembrete para eu nunca esquecer a minha verdadeira paixão, mesmo com as dificuldades da vida, sem medo de sair da zona de conforto, e perpetuamente buscando se superar, deixando o comodismo de lado. Ainda falando sobre família, não poderia deixar de agradecer ao meu padrasto, Alexandre, que também teve um papel essencial na minha história na Poli, principalmente no começo. Reconheço todo o esforço que ele teve pra me trazer maior segurança, desde quando dormia no carro pra me esperar e me levar pra casa, até quando corria ao meu lado pra pegarmos ônibus juntos, me ensinando os caminhos e me tornando pronta para seguir sozinha. Tenho a sorte de todas essas pessoas fascinantes e inspiradoras fazerem parte do meu núcleo familiar.

Agradeço, por fim, aos meus amigos, que me permitiram presenciar momentos inesquecíveis dentro e fora do ambiente escolar, em especial às minhas grandes amigas: Ágatha, que é a minha parceira de vida e o meu abrigo durante o caos e a tranquilidade, desde quando iniciamos nossa vida acadêmica juntas. Com o tempo, me cativou ao ponto de se tornar a irmã de alma, quem eu confio para contar sobre qualquer coisa, do superficial ao mais profundo. Me orgulho toda vez que menciono esse nome, pois vê-la crescendo e ocupando lugares incríveis me preenche de felicidade, depois de tudo o que passamos. Ao lado dela erramos e acertamos, e espero que assim seja pra sempre. Não foi acaso, foi encontro. Carolina, que pra além de melhor amiga se tornou minha dupla dinâmica no estágio, e já imaginava que seria bom passarmos por essa fase juntas, só não esperava que fosse tanto assim. Confesso que vou sentir muita falta dela completando minhas frases e músicas em qualquer momento, tornando tudo mais leve e divertido. Mesmo sendo tão diferentes,

sempre entramos em consenso, e os pensamentos dela se alinham com os meus até nos instantes que eu não digo uma palavra. Isso é fruto da nossa cumplicidade, e eu não poderia ser mais sortuda por possuir. Com a Carol eu posso ser sincera ao ponto de dizer as coisas mais loucas, sabendo que seu respeito e apoio vão estar presentes. Por fim, mas não menos importante, Esmeralda, que possui a capacidade de me fazer sorrir constantemente sem nenhuma intenção, apenas sendo quem ela é, aliás, todas elas possuem doutorado na arte do humor. Esmeralda, com a sua força e garra, me ensinou durante nossa convivência que as barreiras da vida não nos definem, e podem ser o adubo pra nos fazer florescer. Por isso, acho justo o fato de que todo dia é aniversário dela, já que sua vida merece mesmo ser comemorada, sendo equivalente a cada batalha vencida e as que ainda serão, ela e todas são capazes, e merecem vencer muito mais. Amigas, gostaria que soubessem o quanto me sinto grata por terem permanecido durante esse tempo e me trazido força, energia e alegria, até mesmo durante as marés turbulentas e inclusive durante a construção desse trabalho. Estou e estarei sempre na arquibancada da vida de vocês, torcendo para que tenham um futuro tão brilhante quanto a luz que eu enxergo em cada uma, e que marquem a vida de mais pessoas da maneira como marcaram a minha.

*“O oceano nos mantém
vivos e nós devemos
retribuir esse favor”
(Sylvia Earle)*

RESUMO

Os corais do gênero *Tubastraea* spp., conhecidos como corais-sol, são os principais constituintes dos recifes de coral de águas rasas, nos oceanos Pacífico e Índico, e são comumente relacionados a características oportunistas, como estratégias reprodutivas e seus aspectos de desenvolvimento. Em função do aumento da sua dispersão na costa brasileira, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) indicou o Coral-Sol como uma das espécies invasoras prioritárias para controle e monitoramento, buscando prevenir os impactos ambientais negativos. Sendo assim, esta monografia tem como objetivo compreender a influência de *Tubastraea* spp. sobre a fauna marinha nativa do Rio de Janeiro, situado no sudeste do Brasil. A escolha do local ocorreu em função da região ser uma das mais afetadas por este bioinvasor no território brasileiro. Esta monografia está baseada na revisão da literatura científica através da abordagem qualitativa. As bases de dados utilizadas foram o Periódicos Capes e o Google Acadêmico, utilizando as palavras *Tubastraea* e Rio de Janeiro para refinar a busca, além da consulta aos Relatórios Técnicos do MMA. Os resultados evidenciaram que a presença do Coral-Sol impacta as espécies nativas, promovendo a competição por espaço e recursos, alterando a cadeia trófica e comprometendo ecossistemas costeiros protegidos. Estes resultados reforçam a necessidade de estratégias eficazes para o manejo e controle da espécie, bem como a importância da conscientização pública na preservação da biodiversidade marinha.

Palavras-chave: Bioinvasão, Competição, *Tubastraea* spp.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Zonação de costão rochoso | 18 |
| Figura 2 – Coral-Sol encontrado em costão rochoso na costa brasileira | 22 |
| Figura 3 – Mapa dos estados afetados pela invasão dos corais-sol no território brasileiro | 25 |
| Figura 4 – <i>Tubastraea tagusensis</i> e <i>T. coccinea</i> | 27 |
| Figura 5 – Morfologia dos três morfotipos de <i>Tubastraea</i> de Arraial do Cabo, RJ | 28 |
| Figura 6 – Coral <i>Mussismilia hispida</i> | 30 |
| Figura 7 – Coral <i>Madracis decactis</i> | 31 |
| Figura 8 – Coral <i>P. caribaeorum</i> | 32 |
| Figura 9 – Processo de remoção de Corais-Sol | 36 |
| Quadro 1 – Espécies do gênero <i>Tubastraea</i> identificadas mundialmente | 24 |
| Quadro 2 – Principais características morfológicas dos morfotipos encontrados em Arraial do Cabo, no Rio de Janeiro | 28 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MCTIC – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

AMP – Área Marinha Protegida

PCS – Projeto Coral-Sol

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 16 |
| 1.1. OBJETIVOS | 20 |
| 1.1.1. OBJETIVO GERAL..... | 20 |
| 1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 20 |
| 2. METODOLOGIA | 21 |
| 3. ESPÉCIE DE ESTUDO | 22 |
| 4. IMPACTOS ECOLÓGICOS DAS ESPÉCIES | 30 |
| 5. MEDIDAS DE CONTROLE | 33 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 38 |
| REFERÊNCIAS | 39 |

INTRODUÇÃO

As invasões biológicas, ou bioinvasões, configuram entre os principais fatores que impulsionam a perda global de biodiversidade, causando degradação das comunidades e funções ecológicas, interrupção de serviços ecossistêmicos e prejuízos econômicos em escala global. Esses impactos têm consolidado a biologia da invasão como uma área de destaque na ecologia, enquanto a crescente conscientização sobre as ameaças e o ritmo acelerado de introdução de espécies invasoras reforçam a necessidade de medidas para sua prevenção, controle e erradicação (Ahmed *et al.*, 2022).

