



**MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE
RESEX MARINHA BAÍA DO IGUAPE**

**Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do Instituto Chico
Mendes de Conservação da Biodiversidade- PIBIC/ICMBio**

Relatório de Final

(2018-2019)

**CONTROLE DO CORAL SOL ATRAVÉS DO MANEJO DE
SUBSTRATOS ARTIFICIAIS DE EMPREENDIMENTOS E
IMPACTOS DA BIOINVASÃO NAS ESPÉCIES AUTÓCTONES DA
RESEX MARINHA BAÍA DO IGUAPE, RECÔNCAVO BAIANO**

Israel Fortuna Costa Neto

Orientador(a): Bruno Marchena Romão Tardio

Salvador

Agosto/2019

RESUMO

O coral-sol (*Tubastraea coccinea* e *T. tagusensis*) é um animal bioinvasor no Brasil. Na Resex Marinha Baía do Iguape, sua disseminação foi impulsionada pela Usina Hidrelétrica de Pedra do Cavalo, e pela construção do Estaleiro Naval Enseada do Paraguaçu. Esta pesquisa monitorou as mudanças das assembleias bentônicas na Resex a partir da incrustação do coral-sol, mediante a instalação de placas de concreto fixadas nos substratos naturais da unidade. Cada organismo foi fotografado mensalmente para calcular a porcentagem de ocupação destes na área da placa. Em outro experimento, foi analisada a taxa de sobrevivência do coral-sol em placas de concreto em inclinações de 90 e 130°, pois estudos indicaram que esses organismos evitam a deposição de sedimento sobre seu corpo. O monitoramento mostrou o constante crescimento das populações de coral-sol. As ostras, espécie de maior importância para as comunidades tradicionais locais, ocorreram em simpatria com o coral-sol, competindo por espaço nos substratos. Nos experimentos sobre a inclinação, a partir do segundo mês de monitoramento registramos a morte de quase totalidade das colônias nas placas inclinadas a 130°, em consequência da deposição de sedimento. As colônias presas às placas com angulação de 90° sobreviveram, algumas apresentando apenas morte parcial onde o sedimento se depositava no coral. Estes resultados indicam os potenciais danos da bioinvasão por coral-sol na Resex às espécies bentônicas nativas. Além disto, fica demonstrado que é possível disciplinar a estrutura de substratos artificiais criados por empreendimentos, a fim de reduzir a criação de habitats adequados à instalação do coral-sol.

Palavras-chave: bioinvasores, coral-sol, ecossistemas estuarinos.

ABSTRACT

The *Tubastraea* (*Tubastraea coccinea* and *T. Tagusensis*) is a bioinvasive animal in Brazil. In the Resex Marine Bay of Iguape, its dissemination was boosted by the Pedra do Cavalo hydroelectric power plant, and by the construction of the Enseada do Paraguaçu Naval shipyard. This research monitored the changes of the benthic assemblages in Resex from the sun-coral inlay, by installing concrete plates fixed on the natural substrates of the unit. Each organism was photographed monthly to calculate the percentage of occupation in the plate area. In another experiment, we analyzed the survival rate of the *Tubastraea* in concrete plates in slopes of 90 and 130 °, because studies indicated that these organisms avoid sediment deposition on their body. The monitoring showed the constant growth of the *Tubastraea* populations. Oysters, a species of greatest importance for local traditional communities, occurred in sympatry with the *Tubastraea*, competing for space on the substrates. In the experiments on the slope, from the second month of monitoring we recorded the death of almost all colonies in plates inclined to 130° as a consequence of sediment deposition. The colonies attached to the plates with angulation of 90° survived, some presenting only partial death where the sediment was deposited in the choir. These results indicate the potential damage of *Tubastraea* bioinvasion in Resex to native benthic species. In addition, it is demonstrated that it is possible to discipline the structure of artificial substrates created by enterprises in order to reduce the creation of habitats suitable for the installation of the *Tubastraea*.

Key words: *Tubastraea*, bioinvasive, estuaries ecosystems.

**LISTA DE FIGURAS, QUADROS, TABELAS, ABREVIATURAS E SIGLAS,
SÍMBOLOS.**

Figura 1. Placas de concreto totalmente finalizadas.....	11
Figura 2. Fotografia de uma das placas de concreto e sua posterior análise no ArcMap 10.2.2.....	12
Figura 3. Morfotipos bastante distintos presentes nas placas de concreto. Nota-se a presença de dois pequenos pólipos de coral-sol na lateral direita, destacados por sua coloração marcante.....	14
Figura 4. Colônia de tamanho padrão fixada numa placa de 90° por meio de massa epóxi.....	15
Figura 5. Gráfico demonstrando a variação populacional dos morfotipos de acordo com o tempo, onde a linha de destaque em vermelho é a população de coral-sol.....	17
Figura 6. Gráfico de ordenação direta dos morfotipos utilizando o efeito parcial da variável tempo na estruturação das taxas de ocupação das assembleias bentônicas nas placas de concreto. Em destaque, o morfotipo 21 em vermelho é o coral sol (<i>Tubastraea spp.</i>); em verde, o morfotipo 09 é o briozoário invasor <i>Triphyllozoon arcuatum</i> ; em azul, o morfotivo 15 são as ostras do gênero <i>Crassostrea</i>	18
Figura 7. Imagem da clara segregação espacial entre coral-sol e as ostras, determinada por um gradiente de profundidade. As populações de coral-sol encontram-se nas áreas que ficam mais tempo submersas, enquanto as ostras ficam mais tempo expostas, numa área com menor influência da maré.....	20
Figura 8. Gráfico de ordenação direta dos morfotipos utilizando o efeito parcial da variável tempo na estruturação das ocorrências (presenças ou ausências) das assembleias bentônicas nas placas de concreto.....	22

Figura 9. Gráfico de ordenação direta dos morfotipos utilizando o efeito parcial da variável taxa de ocupação por coral sol na estruturação das ocorrências (presenças ou ausências) das assembleias bentônicas nas placas de concreto.....	23
Figura 10. Colônias de coral-sol mortas, dispostas nas placas com inclinação de 130°.....	24
Figura 11. Box-plot da área viva das colônias de coral sol fixadas nas placas de concreto a inclinação de 130° (gráfico à esquerda) e nas placas à inclinação de 90° em três tempos distintos do monitoramento.....	25
Figura 12. Gráfico resultante da Análise de Covariância para verificar a diferença entre a porcentagem de área do coral-sol viva entre os dois distintos níveis de inclinação, 130 e 90°, sem os efeitos do tempo em que a placa estava submersa, utilizado como covariável na análise.....	26
Figura 13. Comparação pareada entre a face à montante da rocha e a face à jusante da mesma rocha, totalizando 13 rochas analisadas, inferindo que a média da ocupação de coral-sol é significativamente maior nas regiões das rochas voltadas à montante.....	27

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS	9
2.1. Objetivo Geral	9
2.2. Objetivos Específicos	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1 Seleção dos locais de amostragem	10
3.2 Monitoramento da comunidade bentônica e da bioinvasão por coral-sol	10
3.3 Bioinvasão por coral-sol em diferentes inclinações do substrato	14
3.4 Preferência de habitat pelo coral-sol em relação à orientação do substrato	16
4. RESULTADOS	16
4.1 Monitoramento da composição quantitativa bentônica nas placas	16
4.2 Monitoramento da composição qualitativa bentônica nas placas	21
4.3 Monitoramento das placas em distintas inclinações	23
4.4 Análise da ocupação por coral-sol influenciada pela orientação do substrato	26
5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	27
6. RECOMENDAÇÕES PARA O MANEJO	29
7. AGRADECIMENTOS	30
8. CITAÇÕES E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

