

Bioincrustação por Coral-Sol em Plataformas de Petróleo: Desafios para o Descomissionamento

Biofouling by Coral-Sol on Oil Platforms: Challenges for Decommissioning

Bioincrustación por Coral-Sol en plataformas petroleras: desafíos para el desmantelamiento

Nelson de Oliveira Marques

Aluno de Mestrado, IFFluminense, Brasil.
nelsonmarquesdls@gmail.com

Angélica da Cunha dos Santos

Professora Doutora, IFFluminense, Brasil.
Angelicacunha.com@gmail.com

RESUMO

Espécies marinhas exóticas se distribuem por todos os oceanos devido ao intenso tráfego marítimo, que facilita o intercâmbio entre diferentes regiões, ocasionando o desequilíbrio em ecossistemas, afetando a biodiversidade e as atividades antrópicas. A bioincrustação por Coral-Sol (*Tubastraea* spp.) trouxe problemas à uma das etapas do licenciamento na indústria *offshore*, o descomissionamento, onde ocorre a desativação das unidades marítimas. O encerramento das atividades representa um desafio tecnológico, político, estratégico e econômico pois os custos são altos, a atividade é incipiente e são poucas as normas vigentes que garantam segurança no processo de descomissionamento. Este estudo visa esclarecer como se deu o aparecimento do Coral-Sol em ecossistemas marinhos brasileiros, destacando a importância das plataformas de petróleo como potenciais vetores de introdução da espécie, analisando sua ocorrência, controle, monitoramento e remoção desta macroincrustação. Este tema se mostra relevante na atualidade, pois a bioinvasão nas estruturas *offshore* e na plataforma continental brasileira, implica em perda de produtividade pesqueira, desequilíbrios na fauna bentônica e modificação dos ciclos de carbono e cálcio, entre outros impactos. Como metodologia, realizou-se uma pesquisa exploratória em artigos acadêmicos das plataformas “Scopus” e “Google Scholar” e em documentos solicitados ao IBAMA, através do SEI – Sistema Eletrônico de Informações do órgão, que abordam setores econômicos e ambientais associados à indústria offshore entre 2010 e 2023. Os resultados obtidos demonstram que, atualmente, a referida espécie está amplamente distribuída pela costa brasileira, em ambientes naturais e artificiais, como píeres, boias e plataformas de petróleo, sendo estes os principais vetores de sua introdução.

PALAVRAS-CHAVE: Espécies exóticas invasoras. Desativação de unidades marítimas. Impactos ambientais.

SUMMARY

Exotic marine species are distributed throughout the oceans due to intense maritime traffic, which facilitates exchange between different regions, causing imbalance in ecosystems, affecting biodiversity and human activities. Biofouling by Sol Coral (Tubastraea spp.) brought problems to one of the licensing stages in the offshore industry, decommissioning, where the deactivation of marine units occurs. Closing of activities, it represents a technological, political, strategic and economic challenge as costs are high, the activity is in its infancy and there are few current standards that guarantee safety in the decommissioning process. This study aims to clarify how the Sun Coral appeared in Brazilian marine ecosystems, highlighting the importance of oil platforms as potential vectors for introducing the species, analyzing its occurrence, control, monitoring and removal of this macrofouling. This topic is relevant today, as bioinvasion in offshore structures and on the Brazilian continental shelf implies loss of fishing productivity, imbalances in benthic fauna and modification of the carbon and calcium cycles, among other impacts. As a methodology, exploratory research was carried out on academic articles from the “Scopus” and “Google Scholar” platforms and on documents requested from IBAMA, through the agency’s SEI – Electronic Information System, which address economic and environmental sectors associated with the offshore industry. between 2010 and 2023. The results obtained demonstrate that, currently, this species is widely distributed along the Brazilian coast, in natural and artificial environments, such as piers, buoys and oil platforms, these being the main vectors of its introduction.

KEYWORDS: Invasive alien species. Deactivation of maritime units. Environmental impacts.