Uma bioinvasão ocorre apenas quando uma espécie é transportada e solta, intencional ou acidentalmente, fora de sua área de distribuição, ou seja, ela é encontrada em regiões onde não há sua ocorrência natural ou histórica, sendo assim, introduzida através da interferência humana. A partir disso, uma espécie só pode ser considerada invasora a partir do momento em que oferece algum tipo de ameaça às espécies nativas. Caso contrário, é identificada como espécie não nativa, exótica ou alóctone (Vitule e Prodócimo, 2012).

O processo de bioinvasão é dividido em quatro estágios, sendo eles: transporte, introdução, estabelecimento e dispersão. O estágio inicial, de transporte, é aquele do qual ainda é possível ser feita sua devida prevenção. O segundo estágio, de introdução, é aquele do qual a espécie se instala e consegue sobreviver — momento do qual, através de ferramentas de manejo, é possível realizar sua erradicação. O terceiro estágio, de estabelecimento, é aquele do qual a espécie exótica realiza sua reprodução, podendo ser feita a contenção da espécie. Por fim, o estágio final, de dispersão, é aquele do qual a espécie se reproduz em alta escala, realizando sua distribuição espacial, momento em que o manejo a ser aplicado é a mitigação, ou seja, ações para redução dos impactos (Oliveira e Biazon, 2021).

Eventos como estes são favorecidos pelo processo de globalização, já que através das relações comerciais ocorre o intercâmbio de material biológico entre regiões distantes, enfraquecendo as barreiras naturais entre diferentes áreas biogeográficas. A introdução de espécies invasoras, seja de forma intencional, por razões como agricultura ou lazer, ou de forma acidental, pode provocar perdas ecológicas significativas, além de impactos adversos à saúde, ao bem-estar social e à economia (Ahmed *et al.*, 2022).

Um exemplo de espaços afetados por invasões biológicas é o próprio oceano, que sofre

transformações por meio do tráfego marítimo, por meio de vias como a água de lastro¹, contendo parte da comunidade biótica do local coletado, embora seja fundamental para garantir a segurança e a eficácia das operações de navegação, pois oferece equilíbrio e estabilidade às embarcações. Outra via é o processo de bioincrustação, através de cascos de navios e estruturas que são instaladas em alto mar, conhecidas como plataformas *offshore*, para fins econômicos, sobretudo a indústria petrolífera. Estas transformações no ambiente marinho são grandes ameaças ecológicas, visto que o transporte marítimo movimenta cerca de 80% das mercadorias globais e mais de 12 bilhões de toneladas de água de lastro são transferidas pelo mundo anualmente, podendo conter uma vasta variedade de organismos presentes (Brasil, 2018; Andrade e Biazon, 2021; Brasil, 2019).

Através destas transformações se baseia uma teoria sobre a introdução acidental dos corais do gênero *Tubastraea* spp., conhecidos popularmente como Corais-Sol, provavelmente introduzidos na costa brasileira no final da década de 1980, da qual foram avistados pela primeira vez em uma plataforma de petróleo *offshore* operando na Bacia de Campos, localizada no norte do estado do Rio de Janeiro. O primeiro registro em substrato natural estável, em um costão rochoso, foi reconhecido em 1998, em Arraial do Cabo, por pesquisadores do Museu Nacional do Rio de Janeiro. No entanto, estes corais foram reconhecidos em áreas rochosas nas margens da Baía da Ilha Grande — região situada no litoral do estado do Rio de Janeiro — apenas no final da década de 1990 (Brasil, 2018; De Paula e Creed, 2004).

Distribuídos naturalmente pelos oceanos Pacífico e Índico, os corais deste gênero são os principais constituintes dos recifes de coral de águas rasas e costões rochosos tropicais, mais especificamente em sua faixa infralitoral, sendo aquela inundada mesmo durante a maré baixa (Figura 1). Além disso, são comumente relacionados a características oportunistas, incluindo diversas estratégias reprodutivas que lhe permitem dispersar-se de maneira ampla. O Coral-Sol é amplamente distribuído ao longo da costa brasileira, sendo encontrado tanto em ambientes naturais, como costões rochosos, quanto em estruturas artificiais, como píeres, boias e as plataformas de petróleo mencionadas anteriormente (Da Silva *et al.*, 2014; Luz *et al.*, 2020; Creed *et al.*, 2016).

¹ água do mar armazenada em tanques de navios sem carga.

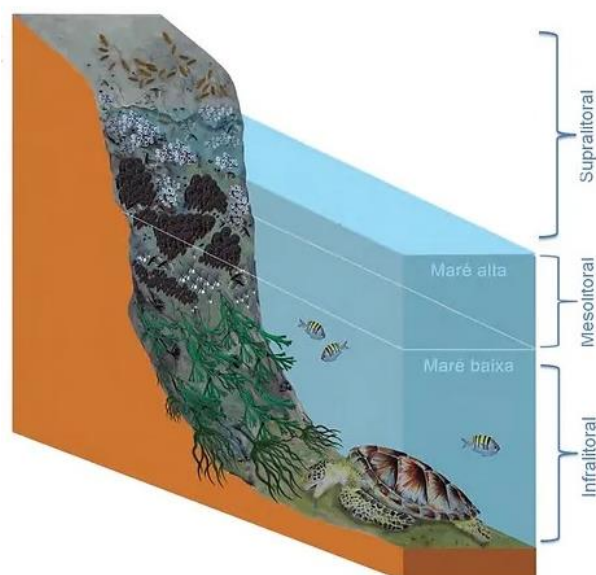


Figura 1 – Zonação de costão rochoso. (Fonte: Adaptado de Salmazo *et al.*, 2022)

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), a bioinvasão dos corais-sol pode gerar diversos impactos no ecossistema marinho do Rio de Janeiro, causando um grande desequilíbrio na biodiversidade nativa, incluindo a modificação das comunidades bentônicas² dos costões rochosos, o deslocamento de espécies nativas e a alteração da cadeia trófica (Brasil, 2018).

A região litorânea do estado do Rio de Janeiro é considerada uma área de extrema importância biológica dentro das categorias de prioridades para a conservação, devido à riqueza e diversidade de sua fauna e flora nativa. O desequilíbrio ecológico deste local causado por uma bioinvasão pode aumentar os custos ou ocasionar a perda de meios de subsistência, já que a pesca é uma grande atividade econômica em diversas áreas da região, podendo provocar impactos sociais e econômicos (Brasil, 2007)

No mais, a introdução destes corais também pode desencadear mudanças nos ciclos biogeoquímicos locais, tais como os relacionados ao carbono e cálcio, uma vez que os esqueletos dos corais são compostos de carbonato de cálcio; alteração no meio abiótico, competição e deslocamento de espécies nativas. Pode também gerar efeitos sobre a indústria do turismo, visto que a riqueza da biodiversidade marinha desempenha um papel fundamental como ponto atrativo em áreas turísticas do Rio de Janeiro, como Ilha Grande e Arraial do Cabo. Portanto, a

² grupos de organismos que vivem na parte mais funda, ou seja, no substrato do ambiente marítimo.

uniformização destes ambientes devido à predominância de uma única espécie pode resultar na depreciação do valor ambiental das regiões afetadas pela introdução de espécies invasoras (Brasil, 2018; Creed *et al.*, 2016).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GERAL

Compreender a influência de *Tubastraea* spp. sobre a fauna marinha nativa do litoral do Rio de Janeiro.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Estudar a distribuição de *Tubastraea* spp. na região litorânea do Rio de Janeiro a partir da revisão de literatura;
- 2) Descrever os impactos ecológicos do Coral-Sol no Rio de Janeiro;
- 3) Explicar sobre as medidas de controle das espécies invasoras do Coral-Sol.