1. INTRODUÇÃO

Corais do gênero *Tubastraea* (Cnidaria, Anthozoa, Scleractinia, Dendrophylliidae) são azooxantelados que crescem em águas rasas, em recifes de coral e costões rochosos tropicais (Cairns, 1994). Nativos dos oceanos Pacífico e Índico, hoje algumas espécies são consideradas cosmopolitas, sendo amplamente distribuídas em águas tropicais do Atlântico, Pacífico e Índico devido ao processo de bioinvasão (Paula & Creed, 2004). Duas espécies são consideradas invasoras: *Tubastraea coccinea* Lesson, 1829 e *Tubastraea tagusensis* Wells, 1982. O primeiro registro de uma espécie de *Tubastraea* como bioinvasor foi em 1943 quando *T. coccinea* foi registrada no Caribe (Cairns, 1994). Hoje se encontra distribuída em várias regiões do Caribe e Golfo do México, tanto em substratos naturais quanto em substratos artificiais, principalmente naqueles associados à indústria petrolífera, tais como plataformas de petróleo e gás, monobóias, entre outros (Cairns, 1994; Fenner, 2001; Fenner & Banks, 2004; Sammarco et al., 2004).

No Brasil, o primeiro registro de *Tubastraea* foi em uma plataforma de petróleo na Bacia de Campos, RJ (Paula & Creed, 2004). A bioinvasão nos costões rochosos por *Tubastraea* iniciou em Ilha Grande, RJ, na década de 1980 (Castro & Pires, 2001), embora apenas em 2004 tenham sido identificadas duas espécies do gênero na região: *T. coccinea* e *T. tagusensis*, esta última com distribuição nativa no Arquipélago de Galápagos, Equador (Paula & Creed, 2004). Também foi registrada a bioinvasão de *T. coccinea* em Arraial de Cabo, RJ (Ferreira, 2003). Atualmente, *T. coccinea* e *T. tagusensis* são encontradas nos costões rochosos na Baía da Ilha Grande, onde ocupam e podem dominar áreas do infralitoral raso (Paula & Creed, 2004).

Porém, quando falamos em unidades de conservação (UC) marinhas, a introdução e disseminação de espécies exóticas invasoras são consideradas uma das principais causas da perda da biodiversidade (Zalba e Ziller, 2007). Nessas circunstâncias, insere-se a Reserva Extrativista (RESEX) Marinha Baía do Iguape, que foi criada no ano 2000, no estuário do Rio Paraguaçu, Recôncavo Baiano. A mesma, que é de extrema importância para a sobrevivência de mais de 5 mil famílias extrativistas, teve seus limites alterados pela Lei nº 12.058/09, restringindo assim a porção mais à jusante da Unidade de Conservação para a construção do Estaleiro Naval Enseada do Paraguaçu. Com o aumento excedente do fluxo de embarcações e plataformas, e com a expansão das estruturas de concreto do empreendimento, em

menos de dois anos, a ocorrência do Coral-Sol (*Tubastraea spp.*) foi evidenciada por marisqueiras, pescadores e até mesmo pelo ICMBio no interior da RESEX. Foram encontrados fixados em 6 piers, portos comunitários, rochas e até mesmo a grandes distâncias do Estaleiro Naval.

De acordo com Sammarco et al. (2004), estes substratos artificiais podem oferecer a *Tubastraea* e a outros corais a oportunidade de aumentar sua abrangência geográfica através de “trampolins” em colonização (chamada “leap-frogging” ou “stepping stones”) (Lira et al., 2010). É um mecanismo muito bem documentado em bioinvasões (Elton, 1958) e neste caso a introdução de um novo habitat facilita a expansão geográfica do bioinvasor (efetivamente criando um beachhead, sensu Simberloff (1997), para passagem posterior aos substratos naturais adjacentes). Portanto, faz-se necessário manejar também estes substratos artificiais, e não só as espécies de *Tubastraea*, de forma a evitar a fixação do coral sol e a expansão geográfica destes invasores através de *stepping stones*.

Durante a pesquisa realizada por Salles e colaboradores (2017) na Resex Marinha Baía do Iguape, foi observada a preferência de fixação do Coral Sol em superfícies de substratos que apresentavam uma menor deposição de sedimentos, principalmente superfícies verticais ou aquelas que permitiam a fixação dos indivíduos de “cabeça para baixo”. Superfícies mais horizontalizadas permitem uma deposição maior de sedimentos, estes em abundância nos ambientes estuarinos da Resex com extensas faixas de manguezais. Não há disponível na literatura científica estudos que analisem a relação da inclinação destas superfícies com a fixação do coral. Assim, a primeira parte deste estudo consistiu em simular substratos artificiais em diferentes inclinações a fim de monitorar e comparar a fixação e o crescimento dos pólipos e colônias do Coral Sol, identificando quais são as características estruturais dos substratos artificiais que podem evitar a disseminação do coral sol. Estas informações poderão ser utilizadas em procedimentos de Licenciamento Ambiental ou Autorização Direta para indicar a adequação de construções físicas no interior da Resex visando o controle da bioinvasão.

Outro fator que corroborou para a rápida instalação do coral-sol na UC foi a construção da hidrelétrica Pedra do Cavalo à montante da RESEX, pois esse coral tem preferência por águas mais salgadas, e com a retenção por cerca de 20 horas diárias da vazão da água doce do Rio Paraguaçu, a Baía do Iguape tem picos de salinidade mais altos do que o próprio mar. De acordo com marisqueiras e pescadores, há um grande

receio de que as grandes populações de ostras, que é o produto mais rentável para eles, desapareçam e sejam substituídas por grandes colônias de coral-sol. Há pouquíssimos estudos (e.g. Salles, 2017) sobre a bioinvasão do coral-sol em ambientes estuarinos no Brasil e nenhum deles analisou ainda os impactos desses organismos sobre as espécies nativas, sobretudo as de importância para a reprodução física, social, econômica e cultural de povos e comunidades tradicionais. A segunda parte deste trabalho buscou entender qual o comportamento das assembleias de organismos nativos em resposta à expansão do Coral Sol nos substratos naturais e artificiais da Resex Marinha Baía do Iguape, tendo como foco de análise as espécies de uso tradicional pelas populações beneficiárias da Unidade de Conservação.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estabelecer parâmetros para a instalação de substratos artificiais na Resex Marinha Baía do Iguape com o fim de controlar a expansão do Coral Sol através do disciplinamento da construção de empreendimentos no interior da unidade de conservação e prever os possíveis impactos da bioinvasão nos modos de vida dos povos e comunidades tradicionais locais.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Comparar a fixação, crescimento e dispersão espacial do Coral Sol em substratos artificiais em diferentes inclinações e orientações em relação ao curso do Rio Paraguaçu (montante e jusante);
- b) Analisar o comportamento das assembleias de organismos marinhos nativos frente à fixação e crescimento de colônias de Coral-sol nos substratos naturais, especialmente as de importância para os modos de vida das comunidades tradicionais;
- c) Sugerir parâmetros para a construção de estruturas físicas no interior da Resex Marinha Baía do Iguape, tais como pilares, piers e muros de contenção;
- d) Apresentar os resultados da pesquisa ao Conselho Deliberativo da Resex Marinha Baía do Iguape, bem como à Associação Mãe dos povos e comunidades

tradicionais da unidade de conservação, a fim de estabelecer um diálogo de saberes entre o conhecimento científico produzido e os conhecimentos tradicionais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Seleção dos locais de amostragem

Utilizando um barco motorizado conduzido por um pescador tradicional da região e, tomando como referência estudo de Salles e colaboradores (2017) foram escolhidos 2 pontos que representem diferentes níveis de salinidade ao longo da Baía do Iguape, buscando os melhores locais possíveis para o monitoramento. Estes locais foram escolhidos com base nos seguintes critérios: (a) viabilidade de instalação dos substratos artificiais, (b) segurança das instalações da pesquisa, (c) abundância de pólipos e colônias de Coral Sol e (d) segurança dos pesquisadores para os mergulhos. Os dois pontos selecionados para a amostragem foram a Ilha do Arromba (IA) e um costão rochoso próximo ao Quilombo da Salamina (QS), ambos ambientes com ocorrência expressiva de coral-sol.