2. METODOLOGIA

Esta monografia está baseada em uma revisão bibliográfica da literatura científica através da abordagem qualitativa, buscando compreender os impactos do coral-sol sobre a fauna marinha nativa do Rio de Janeiro. Para tal, pretendeu-se efetuar um levantamento de artigos, monografias, dissertações e teses nas bases de dados Periódicos Capes e BDTD/UERJ, utilizando as palavras *Tubastraea* e Rio de Janeiro como forma de refinar a busca, contendo um corte temporal dos últimos dez anos e utilizando artigos em português e inglês. Documentos técnicos do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) também foram consultados.

A monografia está composta por três capítulos. No primeiro, foram abordados aspectos da biologia do Coral-Sol, seu potencial como espécie bioinvasora e sua distribuição ao longo da costa brasileira. O segundo capítulo descreve alguns dos impactos ambientais relacionados ao Coral-Sol, com foco naqueles ocorridos no estado do Rio de Janeiro. Por fim, o terceiro capítulo apresenta um panorama das medidas de controle do Coral-Sol e mitigação dos impactos nas áreas afetadas.

3. ESPÉCIE DE ESTUDO

De acordo com o World Register of Marine Species (WoRMS, 2022), *Tubastraea* spp. é pertencente à seguinte classificação taxonômica:

Filo: Cnidaria (Hatschek, 1988)

Classe: Anthozoa (Ehrenberg, 1831)

Subclasse: Hexacorallia (Hyman, 1940)

Ordem: Scleractinia Bourne, 1900

Família: Dendrophylliidae (Gray, 1847)

Gênero: *Tubastraea* (Lesson, 1829)

Tubastraea spp. é destacado por sua adaptabilidade em diferentes habitats – característica favorável para as espécies do gênero que são consideradas cosmopolitas³ – e sua expansão rápida, principalmente referindo-se à costa brasileira, onde encontram alta disponibilidade de espaço para se estabelecer, sem a presença de competidores naturais na área, como mostra a Figura 2 (Santos, 2018).



Figura 2 – Coral-sol encontrado em costão rochoso na costa brasileira (Fonte: Cláudio Sampaio/Ufal, 2022)

As espécies do gênero *Tubastraea* são consideradas escleractínias, pois produzem

³ espécies com ampla distribuição geográfica, sendo encontradas em quase todas as regiões do mundo.

esqueleto calcário através da absorção do carbonato de cálcio presente na água do mar, gerando um acúmulo lento em deposições calcárias; hermatípicos, pois são capazes de construir recifes; e azooxantelados, pois não dependem do sol e de algas simbiontes para sua nutrição e desenvolvimento. Além disso, são hermafroditas simultâneos e incubadores, podendo reproduzir-se de maneira assexuada ou sexuada por meio de larvas, produzindo uma alta taxa durante seu ciclo de vida, e possuem idade reprodutiva precoce, características biológicas que as potencializam como bioinvasoras (Brasil, 2018).

As estratégias reprodutivas assexuadas dos corais escleractíneos incluem brotamento, fissão, resgate de pólipos e fragmentação seguida de regeneração. Já as sexuadas, incluem o processo do qual os gametas são liberados diretamente na coluna de água, permitindo uma fertilização externa (transmissão), ou, em alguns casos, as larvas maduras são liberadas após a fecundação interna, resultante da autofertilização ou do cruzamento entre indivíduos (incubação). Embora *Tubastraea* spp. seja conhecido por sua sincronização de desova em massa em períodos específicos, que dependem de condições ambientais ideais para a fertilização e aumento da sobrevivência dos descendentes, algumas espécies se reproduzem durante o ano inteiro, como *Tubastraea coccinea*, contribuindo para sua dispersão (Luz *et al.*, 2020; Sorek *et al.*, 2014).

De acordo com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), as colônias de *Tubastraea* spp. podem liberar entre 80 e 300 larvas por cm² anualmente e têm a capacidade de se fixar rapidamente, em até três dias após a liberação. Além disso, esse coral apresenta oócitos⁴ e plânulas (larvas) em diversos estágios de desenvolvimento durante quase todos os meses do ano. Os espermatozoides e óvulos da espécie geralmente estão no mesmo estágio de desenvolvimento, o que favorece a embriogênese (Brasil, 2018).

O processo de assentamento da plânula ocorre em aproximadamente um a três dias. Após o assentamento, um novo pólipos completo é formado em cerca de três a cinco dias, alcançando a maturidade em aproximadamente um ano e meio. Outros mecanismos de propagação são características de *Tubastraea* spp., incluindo o *polyp bail-out*⁵, que é uma estratégia de sobrevivência para permitir que os pólipos escapem de um ambiente hostil e, potencialmente, colonizem novos locais mais favoráveis. Além disso, as espécies do gênero também apresentam a

⁴ células reprodutivas femininas produzidas pelos pólipos dos corais.

⁵ os pólipos individuais se desprendem da colônia principal e se fixam no substrato, sintetizando um novo esqueleto, como uma resposta a condições adversas.

capacidade de regenerar-se a partir de fragmentos de esqueleto que contenham tecido (Brasil, 2018).

A dieta dos corais azooxantelados se baseia principalmente em zooplânctons, que pertencem à base da cadeia alimentar aquática. Portanto, a presença abundante desses corais pode ocasionar um grande aumento na captura destes organismos, resultando na redução populacional destes e podendo desequilibrar o fluxo de energia por toda teia alimentar, prejudicando inúmeras espécies nativas simultaneamente (Creed *et al.*, 2016).

De acordo com o World Register of Marine Species⁶ (WoRMS, 2022), doze espécies do gênero *Tubastraea* são oficialmente identificadas, como mostra o Quadro 1.

Quadro 1 – Espécies do gênero *Tubastraea* identificadas mundialmente.

| Espécies do gênero <i>Tubastraea</i> |
|--|
| <i>Tubastraea coccinea</i> (Lesson, 1830) |
| <i>Tubastraea aurea</i> (Quoy & Gaimard, 1833) |
| <i>Tubastraea micranthus</i> (Ehrenberg, 1834) |
| <i>Tubastraea diaphana</i> (Dana, 1846) |
| <i>Tubastraea stimpsonii</i> (Verrill, 1866) |
| <i>Tubastraea faulkneri</i> (Wells, 1982) |
| <i>Tubastraea floreana</i> (Wells, 1982) |
| <i>Tubastraea tagusensis</i> (Poços, 1982) |
| <i>Tubastraea megacorallita</i> (Yiu, Chung & Qiu, 2021) |
| <i>Tubastraea chloromura</i> (Yiu & Qiu, 2022) |
| <i>Tubastraea dendroidea</i> (Yiu & Qiu, 2022) |

Fonte: World Register of Marine Species (WoRMS, 2022)

O gênero *Tubastraea spp.* demonstra superioridade em competições com espécies nativas devido a um conjunto de características adaptativas. Sua maturação precoce, crescimento acelerado e alta taxa de recrutamento permitem rápida colonização de novos ambientes. A tolerância a exposição ao ar e variações de temperatura amplia sua distribuição e capacidade de

⁶ Registro Mundial de Espécies Marinhas.

sobrevivência em ambientes rasos. Ademais, a produção de metabólitos secundários com propriedades citotóxicas e anti-predatórias confere uma vantagem competitiva significativa, inibindo o crescimento de outras espécies e causando necrose em organismos nativos. (Luz *et al.*, 2020; Da Silva, 2014).