3.2 Monitoramento da comunidade bentônica e da bioinvasão por coral-sol

Para avaliação da fixação e crescimento dos corais foram instaladas permanentemente durante a execução da pesquisa 18 placas de concreto de 50 x 50 cm, com aproximadamente 30 kg cada, peso necessário para não permitir mobilidade da placa, submersas a 2 m abaixo do nível da maré de 0,3. Esta profundidade de 2 m abaixo da linha da maré de 0,3 m teve como base as observações feitas nos mergulhos experimentais que mostraram que os níveis de marés acima deste valor submergem substratos que ficam grande parte do dia fora da água, não propícios para a maior parte da população do Coral Sol. Dentre estas 18 placas, metade foi instalada na unidade amostral IA e as demais em QS.

As placas de concreto foram fabricadas de forma simples e com baixo custo, em fôrma de madeira, reforçada internamente com uma malha de ferro para que a mesma possuísse o peso ótimo para beneficiar seu transporte e instalação, mas dificultar a sua mobilidade pela própria maré. O concreto foi escolhido por representar o material

utilizado em quase totalidade das instalações físicas de empreendimentos no interior da Resex.

A fixação das placas foi feita nos substratos naturais (rochas) onde já ocorre o coral sol, tendo como base o trabalho realizado por Salles (2017), utilizando o período de maré extremamente baixa. Cada placa foi confeccionada com dois furos, sendo que cada furo fica localizado próximo a um dos dois vértices adjacentes da placa. Os furos possuem a dimensão necessária para a passagem de um cabo de aço de 3/8 polegadas. Um furo foi feito também na rocha com uso de uma marreta de 1 kg e uma talhadeira sextavada de 250 x 18 x 27 mm com um anel de ferro soldado em sua extremidade, por onde o cabo de aço preso à placa é fixado (Figura 1), deixando-a “pendurada” na profundidade de interesse da pesquisa.



Figura 1. Placas de concreto totalmente finalizadas, com os cabos de aço e o espontão produzido através de um vergalhão de uma polegada afiado de forma sextavada para fixação nas rochas.

As amostragens mensais iniciaram em outubro de 2018 e seguiram até o mês de junho de 2019. O tempo total em que se realizaram as amostragens foi considerado suficiente para a execução do estudo na vigência do PIBIC, tendo como base estudos indicando o rápido crescimento do coral-sol (De Paula, 2007; Glynn et al., 2008) e as altas taxas de viabilidade das larvas (viáveis por até 18 dias em experimentos realizados em aquários; Paula & Creed 2005; Glynn et al., 2008; De Paula et al., 2014). Caso seja institucionalmente possível, estenderemos o tempo de monitoramento do crescimento e fixação do coral sol nos substratos artificiais após o término deste PIBIC.

Devido à baixa visibilidade na RESEX, é inviável a utilização de fotografias subaquáticas para o monitoramento dos corais. Desta forma adaptamos nossas amostragens para a realidade local utilizando fotografias das placas após puxá-las para a superfície. A partir das fotografias, morfotipamos todos os organismos bentônicos presentes e submetemos os mesmos para análise taxonômica mais rigorosa, retirando apenas uma pequena parte do organismo para a identificação sem prejudicar de forma importante o seu desenvolvimento na placa. Cada organismo foi mapeado mensalmente em cada placa utilizando o software ArcMap 10.2.2 (Figura 2), para que fosse possível calcular a porcentagem de ocupação dos mesmos na área total da placa no decorrer das amostragens mensais. Desta forma, tivemos como avaliar a diferenciação na composição de espécies bentônicas nativas no decorrer do tempo sob a influência da invasão do coral sol.

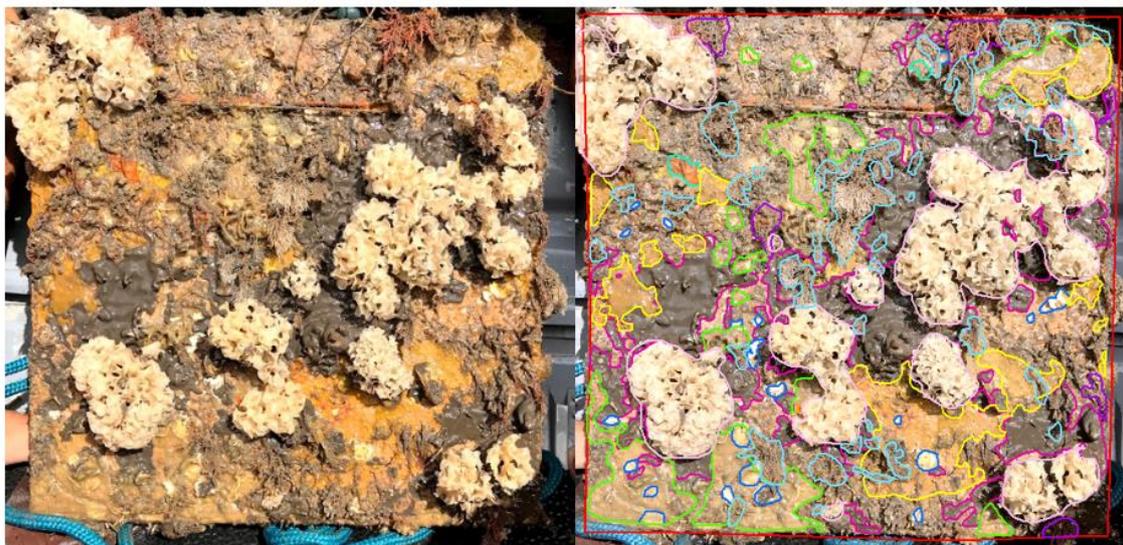


Figura 2. Fotografia de uma das placas de concreto e sua posterior análise no ArcMap 10.2.2

No entanto, não houve tempo hábil para termos retorno de especialistas para a identificação taxonômica dos organismos presentes nas placas, já que se trata de atividade bastante complexa e dependente de análises laboratoriais. Desta forma, utilizamos em nossas análises a morfotipagem da maioria dos organismos. Fomos bastante cautelosos e observadores para que não houvesse nenhum tipo de equívoco nessa identificação. Como os organismos das placas foram morfologicamente bem distintos entre si (Figura 3), tivemos certa facilidade em caracterizá-los em tipos distintos com uma reduzida chance de enquadrar grupos taxonômicos muito distintos em um mesmo morfotipo.

Devido aos prazos de entrega dos relatórios, não conseguimos mapear as placas da Ilha do Arromba (IA), pois esse processo necessita de bastante tempo, já que temos que contornar manualmente todos os organismos presentes nesses substratos artificiais no software ArcMap 10.2.2. Durante o monitoramento das 18 placas, nos dois sítios amostrais, em 9 meses obtivemos o total de 144 fotografias. Porém, como já foi dito acima, medimos a taxa de ocupação dos organismos em apenas metade dessa quantia, ou seja, nas 72 fotos do sítio amostral QS, que resultou em mais de 1.200 indivíduos mapeados. Entretanto, guardamos em nosso banco de dados as fotografias das placas da Ilha do Arromba, que já estão em processo de mapeamento para utilização dos dados resultantes em futuras publicações.



Figura 3. Morfotipos bastante distintos presentes nas placas de concreto. Nota-se a presença de dois pequenos pólipos de coral-sol na lateral direita, destacados por sua coloração marcante.

Por fim, realizamos uma análise de redundância com base em distância (db-RDA), utilizando o índice de Bray-Curtis, para relacionar as variáveis tempo e taxa de ocupação do coral-sol com a matriz quantitativa e qualitativa dos morfotipos. O intuito desta análise foi tentar analisar os efeitos parciais/isolados do decorrer do tempo e do avanço da bioinvasão do coral-sol na composição de morfotipos nas placas.

Para facilitar a interpretação mais precisa dos resultados da db-RDA e permitir um olhar mais detalhado sobre o comportamento de cada espécie durante o monitoramento, realizamos um gráfico de ordenação direta das espécies com as variáveis preditoras inclusas nos modelos de db-RDA.

3.3 Bioinvasão por coral-sol em diferentes inclinações do substrato

Foram produzidas placas de concreto em formato de “V” invertido, na angulação de 130° que foram dispostas em conjunto com outras placas na angulação de 90°, totalizando 10 placas, 5 de cada tipo. Após a instalação destas placas, totalizamos 10

amostras para cada uma das duas angulações, já que cada uma delas possui duas faces. Como suspeitamos que a orientação do substrato em relação ao leito regular do Rio influencia também a ocorrência do coral-sol, orientamos cada estrutura de modo que uma face ficou voltada à montante e outra à jusante.

No centro de cada placa foram fixadas, com massa epóxi, uma colônia de tamanho padrão do coral-sol (Figura 4) para a realização de análises comparativas do desenvolvimento do coral entre as diferentes inclinações. Tais placas foram penduradas individualmente por meio de uma talhadeira sextavada de 250 x 18 x 27 mm e uma corda de seda de 8mm, que atravessou a sua extremidade superior central, deixando-as penduradas e submersas. Instalamos estas placas no dia 23 de abril e o monitoramento das mesmas foi realizado até dia 03 de julho de 2019, totalizando 71 dias.



Figura 4. Colônia de tamanho padrão fixada numa placa de 90° por meio de massa epóxi.

Durante o monitoramento, as placas de 130° e 90° foram fotografadas e analisadas no ArcMap 10.2.2 a fim de aferirmos a taxa de mortalidade das colônias de coral-sol, e ao final da pesquisa conseguimos verificar o comportamento desses organismos quando dispostos a substratos em diferentes inclinações.

3.4 Preferência de habitat pelo coral-sol em relação à orientação do substrato

No decorrer das atividades de campo, percebemos que o coral-sol possuía uma abundância muito mais significativa nas faces das rochas que estavam orientadas à montante do Rio Paraguaçu. Nas faces opostas (orientadas à jusante) das mesmas rochas, o coral-sol ocorria em abundâncias muito inferiores. Decidimos então adicionar mais uma análise ao trabalho e amostramos a ocupação de colônias de coral-sol em ambas as faces da rocha utilizando os mesmos métodos de Salles e colaboradores (2017; bolsista PIBIC/ICMBio daquele ano). Para a divisão da rocha, traçamos uma linha imaginária que a seccionava em duas metades aproximadamente iguais, sendo que esta linha era orientada de forma perpendicular ao leito regular do Rio Paraguaçu dividindo-a em uma face voltada à montante e outra à jusante. Realizamos um Teste *t* pareado a fim de comparar as populações de *Tubastraea* entre ambas as faces de 13 rochas encontradas na área de estudo.

4. RESULTADOS

4.1 Monitoramento da composição quantitativa bentônica nas placas

A composição de morfotipos de bentos nas placas de concreto no decorrer dos 244 dias de monitoramento demonstrou que cada um destes morfotipos distribuem-se em padrões de dinâmica populacional bem demarcados. Há morfotipos que apresentam uma expansão brusca na área da placa em recortes temporais muito específicos e depois declinam também bruscamente até a extinção nas placas, podendo voltar a ocorrer em episódios efêmeros em baixas abundâncias (Figura 5). Estes morfotipos, provavelmente necessitem de um contexto ecológico bastante específico que expliquem esta variação significativa em pouco tempo. Os morfotipos X, Y e Z, em especial, figuraram como pioneiros na ocupação das placas e talvez desempenhem um papel importante na estruturação sucessional dos morfotipos no decorrer do tempo.

Há morfotipos que apresentam uma taxa de ocupação nas placas que mantêm um certo equilíbrio dinâmico variando em um espectro intermediário de ocupação (Figura 5), nunca apresentando grandes variações. Este padrão provavelmente agregue os organismos que não sofram influência significativa de variações ambientais sazonais e também da variação da ocupação pelos demais organismos.

Por fim, há um padrão que foi extremamente restrito a apenas dois organismos, o morfotipo 21 (coral sol) e o morfotipo 26, uma esponja de crescimento superficial, em formato de tapete, de coloração branca acinzentada, opaca e de textura áspera. Para estes dois morfotipos, houve um aumento gradual e ininterrupto na taxa de ocupação das placas, sem nenhum evento de redução de sua população nas unidades amostrais.

O coral sol iniciou o seu recrutamento nas placas a partir do 27º dia, contudo a sua ocorrência neste período estava restrita a uma taxa de ocupação muito próxima a zero. Porém, houve um acréscimo expressivo do coral-sol a partir do 141º dia, inclusive com o início de formação de pequenas colônias.

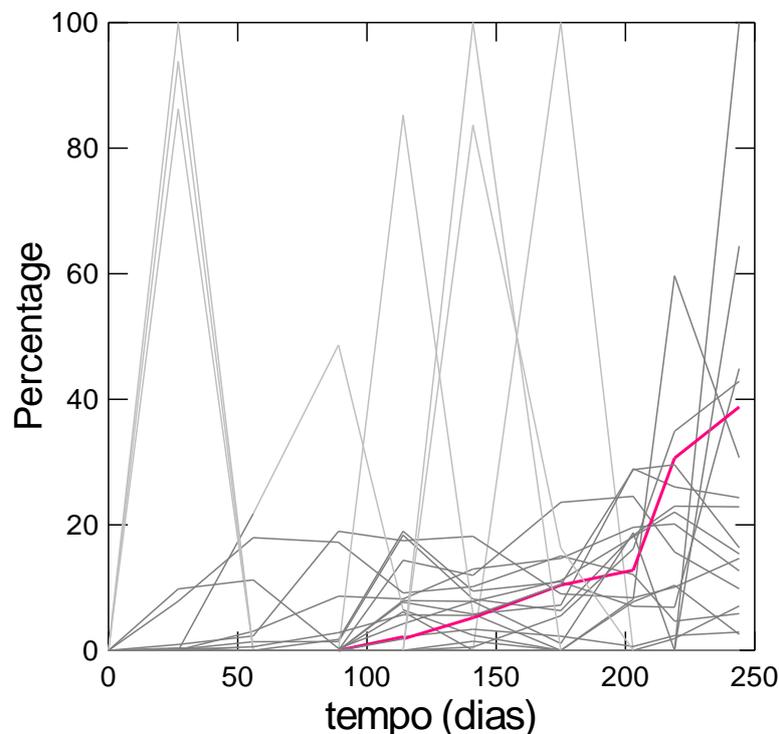


Figura 5. Gráfico demonstrando a variação populacional dos morfotipos de acordo com o tempo, onde a linha de destaque em vermelho é a população de coral-sol.