De acordo com o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio, 2019), há registros do coral-sol em sete estados brasileiros, distribuídos em expansão na costa, como mostra a Figura 3.



Figura 3 – Mapa dos estados afetados pela invasão dos corais-sol no território brasileiro. Ceará (laranja), Sergipe (turquesa), Bahia (vermelho), Espírito Santo (verde), Rio de Janeiro (rosa), São Paulo (roxo) e Santa Catarina (amarelo). Fonte: autoria própria.

Dos estados destacados no mapa acima, a ocorrência de *Tubastraea spp.* se dá nas seguintes localizações (ICMBio, 2019):

- 1) Rio de Janeiro – Baía da Ilha Grande, Baía de Sepetiba, Arraial do Cabo, Cabo Frio, Armação dos Búzios, Arquipélago das Cagarras e Paraty;
- 2) Bahia – Baía de Todos os Santos (BTS);
- 3) São Paulo – Ilhabela, Arquipélago de Alcatrazes e Laje de Santos;

- 4) Santa Catarina – Ilha do Arvoredo;
- 5) Espírito Santo – Vitória e Guarapari;
- 6) Ceará – Acaraú (a cerca de 40km da costa, em naufrágio);
- 7) Sergipe – Campos de Camorim, Caioba, Dourado e Guaricema, associado a plataformas de petróleo.

O Monumento Natural das Ilhas Cagarras (MONA Cagarras) abriga oito espécies exóticas de invertebrados marinhos já registradas, incluindo os corais escleractíneos *Tubastraea coccinea* e *Tubastraea tagusensis*. Esses corais foram identificados como alvos prioritários para ações de prevenção e controle de espécies invasoras nesta Área Marinha Protegida, conforme determinado pela agência ambiental governamental. A presença de *T. tagusensis* no Arquipélago de Cagarras foi inicialmente relatada de forma incorreta em 2004, mas sua ocorrência na região foi confirmada em 2011. Após extensos levantamentos bentônicos realizados entre 2011 e 2012, a espécie foi registrada nas ilhas Redonda e Comprida. Já *T. coccinea* começou a ser documentada na área a partir de 2018, embora com uma frequência de ocorrência menor em comparação com *T. tagusensis*. Curiosamente, *T. coccinea* não foi encontrada durante o esforço de remoção de corais invasores realizado na Ilha Comprida entre 2017 e 2018 (Silva *et al.* 2022).

Tubastraea spp. está amplamente presente nas Áreas Marinhas Protegidas⁷ (AMPs) do estado do Rio de Janeiro, especialmente em locais com costões rochosos. A AMP de Cairuçu, localizada em Paraty, foi identificada como uma área que demanda maior atenção entre as evidências, especialmente devido a fatores ambientais e estruturais não diretamente relacionados à influência de plataformas e navios-sonda, que desempenham funções essenciais na indústria de petróleo. Apesar do tráfego de vetores na Baía da Ilha Grande ser limitado, a AMP apresenta alta disponibilidade de substrato rochoso, adequado para o assentamento de larvas de coral-sol, além de estar situada em proximidade com a área doadora, a AMP dos Tamoios, localizada em Cabo Frio — considerada doadora por ser um dos locais mais invadidos do Brasil —, fatores que aumentam significativamente o risco de invasão, já que, embora o Coral-Sol já esteja registrado na AMP de Cairuçu, várias ilhas e costões ainda permanecem livres de infestação (Couto *et al.* 2021).

Segundo o IBAMA, das espécies descritas no Quadro 1, apenas *Tubastraea tagusensis* (Wells, 1982) e *Tubastraea coccinea* (Lesson, 1830) foram registradas no litoral brasileiro como

⁷ espaços legalmente delimitados nos oceanos e zonas costeiras para conservação da biodiversidade e uso sustentável, em conformidade com a Lei nº 9.985/2000.

um todo, incluindo o Rio de Janeiro (Brasil, 2022).

As espécies *Tubastraea tagusensis* (Wells, 1982) e *T. coccinea* (Lesson, 1830) são distinguidas principalmente por análises moleculares e características morfológicas — como o cenossarco (tecido que une os pólipos) amarelado em *T. tagusensis* e vermelho-alaranjado em *T. coccinea*, além da padronização das colônias de *T. coccinea*, geralmente com colônias em forma de cúpula ou hemisfério, ao contrário de *T. tagusensis* que geralmente apresenta colônias mais irregulares — (Brasil, 2018), como mostra a Figura 4.

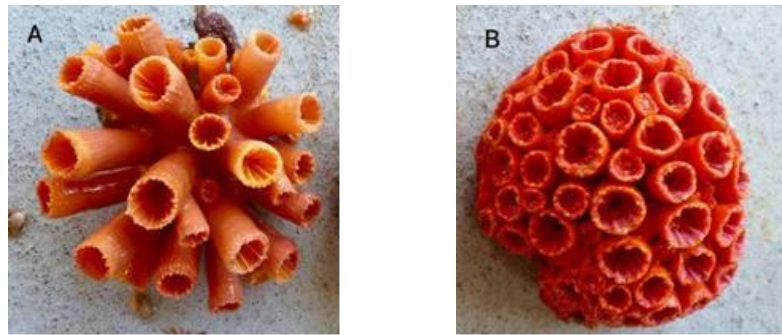


Figura 4 – (A) *Tubastraea tagusensis* e (B) *T. coccinea* (Fonte: Adaptado de Herton Escobar/USP imagens)

Em contrapartida, Bastos e colaboradores (2022) realizaram uma análise molecular e morfológica de amostras de corais coletados na Reserva Extrativista Marinha do Arraial do Cabo, no Rio de Janeiro, do qual foram identificados três padrões morfológicos no sudeste brasileiro, correspondentes a observações de campo, a partir da identificação das suas principais estruturas, tais como os pólipos (organismos cilíndricos que vivem dentro da colônia), os tentáculos (projeções ao redor da boca do pólipos), os coralitos (cavidades onde os pólipos vivem, formados pelo esqueleto calcário), as columelas (estruturas calcárias centrais dos coralitos que oferecem suporte interno aos pólipos) e os septos (placas calcárias radiais que se projetam da parede interna dos coralitos em direção à columela), como mostra a Figura 5.