Com a finalidade de relacionar as variáveis tempo e taxa de ocupação do coral-sol com a matriz de morfotipos, foi realizada uma análise de redundância com base em distância utilizando o índice de Bray-Curtis ($F\# = 7,3336; p < 0,001$), considerando os dados quantitativos destes organismos nas amostras. Nesta análise, os dois primeiros eixos explicaram, respectivamente, 83,04% ($F\# = 12,18; p < 0,001$) e 16,95% ($F\# = 2,487; p = 0,01$) da variância original entre os morfotipos. Identificamos que o tempo foi a variável que apresentou maior significância ($F\# = 5,007; p = 0,002$) na estruturação das assembleias bentônicas, sendo que o coral-sol ($F\# = 1,868; p = 0,054$) demonstrou ter um efeito marginalmente significativo.

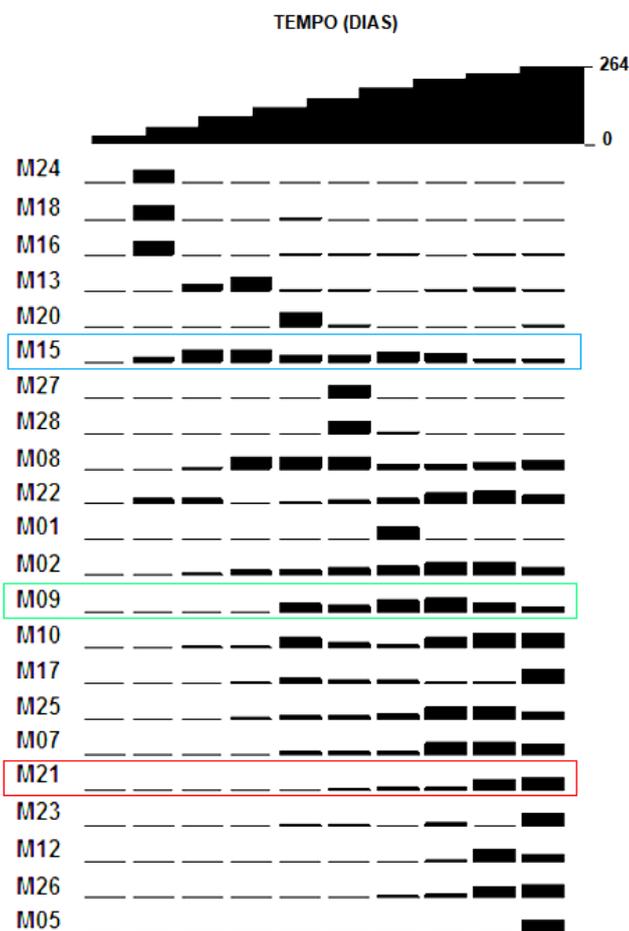


Figura 6. Gráfico de ordenação direta dos morfotipos utilizando o efeito parcial da variável tempo na estruturação das taxas de ocupação das assembleias bentônicas nas placas de concreto. Em destaque, o morfotipo 21 em vermelho é o coral sol (*Tubastraea spp.*); em verde, o morfotipo 09 é o briozoário invasor *Triphyllozoon arcuatum*; em azul, o morfotipo 15 são as ostras do gênero *Crassostrea*.

Apesar de o tempo ter sido um fator determinante para a estruturação das assembleias bentônicas, o coral-sol, ainda que num processo de bioinvasão recente nas placas, já indica que com o seu provável crescimento passará a interferir de forma significativa na composição quantitativa bentônica das placas.

A partir dos resultados da db-RDA identificamos haver uma forte relação da variação nas taxas de ocupação das placas entre três morfotipos e o coral-sol. Acreditamos que, não por coincidência, estes são todos poríferos, com estruturas corpóreas semelhantes (crescimento superficial em forma de tapete). Todas as demais esponjas que não apresentaram variação de ocupação similar à do coral-sol possuíam estruturas morfológicas completamente distintas das anteriormente citadas. Contudo, a dificuldade até então encontrada em identificar as espécies desses morfotipos e conhecer os seus aspectos ecológicos, impossibilita uma análise e discussão mais robusta destas relações entre os organismos.

As ostras do gênero *Crassostrea*., o recurso mais importante para a reprodução física, social e cultural das comunidades tradicionais presentes na Resex Marinha Baía do Iguape, apresentou relação praticamente inversa com a variação da taxa de ocupação do coral-sol. Como já dito anteriormente, a ocupação dos corais nas placas ainda é recente, fazendo com que uma análise mais apurada sobre a relação das ostras com a espécie invasora ainda não seja possível. Contudo, é fato que as ostras e os corais são recrutados em simpatria no mesmo substrato, pois encontramos nas placas diversas ostras coabitando com o coral-sol.

É curioso que nos substratos naturais da RESEX onde há a presença abundante dos dois organismos, nota-se uma segregação espacial bem definida (Figura 7): nos habitats de maior adequabilidade para o coral-sol, ou seja, aqueles com menor tempo de exposição fora d'água, a espécie invasora torna-se praticamente a única espécie dominante, restando às ostras os substratos em cotas mais elevadas e com maior tempo de exposição fora d'água.



Figura 7. Imagem da clara segregação espacial entre coral-sol e as ostras, determinada por um gradiente de profundidade. As populações de coral-sol encontram-se nas áreas que ficam mais tempo submersas, enquanto as ostras ficam mais tempo expostas, numa área com menor influência da maré.

Com a continuidade do monitoramento será possível verificar se esta segregação espacial observada nos substratos naturais é ocasionada diretamente pela presença e expansão do coral-sol ou se é resultado de algum gradiente ecológico, como o tempo em que o substrato fica exposto fora d'água.

Durante o monitoramento das placas de concreto, podemos perceber a presença de um morfotipo que se destacava por sua grande abundância, e por se mostrar presente em quase a totalidade de placas. Após pesquisas, constatamos que se tratava do primeiro registro de uma espécie exótica de briozoário na Resex, o *Triphyllozoon arcuatum*, popularmente conhecida como briozoário de renda, nome dado devido a forma exuberante de suas colônias. De acordo com a literatura, esse organismo é nativo da região biogeográfica oceânica Indo-Pacífico Ocidental, e são relatados como os organismos incrustantes mais comuns em regiões portuárias (Hatje., *et al* 2018), o que nos leva a crer que o Estaleiro Enseada do Paraguaçu pode ter relação na instalação e disseminação do mesmo na Resex Marinha Baía do Iguape. Os briozoários competem com as demais espécies principalmente por espaço, tendo uma certa desvantagem na

maioria das vezes, pois seu crescimento é lento em comparação aos demais organismos, e suas colônias são muito frágeis (Hatje., *et al* 2018).

4.2 Monitoramento da composição qualitativa bentônica nas placas

Uma análise de redundância com base em distância (db-RDA) também foi realizada utilizando apenas os dados das presenças e ausências dos morfotipos nas placas. Esta análise teve como objetivo verificar se as variáveis tempo de monitoramento e presença do coral-sol, agora desconsiderando as variações nas taxas de cobertura das placas, afetam a presença ou ausência das espécies. Esta análise foi realizada utilizando o índice de *Sorensen*.

O modelo de db-RDA testado demonstrou ser significativo ($F\# = 8,8313$; $p = 0,002$), considerando os dados de presença ou ausência destes organismos nas amostras. Nesta análise, os dois primeiros eixos explicaram, respectivamente, 56,48% ($F\# = 13,364$; $p < 0,003$) e 17,18% ($F\# = 4,298$; $p = 0,027$) da variância original entre os morfotipos. Identificamos que o tempo foi a variável que apresentou maior significância ($F\# = 9,887$; $p = 0,001$) na estruturação das assembleias bentônicas e que, ao contrário da análise quantitativa, o coral-sol ($F\# = 7,775$; $p = 0,003$) também demonstrou ter um efeito importante na variação das ocorrências dos morfotipos no decorrer do monitoramento.

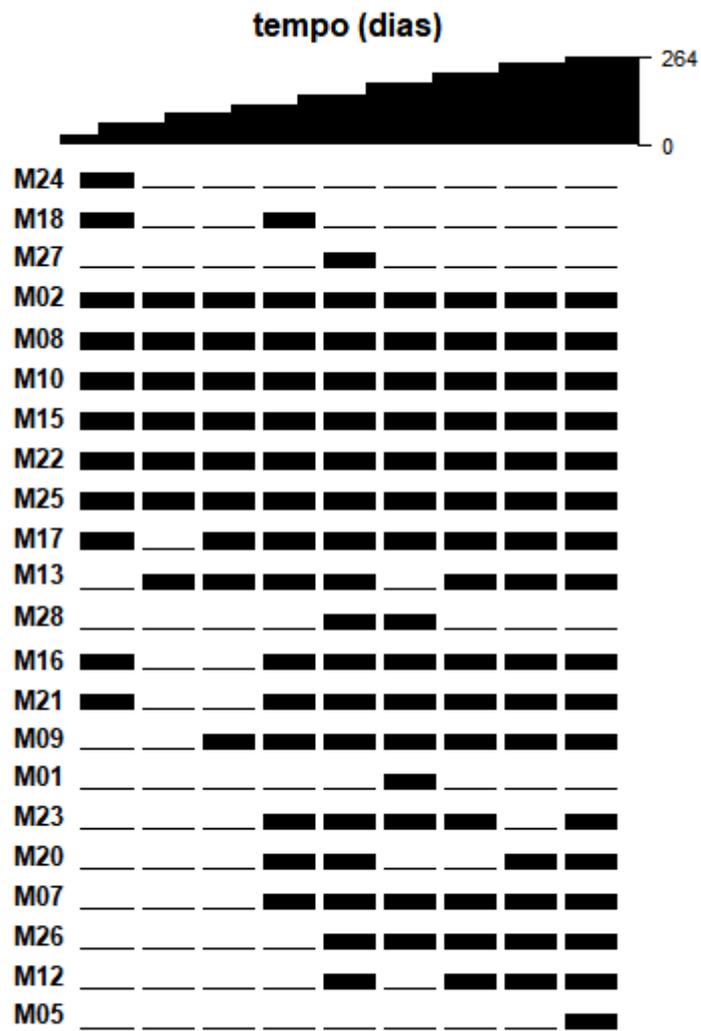


Figura 8. Gráfico de ordenação direta dos morfotipos utilizando o efeito parcial da variável tempo na estruturação das ocorrências (presenças ou ausências) das assembleias bentônicas nas placas de concreto.

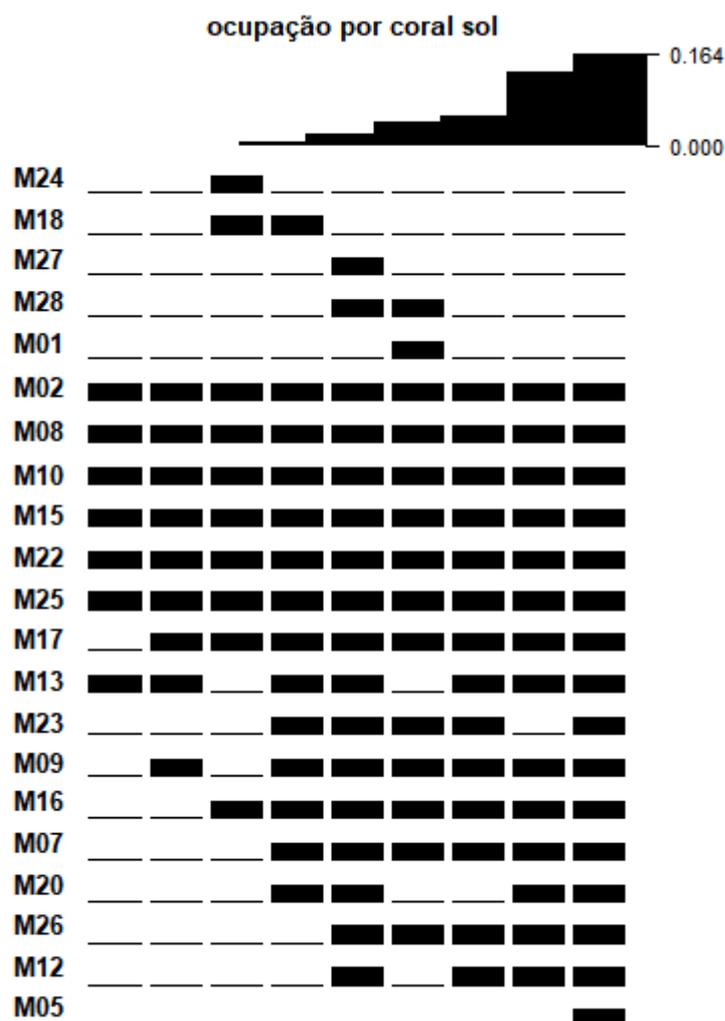


Figura 9. Gráfico de ordenação direta dos morfotipos utilizando o efeito parcial da variável taxa de ocupação por coral sol na estruturação das ocorrências (presenças ou ausências) das assembleias bentônicas nas placas de concreto.

4.3 Monitoramento das placas em distintas inclinações

As placas com as diferentes inclinações foram monitoradas no décimo, no quinquagésimo segundo e no septuagésimo dia após submersas. No décimo dia, todos os corais das placas estavam vivos, sem apresentar qualquer parte de seus tecidos em necrose ou perda de coloração aparente. No segundo evento do monitoramento, quase todas as placas com inclinação de 130° estavam com os corais totalmente mortos (Figura 6), com a média das áreas vivas bastante reduzidas (0,27%). As placas com inclinação de 90° tiveram também uma redução importante nas áreas vivas de coral-sol,

porém mantiveram partes vivas em dimensões expressivamente maiores que nas placas de 130° (34,17%).

Já no último evento de monitoramento, as placas com inclinação de 130° mantiveram uma taxa reduzida de área viva do coral-sol (0,31%) e as placas com inclinação de 90° continuaram a reduzir a área viva da colônia (26,09%), porém mantendo ainda uma taxa de sobrevivência significativamente maior que nos corais fixados nas placas a 130°.



Figura 10. Colônias de coral-sol mortas, dispostas nas placas com inclinação de 130°.

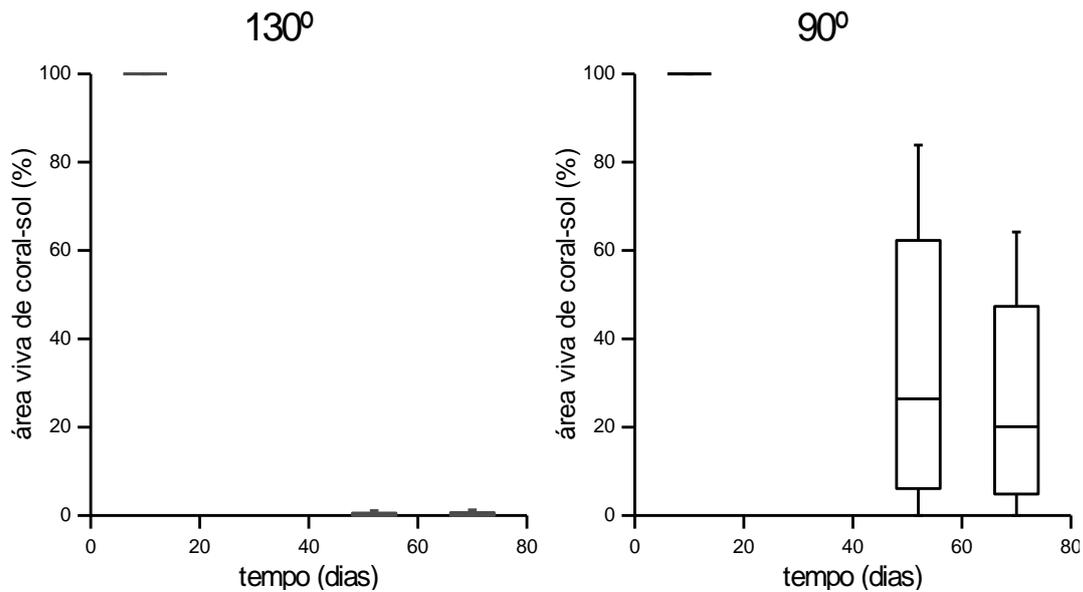


Figura 11. Box-plot da área viva das colônias de coral sol fixadas nas placas de concreto a inclinação de 130° (gráfico à esquerda) e nas placas à inclinação de 90° em três tempos distintos do monitoramento.