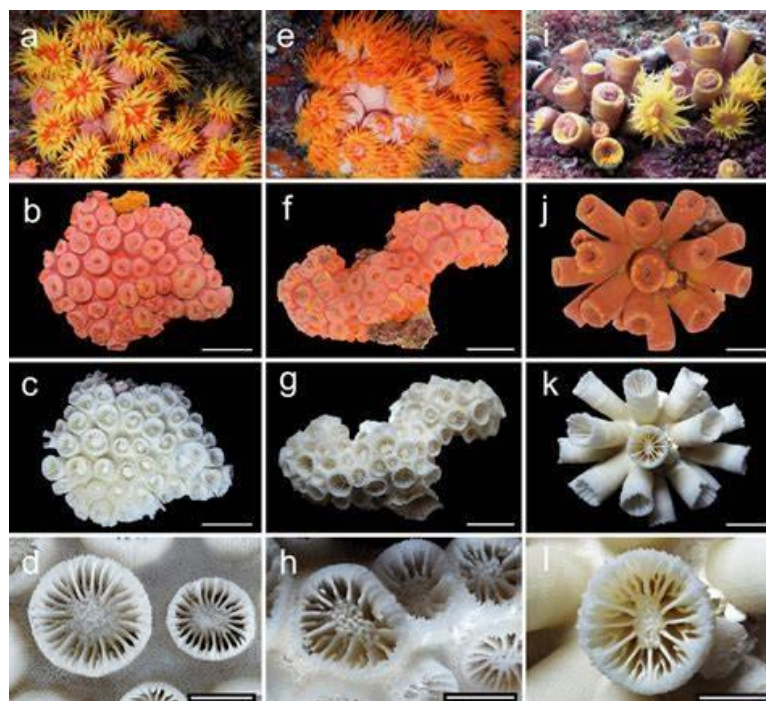


Figura 5 – Morfologia dos três morfotipos de *Tubastraea* de Arraial do Cabo, RJ. (A, E, I) Colônias in vivo: morfotipo I, II e III, respectivamente. (B, F, J) Coralitos dos morfotipos I, II e III, respectivamente. (C, G, K) Esqueletos calcários com tecido removido por solução branqueadora de hipoclorito de sódio dos morfotipos I, II e III, respectivamente. (D, H, I) Detalhe do arranjo dos septos dos morfotipos I, II e III, respectivamente (Fonte: Bastos *et al.*, 2022).

O morfotipo I é caracterizado por colônias hemisféricas regulares, coralitos plocóides (coralitos separados uns dos outros e com paredes independentes e bem definidas) e tentáculos amarelo-escuros, geralmente com as pontas na cor laranja e projetam-se mais proeminentemente sobre o cenósteo (parte do esqueleto calcário que fornece base para os coralitos). O morfotipo II é caracterizado por coralitos plocóides com tentáculos laranjas e o morfotipo III apresenta coralitos facelóides (paredes laterais parcial ou totalmente fundidas) (Bastos *, et al.*, 2022). Outros padrões também foram observados, como mostra o Quadro 2.

Quadro 2 – Principais características morfológicas dos morfotipos encontrados em Arraial do Cabo, no Rio de Janeiro.

| Características | Morfotipo I | Morfotipo II | Morfotipo III |
|--------------------------|-------------|--------------|---------------|
| Diâmetro máximo do coral | 140 mm | 135 mm | 110 mm |

| | | | |
|--|---|-----------------|---------------|
| Diâmetro máximo de coralito | 26 mm | 11 mm | 17 mm |
| Espaçamento de coralitos | Próximo | Muito próximo | Esparso |
| Diâmetro de columelas | 2.5–8.5 mm | 1.4–6.4 mm | 0.8–4.9 mm |
| Profundidade máxima da fossa columelar | 14 mm | 7 mm | 11 mm |
| Cor do cenossarco | Vermelho claro | Vermelho escuro | Amarelo |
| Cor dos tentáculos | Amarelo brilhante com ponta e base às vezes laranja | Laranja | Amarelo claro |

Fonte: Bastos, *et al.*, 2022

Com base nestas análises, Bastos e colaboradores (2022) concluíram que o morfotipo I, apresenta características morfológicas semelhantes a *Tubastraea aurea*; o morfotipo II corresponde aos padrões morfológicos de *Tubastraea coccinea* e o morfotipo III corresponde a uma espécie indeterminada, denominada *Tubastraea sp.*, não correspondendo morfológicamente à espécie anteriormente denominada *T. tagusensis*, principalmente devido a identificação de fusões entre os septos, comprovando que não são apenas *Tubastraea coccinea* e *Tubastraea tagusensis* as únicas espécies presentes no Rio de Janeiro (Bastos *et al.*, 2022).

4. IMPACTOS ECOLÓGICOS DAS ESPÉCIES

De acordo com a avaliação experimental realizada por Chierigatti (2016) para determinar como a presença de *Tubastraea* spp. impacta a comunidade de ascídias — conhecidas como seringas-do-mar — da Baía de Ilha Grande, no Rio de Janeiro, concluiu-se que o coral-sol, mesmo após sua morte, pode impactar a estrutura da comunidade marinha nativa ao criar condições que favorecem o estabelecimento de outras espécies invasoras em detrimento das nativas, por meio da alteração do ambiente invadido, fenômeno conhecido como *invasional meltdown*⁸.

Além disso, o coral-sol apresenta alta resistência a condições adversas e coloniza rapidamente substratos consolidados, competindo diretamente por espaço com organismos nativos do Rio de Janeiro, como o coral *Mussismilia hispida* (Figura 6) — conhecido como coral-cérebro — e o coral *Madracis decactis* (Figura 7), além de espécies de interesse econômico, como o mexilhão *Perna perna*. A competição reduz a diversidade e a riqueza de espécies, especialmente em áreas de alta dominância de *Tubastraea* spp., como a Ilha dos Macacos e a Ilha da Aroeira, localizadas em Ilha Grande (Brasil, 2018).



Figura 6 – Coral *Mussismilia hispida* (Fonte: Adaptado de Kitahara, 2012)

⁸ colapso invasivo.



Figura 7 – Coral *Madracis decactis* (Fonte: Adaptado de Migotto, 2010)

A produção de metabólitos secundários — compostos orgânicos que não estão diretamente envolvidos nos processos metabólicos essenciais para o crescimento, desenvolvimento ou reprodução do coral-sol, como os metabólitos primários — é um dos principais mecanismos que garantem o sucesso competitivo do coral-sol, visto que essas substâncias inibem o crescimento de organismos incrustantes e competidores, como larvas de outros invertebrados marinhos, além de necrosar tecidos de espécies como *M. hispida*. Esses compostos químicos também protegem o coral de predação por peixes generalistas, ampliando sua vantagem competitiva e contribuindo para sua expansão contínua (Brasil, 2018).

Além disso, Guilhem e colaboradores (2020) indicaram que *T. coccinea* teve efeitos negativos significativos sobre a espécie *P. caribaeorum* (Figura 8), pertencente à comunidade bentônica da Baía de Ilha Grande e conhecido como coral-baba-de-boi. Estes efeitos incluem a descoloração do coral, pelas substâncias químicas liberadas por *T. coccinea* durante as competições, e a redução nas taxas de crescimento. A formação de "afunilamento" nas colônias de *P. caribaeorum* ocorreu quando os pólipos se projetaram horizontalmente, indicando que o crescimento foi inibido pela presença dos corais invasores.