Uma Análise de Covariância (ANCOVA) foi utilizada para verificar a diferença entre a porcentagem de área do coral-sol viva entre os dois distintos níveis de inclinação, 90 e 130°, utilizando como covariável o tempo (em dias) em que a placa estava submersa no dia de cada amostragem (Figura 8). A ANCOVA demonstrou que há efeito significativo dos diferentes níveis de inclinação do substrato na taxa de sobrevivência do coral-sol, quando controlamos o efeito do tempo em que as placas estiveram submersas ($F_{2,14} = 4,484$; $p = 0,043$). A variável preditora expressa pelo tempo em que a placa esteve submersa também apresentou efeito relevante sobre a taxa de sobrevivência da colônia do coral-sol ($F_{2,14} = 140,14$; $p < 0,001$).

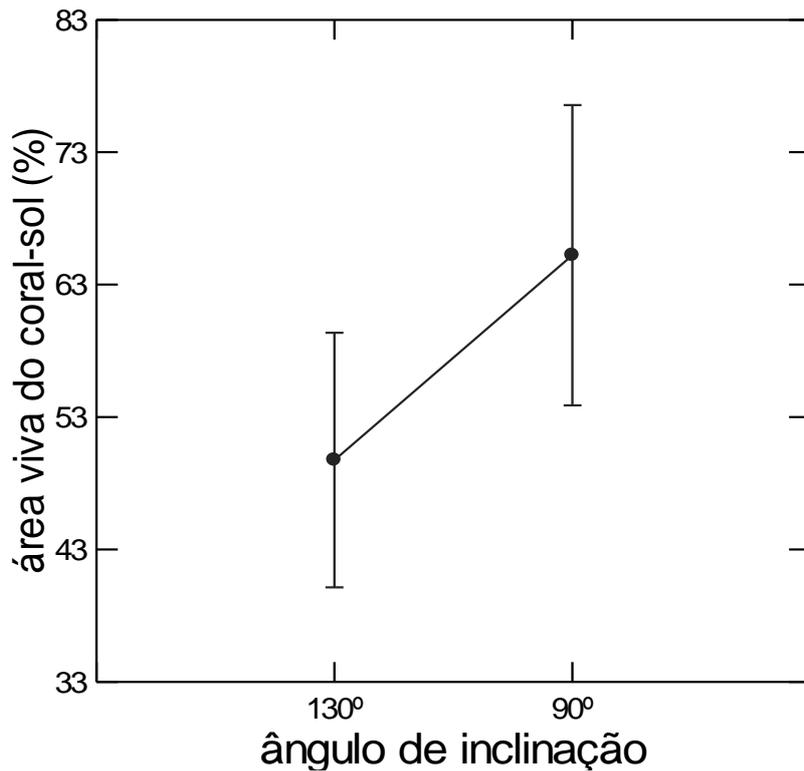


Figura 12. Gráfico resultante da Análise de Covariância para verificar a diferença entre a porcentagem de área do coral-sol viva entre os dois distintos níveis de inclinação, 130 e 90°, sem os efeitos do tempo em que a placa estava submersa, utilizado como covariável na análise.

4.4 Análise da ocupação por coral sol influenciada pela orientação do substrato

As análises da ocupação por coral-sol influenciada pela orientação do substrato em relação ao curso do Rio Paraguaçu demonstraram que as faces das rochas voltadas à montante possuem uma média de área ocupada por coral-sol muito maior ($x = 267,221 \text{ cm}^2$) quando comparada com a face voltada à jusante ($x = 42,625$), demonstrando haver uma diferença significativa ($t = -5,350$; $p < 0,001$; figura 7).

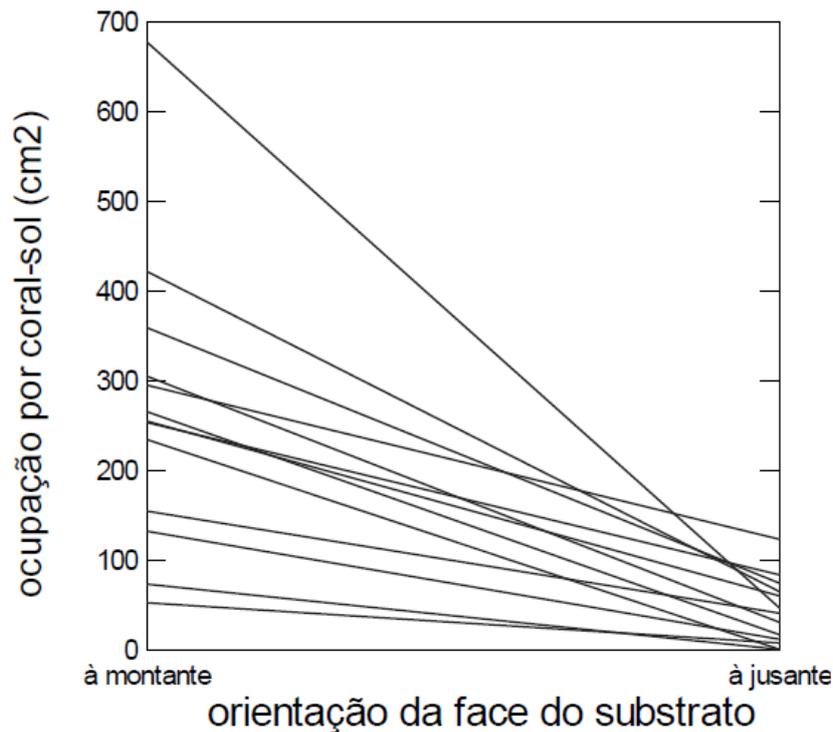


Figura 13. Comparação pareada entre a face à montante da rocha e a face à jusante da mesma rocha, totalizando 13 rochas analisadas, inferindo que a média da ocupação de coral-sol é significativamente maior nas regiões das rochas voltadas à montante.

A Baía do Iguape possui configuração topográfica que propicia uma velocidade maior na vazante do que na enchente da maré. Desta forma, acreditamos que o ambiente sujeito a um fluxo mais lótico, ou seja, a face da rocha voltada à montante, apresenta muito mais matéria orgânica em suspensão disponível para a alimentação do coral-sol, que os ambientes mais lânticos, onde a deposição de matéria orgânica é mais significativa. A própria sedimentação de matéria nos substratos pode ser uma variável que influencia negativamente a fixação do coral-sol, relação esta que foi verificada nesta pesquisa com as análises de placas em diferentes inclinações.