Figura 8 – Coral *P. caribaeorum* (Fonte: Adaptado de Faria, 2014)

Tais fatores comprovam que as espécies do gênero *Tubastraea* demonstram um significativo potencial de ameaça à fauna nativa marinha do estado do Rio de Janeiro. Sua introdução e posterior expansão em ambientes costeiros têm causado impactos ecológicos importantes, incluindo a competição por espaço e recursos com espécies nativas. A rápida colonização desses corais invasores pode comprometer a biodiversidade marinha, afetando a dinâmica das comunidades, se fazendo necessárias as devidas práticas de controle e erradicação das espécies.

5. MEDIDAS DE CONTROLE

Em abril de 2016, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) criou o Grupo de Trabalho Coral-Sol por meio da Portaria nº 94, de 6 de abril de 2016. Esse grupo foi instituído para prestar suporte técnico e coordenar as ações voltadas ao controle e monitoramento da bioinvasão da espécie em questão. O grupo foi composto por representantes do Departamento de Conservação e Manejo de Espécies da Secretaria de Biodiversidade do MMA, da Diretoria de Uso Sustentável da Biodiversidade e Florestas, da Diretoria de Licenciamento Ambiental do Ibama, e das Diretorias de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade e de Criação e Manejo de Unidades de Conservação do ICMBio. Entre as principais atribuições do grupo estão: coordenar a elaboração do Plano Coral-sol para reduzir os impactos negativos das espécies do gênero *Tubastraea* sobre a biodiversidade marinha brasileira, definir estratégias e articulações institucionais para sua criação e implementação, além de propor e avaliar ações integradas de prevenção, controle e monitoramento dessas espécies invasoras (Brasil, 2018).

O Plano Nacional de Prevenção, Controle e Monitoramento do Coral-Sol no Brasil, desenvolvido pelo MMA (2018), estabelece diversas medidas para o manejo do Coral-Sol, que exige uma abordagem criteriosa, considerando os múltiplos fatores envolvidos na gestão de riscos de biossegurança. Esses fatores incluem a identificação precisa das espécies envolvidas, o estágio de colonização, e as características do substrato invadido, sejam naturais ou artificiais. Nesse sentido, é essencial avaliar os impactos ambientais da invasão, os custos de manejo e os possíveis riscos associados à implementação das técnicas de controle. Tais análises são indispensáveis para orientar as ações, promover a proteção dos ecossistemas locais e a mitigação dos danos causados por essa espécie invasora.

A prevenção é reconhecida como a estratégia mais eficaz e econômica no enfrentamento de espécies exóticas invasoras. Quando as ações preventivas falham, as medidas rápidas e integradas são possíveis para conter ou erradicar uma invasão em seus projetos iniciais. O Brasil, como signatário de acordos internacionais, promulgou através do Decreto nº 2.519 de 16/03/1998 a Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), que estabelece, no Artigo 8h, o compromisso em “Impedir que se introduzam, controlar ou erradicar espécies exóticas que ameacem os ecossistemas, habitats ou espécies”, além de políticas avançadas que tratam o transporte marítimo como vetor de dispersão de espécies, destacando regulamentações para a gestão de água de lastro e o uso de sistemas anti-incrustantes, como a Norma da Autoridade Marítima nº 20/2005 (Normam

20), que define critérios relacionados à prevenção da poluição por parte das embarcações em Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB) (Brasil, 2018; Brasil, 2019).

Os métodos de manejo podem ser classificados em três grandes categorias: controles químicos, físicos e biológicos. Os métodos químicos consistem na aplicação de substâncias específicas, como biocidas, diretamente nas colônias do Coral-Sol, com o objetivo de eliminar ou inibir o crescimento dos organismos invasores. O uso de biocidas pode ser altamente eficaz em áreas localizadas e de difícil acesso, atingindo inclusive fragmentos menores que escapariam a métodos físicos. No entanto, os métodos químicos devem ser aplicados com extrema cautela, priorizando produtos específicos que minimizem os impactos colaterais à fauna e flora nativas, visto que as substâncias podem ser cumulativas e tóxicas, podendo afetar as cadeias tróficas e prejudicar os ecossistemas marinhos. Essas técnicas precisam ser analisadas com atenção e submetidas a um rigoroso processo de rastreamento inicial, seguido de monitoramento contínuo. Do mesmo modo, o MMA recomendou a implementação de uma supervisão internacional devido aos possíveis impactos em nível regional e global (Brasil, 2018).

As técnicas físicas, por outro lado, são métodos de controle manuais e envolvem a remoção ou destruição direta das colônias de Coral-Sol. A raspagem manual é uma das abordagens mais comuns, sendo realizada com ferramentas como espátulas ou escovas, especialmente em manchas isoladas de bioincrustação. Outro método é o uso de jatos de água pressurizada, frequentemente aplicado em superfícies artificiais, como cascos de embarcações e estruturas portuárias. Essa técnica requer o uso de barreiras ou redes para capturar os fragmentos soltos, evitando sua dispersão no ambiente. A dessecação, por sua vez, envolve a exposição das colônias ao ar, causando a morte por desidratação, sendo indicada para estruturas removíveis ou isoladas. Apesar de eficazes, essas abordagens físicas demandam mão de obra intensiva, planejamento detalhado e ações complementares para garantir que nenhum fragmento seja abandonado, podendo gerar novas colônias (Brasil, 2017).

Para a operação de remoção da bioincrustação em substratos artificiais, como embarcações, técnicas mecânicas são adotadas e incluem a remoção de incrustações existentes, tanto em operações fora da água como em operações subaquáticas. Estas operações ocorrem por meio de reboques, através de rampas de lançamento e equipamentos hidráulicos, que utilizam cintas sob o casco como suportes para o peso da embarcação. A partir disso, é então retirada da água por um conjunto de guias ou guinchos e pode ser movida para uma área próxima para manutenção. Podem

ser utilizados também diques secos, que consistem em estruturas estreitas projetadas para serem inundadas, permitindo a entrada da embarcação. Após o fechamento das comportas, a água é removida, criando uma área de trabalho seca para a realização das operações necessárias (Brasil, 2017).

Por fim, o controle biológico, é uma estratégia que utiliza organismos vivos para conter ou reduzir as populações de Coral-Sol. Uma possibilidade é a introdução de predadores naturais, como peixes e moluscos que se alimentam da espécie invasora, promovendo um controle mais sustentável. Outra abordagem em estudo é o uso de patógenos ou parasitas específicos que atacam o Coral-Sol, como bactérias, fungos ou vírus. Apesar do potencial para soluções de longo prazo, o controle biológico enfrenta desafios significativos, como o risco de introdução de novos desequilíbrios ecológicos, já que os agentes introduzidos podem afetar espécies nativas, exigindo extensos estudos prévios para garantir a segurança e a eficácia do manejo. (Brasil, 2018).

O sucesso no manejo do Coral-Sol depende também de um planejamento integrado que considere tanto as especificidades do local invadido, quanto os objetivos de conservação de longo prazo. Em áreas de invasão recente, intervenções rápidas podem evitar que a espécie se estabeleça, reduza os custos e os danos ecológicos. Já em regiões onde a espécie está amplamente difundida, as estratégias de manejo devem focar na mitigação de impactos e na restauração da funcionalidade ecológica. Paralelamente, o monitoramento contínuo e a pesquisa científica desempenham papéis cruciais, fornece subsídios para melhorar as práticas de manejo e compreender aspectos fundamentais, como as taxas de reprodução, a resiliência da espécie e os seus efeitos nas comunidades nativas (Brasil, 2018).

O Projeto Coral-Sol (PCS) foi desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Biodiversidade (BrBio) em 2006, sendo a primeira iniciativa brasileira de combate aos corais invasores, composto por um grupo de gestores locais e cientistas interessados, com as propriedades técnicas adequadas para a remoção segura dos corais em trabalhos de mergulho, visando aprimorar os métodos de manejo e realizar ações de monitoramento e educação ambiental no estado do Rio de Janeiro, como mostra a Figura 9.

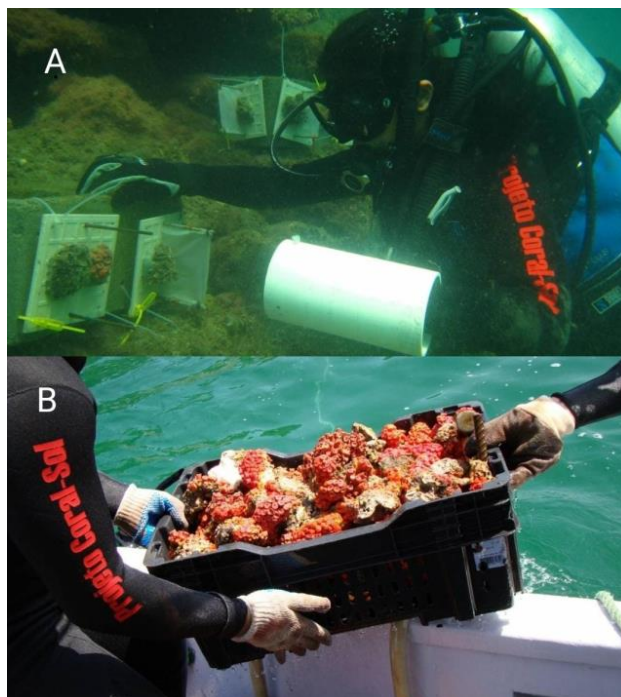


Figura 9 – Processo de remoção de corais-sol (A e B), feita pela equipe da BrBio (Fonte: Adaptado de Edson Faria Júnior).

Este projeto criou uma plataforma digital, denominada Bioinvasão Brasil⁹, com o objetivo de reunir registros de espécies exóticas invasoras no Brasil, promovendo a conscientização da sociedade sobre o tema da bioinvasão e oferecendo informações úteis para combater essas espécies. Atualmente, por meio do subprojeto “O Controle do Coral-Sol e a Conservação Marinha”, realizado em parceria com o Laboratório de Ecologia Marinha Bêntica da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e financiado pelo Projeto de Apoio à Pesquisa Marinha e Pesqueira no Rio de Janeiro, gerido pelo Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (FUNBIO), a iniciativa foi ampliada e fortalecida (Brasil, 2018; Creed *et al.*, 2017).

Creed e colaboradores (2017) realizaram um estudo do qual analisaram se o PCS gerou efeitos positivos enquanto ativo. Os resultados do estudo apontaram que os Corais-Sol continuaram a expandir sua distribuição ao longo da costa brasileira em alta escala, principalmente devido às ações de manejo terem começado de fato em 2012, já que antes disso as ações ocorreram de maneira irregular, além de nenhuma ação ter sido realizada em 2010 e 2014.

⁹ mais informações sobre a plataforma Bioinvasão Brasil estão disponíveis em: <https://www.bioinvasaobrasil.org.br/>.

Apesar disso, até o ano publicado do estudo, o PCS removeu mais de 232 mil corais (aproximadamente 8,5 toneladas) por meio de 165 ações nos estados do Rio de Janeiro e de São Paulo, que contribuíram para o desenvolvimento socioeconômico local através de ações de manejo com catadores. Embora os resultados do projeto representem uma pequena fração frente à escala atual da bioinvasão, o PCS conseguiu reduzir de forma significativa a dispersão dos propágulos, prevenindo o desenvolvimento de um número estimado de 2,665 bilhões de larvas (Creed *et al.*, 2017).

Além disso, o estudo apontou que conhecimento científico sobre as espécies *Tubastraea coccinea* e *T. tagusensis* ter avançado substancialmente, indicando que O PCS desenvolveu uma iniciativa de conservação fundamentada em ciência e sustentada pelo engajamento comunitário. Essa iniciativa oferece dados relevantes para o governo, a comunidade científica e outros interessados. Além disso, disponibilizou ferramentas, técnicas e equipes capacitadas para monitorar e controlar a invasão dos Corais-Sol (Creed *et al.*, 2017).

Por fim, a conscientização pública e a mobilização de diversos setores da sociedade são indispensáveis no combate ao Coral-Sol. Campanhas educativas sobre a importância, aliadas a políticas públicas eficazes, podem fomentar uma ampla compreensão sobre os riscos associados a espécies invasoras e incentivo a práticas preventivas. Assim, o enfrentamento dessa problemática torna-se um esforço coletivo, voltado à preservação dos ecossistemas marinhos e ao equilíbrio ambiental (Brasil, 2018).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente monografia teve como objetivo principal compreender a influência de *Tubastraea* spp. (Coral-Sol) sobre a fauna marinha nativa do litoral do Rio de Janeiro. Para isso, foram levantados e analisados estudos que abordaram a biologia do Coral-Sol e seu potencial como espécie bioinvasora, os impactos ecológicos causados por sua presença na região e as principais medidas de controle e mitigação adotadas para minimizar seus efeitos negativos.

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, foi possível alcançar resultados relevantes, como a identificação dos principais impactos do Coral-Sol sobre espécies nativas, incluindo competição por espaço e recursos, alteração da cadeia trófica e comprometimento de ecossistemas costeiros protegidos. Esses resultados reforçam a importância de estratégias eficazes para o manejo e controle dessa espécie invasora, bem como a conscientização pública sobre a relevância da preservação da biodiversidade marinha.

No entanto, é importante destacar que este estudo apresenta algumas limitações, como a dependência de dados secundários — referentes aos estudos já existentes — e a ausência de análises em campo. Essas limitações apontam para a necessidade de investigações futuras que poderão explorar com maior profundidade os mecanismos de dispersão do Coral-Sol, além de avaliar a eficácia de novas estratégias de manejo e controle.

De modo geral, o trabalho contribuiu para a compreensão dos desafios relacionados à bioinvasão no litoral brasileiro, trazendo reflexões teóricas e práticas que podem auxiliar em políticas públicas e ações conservacionistas. Espera-se que as reflexões e os dados apresentados sirvam como base para futuras discussões e avanços no campo da biologia marinha e da conservação ambiental.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, B; BIAZON, T. **O transporte marítimo e o uso sustentável do oceano**. *Jornal da USP*, 6 out. 2021. Disponível em: <https://jornal.usp.br/artigos/o-transporte-maritimo-e-o-uso-sustentavel-do-oceano/>. Acesso em: 4 jun. 2024.