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A Reserva Extrativista Marinha Baía do Iguape é o primeiro ambiente estuarino onde foi registrada a presença do coral-sol, disseminado ao interior da unidade de conservação possivelmente em consequência dos impactos causados por grandes empreendimentos, como a Usina Hidrelétrica de Pedra do Cavalo, que reduziu

drasticamente a vazão de água doce para o estuário tornando o ambiente mais salino e adequado para o coral sol, e o Estaleiro Naval Enseada do Paraguaçu, grande polo disseminador destes animais (Salles, 2017).

A partir do monitoramento, podemos identificar uma complexa variedade de organismos bentônicos presentes nas placas, como ostras, cracas, esponjas, poliquetas e o coral-sol, mostrando a diversidade de espécies na unidade de conservação (28 morfotipos encontrados no total). Verificamos que o coral-sol se mostrou presente nas placas após 27 dias da sua instalação, tendo um crescimento expressivo apenas após 141 dias, ocorrendo em simpatria com ostras e outros organismos.

Com os resultados do monitoramento das placas, identificamos que a população de coral-sol manteve um crescimento ininterrupto, enquanto quase a totalidade das demais populações sofreram variações no decorrer do tempo. Isso mostra a sua alta taxa de crescimento e disseminação acelerada, a sua persistência nos substratos onde se fixam e a sua vantagem nas relações de competição interespecíficas.

Verificamos ainda que a deposição de sedimento é algo culminante para a morte do coral-sol, já que as análises dos substratos artificiais de acordo com sua inclinação mostraram que nas placas de 130°, onde o organismo invasor ficou mais exposto à sedimentação, suas populações tiveram uma enorme taxa de mortalidade já no quinquagésimo dia de monitoramento, restando apenas 0,27% de áreas vivas ao final do acompanhamento. Nas placas de 90°, as populações de coral-sol se mostraram consideravelmente mais persistentes, porém foi percebido que nestas placas as áreas do animal que apresentavam sinais de morte dos tecidos situavam-se na parte superior da colônia, onde o sedimento se acumulava com maior relevância. Possivelmente, a deposição de sedimentos nas placas a 90° de inclinação, consideravelmente menores que nas placas a 130°, seja um fator limitante para o crescimento das colônias do coral sol, porém não chegue a ser um fator limitante para a sua ocorrência, como nas placas a 130°.

Em relação às ostras, organismos de extrema importância para os povos e comunidades tradicionais da Baía do Iguape, identificamos que estas coabitam com o coral-sol desde os estágios iniciais da vida de ambos os organismos, porém provavelmente segregam-se de habitat em momento posterior, como ocorre nos substratos naturais averiguados. A população de coral-sol apresentou uma dinâmica de crescimento de suas populações relativamente proporcional à redução das populações de

ostras nas placas, porém não sabemos se essa relação é diretamente relacionada à ocorrência e expansão do coral sol ou se trata de mera coincidência.

Contudo, a população local identifica o organismo invasor como um dos fatores que comprometem o modo de vida tradicional das comunidades presentes, que sobrevivem com uma baixíssima renda advinda principalmente da mariscagem de ostras, principal produto para as suas sobrevivências. Durante as atividades de campo, conversávamos com as marisqueiras que encontrávamos e todas se mostravam curiosas em relação à pesquisa. Era unânime o relato de que antes a ostra “dava” em todas as rochas do estuário e que agora onde “esse troço vermelho cresce a ostra não dá mais”.

Com o tempo empregado neste monitoramento, ainda não foi possível identificar se a redução das ostras nas placas teve uma relação direta ou indireta com a expansão do coral sol, mas acreditamos que com mais um ou dois anos de monitoramento poderemos atingir respostas mais robustas sobre esta relação.

6. RECOMENDAÇÕES PARA O MANEJO

Após os resultados de todas as análises realizadas na presente pesquisa, fica claro que a disposição do substrato em relação ao curso do rio e também a inclinação do substrato afetaram as populações de coral-sol. Este resultado pode ser utilizado como subsídio inicial para a elaboração de regramentos locais sobre edificações no entorno da Reserva Extrativista Marinha Baía do Iguape, muito úteis nas análises de Autorizações Diretas ou Autorizações para o Licenciamento Ambiental. A exigência de que muros de contenção, diques, pilares etc. adotem estruturas mais inclinadas para inviabilizar ou reduzir o recrutamento e crescimento do coral sol auxiliaria no controle destes organismos invasores na unidade de conservação. Ademais, verificou-se que a disposição do substrato, se voltado à montante ou à jusante do rio, afeta significativamente as populações do coral sol. Sugere-se o uso deste resultado também na discussão de alternativas locais de empreendimentos que necessitem da construção de potenciais substratos para o coral sol. Fica evidente também a importância de mais incentivos para a continuidade deste monitoramento ou realização de outros projetos a fim de buscar respostas sobre a peculiar bioinvasão do coral sol no estuário do Paraguaçu e os seus impactos na biodiversidade e nos modos de vida dos povos e comunidades tradicionais da Resex Marinha Baía do Iguape.

7. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio e ao CNPq, pelo grande incentivo a pesquisa e pela confiança em mim depositada para realizar esse projeto, que é de extrema importância para inúmeras famílias tradicionais que tem seu sustento diretamente ligado Resex. Agradeço também aos amigos, companheiros de campo, Derivaldo, João Bulhões, Paulo Salles, Rafaela Lucatelli, Vinícius Costa, Bruno Marchena, Ticiano Nogueira, Leticia Azevedo, Rafaela Calil, José Machado, Fabiane Marcele, D. Fátima e, principalmente, a D. Nelci e aos pescadores e marisqueiras, que sempre nos acolhem e nos auxiliam com seus valiosos saberes tradicionais. Sem eles, todo o trabalho não faria nenhum sentido.

8. CITAÇÕES E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cairns, S. D. 1994. Scleractinia of the temperate North Pacific. *Smithsonian Contributions Zoology* 557:1-150.
- Castro, C. B. & Pires, D. O. 2001. Brazilian Coral Reefs: What we already know and what is still missing. *Bulletin of Marine Science* 69:357-371.
- Elton, C. S. 1958. *The ecology of invasions by animals and plants*. London, Methuen & Co. 196p
- Fenner, D. & Banks, K. 2004. Orange Cup Coral *Tubastraea coccinea* invades Florida and the Flower Garden Banks, Northwestern Gulf of Mexico. *Coral Reefs* 23:505- 507.
- Fenner, D. 2001. Biogeography of three Caribbean corals (Scleractinia) and the invasion of *Tubastraea coccinea* into the Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science* 69:1175-1189.
- Ferreira, C. E. L. 2003. Non-indigenous corals at marginal sites. *Coral Reefs* 22:498.
- Hatje, V.; Dantas, L.M.V.; de Andrade, J.B. *Baía de Todos os Santos. Avanços nos estudos de longo prazo*. Salvador: EDUFBA, 2018
- Lira, S. M. A.; Farrapeira, C. M. R.; Amaral, F. M. D. & Ramos, C. A. C. 2010. Sessile and sedentary macrofauna from the Pirapama Shipwreck, Pernambuco, Brazil. *Biota Neotropica* 10:155-166.
- Paula, A. F. & Creed, J. C. 2004. Two species of the coral *Tubastraea* (Cnidaria, Scleractinia) in Brazil: a case of accidental introduction. *Bulletin of Marine Science* 74:175-183.
- Sammarco, P. W.; Atchison, A. D. & Boland, G. S. 2004. Expansion of coral communities within the Northern Gulf of Mexico via offshore oil and gas platforms. *Marine Ecology Progress Series* 280:129-143.
- Ziller SR, Zalba S. 2007. Proposals for action to prevent and control invasive alien species. *Nature and Conservation* 5: 8–15.