AHMED, D. A. *et al.* Recent advances in availability and synthesis of the economic costs of biological invasions, **BioScience**, v. 73, ed. 8, p. 560–574 ago, 2023. DOI <https://doi.org/10.1093/biosci/biad060>

BASTOS, N. D. *et al.* Western Atlantic invasion of sun corals: incongruence between morphology and genetic delimitation among morphotypes in the genus *Tubastraea*. **Bulletin of Marine Science**, v. 98, n. 2, p. 187-210, abr, 2022. DOI <https://doi.org/10.5343/bms.2021.0031>

BRASIL. **Decreto nº 2.519, de 16 de março de 1998**. Mar, 1998.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Sobre o coral-sol**. *In: Gov.br. Ibama*, 29 nov. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/biodiversidade/especies-exoticas-invasoras/sobre-o-coral-sol>. Acesso em: 4 jun. 2024.

BRASIL. Marinha do Brasil. Diretoria de Portos e Costas. **Norma da Autoridade Marítima nº 20/2005 (NORMAM 20)**. 2005.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). **Grupo de Trabalho "Coral-Sol"**. Jan, 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Biodiversidade Marinha da Baía de Ilha Grande**. Jan, 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Diagnóstico sobre a invasão do coral-sol (*Tubastraea spp.*) no Brasil**. Jan, 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Guia de Orientação para o Manejo de Espécies Exóticas Invasoras em Unidades de Conservação Federais**. Brasília, jun. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Informe sobre as Espécies Exóticas Invasoras Marinhas no Brasil**. V. 3, out, 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Plano Nacional de Prevenção, Controle e Monitoramento do Coral-sol (*Tubastraea spp.*) no Brasil**. Jun. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Portaria MMA nº 94, de 6 de abril de 2016**.

Abr, 2016.

CASARES, F.A. *et al.* **Plataforma Brasileira de Bioinvasão - Bioinvasão Brasil, Instituto Brasileiro de Biodiversidade, Rio de Janeiro – RJ.** Disponível em: <https://www.bioinvasaobrasil.org.br/> Acesso em: 26 nov. 2024.

CHIERIGATTI, N. B. **Avaliação experimental dos impactos do coral-sol (*Tubastraea* spp.) sobre a comunidade de ascídias (Tunicata, Ascidiacea) na baía de Ilha Grande, Rio de Janeiro.** 2016. 137 f. Dissertação (Graduação) em Ciências Biológicas - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

Conselho Editorial do WoRMS. **World Register of Marine Species**, 2024. DOI 10.14284/170. Disponível em; <https://www.marinespecies.org> . Acesso em: 3 jun, 2024.

COUTO, T. D. T. C. *et al.* A Method to Assess the Risk of Sun Coral Invasion in Marine Protected Areas. **Anais Da Academia Brasileira De Ciências**, v. 93, 2021. DOI <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120200583>

CREED, J. C. *et al.* The invasion of the azooxanthellate coral *Tubastraea* (Scleractinia: Dendrophylliidae) throughout the world: history, pathways and vectors. Springer, [S. l.], v. 19, 21 set. 2016. **Biological Invasions**, p. 283-305. DOI <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1279-y>.

CREED, J. C. *et al.* The Sun-Coral Project: the first social-environmental initiative to manage the biological invasion of *Tubastraea* spp. in Brazil. **Management of Biological Invasions**, v. 8, ed. 2, p. 181-195, 2017. DOI <https://doi.org/10.3391/mbi.2017.8.2.06>

DA SILVA, A. G. *et al.* Eleven years of range expansion of two invasive corals (*Tubastraea coccinea* and *Tubastraea tagusensis*) through the southwest Atlantic (Brazil). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [S. l.], v. 141, p. 9-16, 8 fev. 2014. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.01.013>.

DE PAULA, A. F.; CREED, J. C. Two species of the coral *Tubastraea* (Cnidaria, Scleractinia) in Brazil: A case of accidental introduction. **Bulletins Of Marine Science**, [S. l.], v. 74, n. 1, jan. 2004. Coral Reef Paper, p. 175-183.

FREGAPANI, L. **Pesquisa revela que temperatura no fundo do mar de SC influencia corais.** Disponível em: <https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/nossa-terra/2013/noticia/2014/01/temperatura-no-fundo-do-mar-de-sc-influencia-na-ocorrencia-de-corais.html>. Acesso em: 14 jan. 2025.

GUILHEM, I. F. *et al.* Impact of invasive *Tubastraea* spp. (Cnidaria: Anthozoa) on the growth of the space dominating tropical rocky-shore zoantharian *Palythoa caribaeorum* (Duchassaing and Michelotti, 1860). **Invasivesnet**, Aquatic Invasions, v. 15, ed. 1, p. 98–113, 4 nov. 2019.

- KITAHARA, M. V. **Coral-cérebro**. Disponível em: <https://cifonauta.cebimar.usp.br/media/9633/>. Acesso em: 14 jan. 2025.
- LUZ, B. L. P. et al. Life-history traits of *Tubastraea coccinea*: Reproduction, development, and larval competence. **Wiley**, [S. l.], v. 10, n. 13, 19 jun. 2020. *Ecology and Evolution*, p. 6223-6238. DOI <https://doi.org/10.1002/ece3.6346>.
- MIGOTTO, A. E. **Coral**. Disponível em: <https://cifonauta.cebimar.usp.br/media/3329/>. Acesso em: 14 jan. 2025.
- OLIVEIRA, J. A. **O que não sabemos sobre o coral-sol? Uma revisão bibliográfica**. 2021. 95 f. Dissertação (Mestrado) em Ecologia – Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.
- SANTOS, H.S. **Distribuição Espacial e Estrutura Populacional de *Tubastraea coccinea* (Lesson, 1829) e *Tubastraea tagusensis* (Wells, 1982) na Região dos Lagos - RJ**. 2018. 137 f. Dissertação (Mestrado) em Ecologia e Evolução - Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- SALMAZO, J. R. *et al.* **Costões rochosos: muito mais que um amontoado de rochas. projetobioicos**, 1 nov. 2017. Disponível em: <https://www.bioicos.org.br/post/costoes-rochosos-muito-mais-que-um-amontoado-de-rochas>. Acesso em: 26 nov. 2024
- SILVA, M. S. *et al.* Distribution, population structure and settlement preference of *Tubastraea* spp. (Cnidaria: Scleractinia) on rocky shores of the Cagarras Islands Natural Monument and surroundings, Rio de Janeiro, Brazil. **Regional Studies in Marine Science**, [s. l.], v. 52, ISSN 2352-4855, 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102245>.
- SOREK, M. *et al.* Circadian clocks in symbiotic corals: the duet between Symbiodinium algae and their coral host. **Marine genomics**, [s. l.], v. 14, p. 47–57, 2014. DOI <https://doi.org/10.1016/j.margen.2014.01.003>.
- VITULE, J. R.; PRODOCIMO, V. Introdução de espécies não nativas e invasões biológicas. **Estudos de Biologia: Ambiente e Diversidade**, [s. l.], v. 34, n. 83, p. 225-237, 2012. DOI 10.7213/estud.biol.7335.