RESUMEN

Las especies marinas exóticas se distribuyen por los océanos debido al intenso tráfico marítimo, lo que facilita el intercambio entre diferentes regiones, provocando desequilibrio en los ecosistemas, afectando la biodiversidad y las actividades humanas. La bioincrustación de Sol Coral (Tubastraea spp.) trajo problemas a una de las etapas de concesión de licencias en la industria offshore, el desmantelamiento, donde se produce la desactivación de unidades marinas. Cierre de actividades representa un desafío tecnológico, político, estratégico y económico ya que los costos son altos, la actividad está en pañales y existen pocas normas actuales que garanticen la seguridad en el proceso de desmantelamiento. Este estudio tiene como objetivo esclarecer cómo apareció el Coral Sol en los ecosistemas marinos brasileños, destacando la importancia de las plataformas petroleras como vectores potenciales para la introducción de la especie, analizando su ocurrencia, control, monitoreo y eliminación de esta macroincrustación. Este tema es relevante hoy, ya que la bioinvasión en estructuras marinas y en la plataforma continental brasileña implica pérdida de productividad pesquera, desequilibrios en la fauna bentónica y modificación de los ciclos del carbono y del calcio, entre otros impactos. Como metodología, se realizó una investigación exploratoria en artículos académicos de las plataformas “Scopus” y “Google Scholar” y en documentos solicitados al IBAMA, a través del SEI – Sistema Electrónico de Información del organismo, que abordan sectores económicos y ambientales asociados a la industria offshore entre 2010 y 2023. Los resultados obtenidos demuestran que, actualmente, esta especie se encuentra ampliamente

distribuida a lo largo de la costa brasileña, en ambientes naturales y artificiales, como muelles, boyas y plataformas petroleras, siendo estos los principales vectores de su introducción.

PALABRAS CLAVE: *Especies exóticas invasoras. Desactivación de unidades marítimas. Impactos ambientales.*

1 INTRODUÇÃO

Os oceanos ocupam mais de 70% da superfície da Terra, e contribuem com diversos benefícios sociais, econômicos e ambientais. Nas últimas décadas houve um aumento significativo das demandas por recursos marinhos e do uso do mar em geral. Segundo a Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2016, p. 12), a indústria oceânica representa a 7ª maior economia mundial, gerando um valor global de 1,5 trilhão de dólares, com estimativa de três trilhões de dólares para o ano de 2030. Devido a essa movimentação, os oceanos recebem descargas provenientes do continente, além de diversos tipos de resíduos sólidos e efluentes provenientes de estruturas marinhas e de atividades realizadas no mar (por exemplo, navios, plataformas de petróleo e atividade pesqueira) (DOALOS, 2016, p.10).

O Ministério do Meio Ambiente (MMA), elencou o Coral-sol (*Tubastraea* spp.), juntamente com o javali (*Sus scrofa*) e o mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*), espécies exóticas invasoras prioritárias para a elaboração e implementação de Planos Nacionais de Prevenção, Controle e Monitoramento de Espécies Exóticas. A meta foi estabelecida pelo Governo Federal no seu Plano Plurianual (PPA 2016-2019) com o intuito de “Controlar três espécies exóticas invasoras, mitigando o impacto sobre a biodiversidade brasileira”, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio, 2018, p.3).

As espécies exóticas invasoras podem ser introduzidas e causar prejuízos ao ambiente natural, à economia e à saúde, além de provocar sérios impactos sociais e culturais. No caso do Coral-Sol ocorre um processo de invasão biológica, também conhecido como bioinvasão que ocasiona distúrbios no meio abiótico, gera competição, hibridação, deslocamento de espécies nativas, entre outros, sendo considerado um agente modificador negativo pois a espécie possui várias características biológicas que potencializam seu sucesso como bioinvasoras, ameaçando a biodiversidade e os processos e serviços ecossistêmicos naturais, Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM, 2020, p.9).

No intuito de minimizar o impacto de uma de suas principais espécies exóticas invasoras foi elaborado o Plano Nacional de Prevenção, Controle e Monitoramento das espécies de Coral-Sol, a cargo do Ministério do Meio Ambiente (MMA), com o propósito de avaliar a bioinvasão e os impactos negativos das espécies exóticas invasoras, além de registrar sua distribuição, biologia e ecologia (CIRM, 2020, p.12).

No presente estudo, descreve-se a espécie invasora Coral-Sol (*Tubastraea* spp.), introduzida acidentalmente no Brasil durante as décadas de 1980 e 1990, em plataformas e outras estruturas associadas à exploração de petróleo. A participação de navios, com corais incrustados em seus cascos e a movimentação de água de lastro das embarcações também são admitidas como vetores de introdução do Coral-Sol. Já foram descritos pontos de ocorrência antropogênicos, como portos onde se realiza o fundeio e manutenção de plataformas de óleo e gás. Atualmente, a espécie tem sido registrada em costas do Sudeste, Sul e Nordeste, especificamente em costões rochosos naturais e estruturas artificiais, muitas vezes associada a plataformas de petróleo (CREED *et al.*, 2016, p.11).

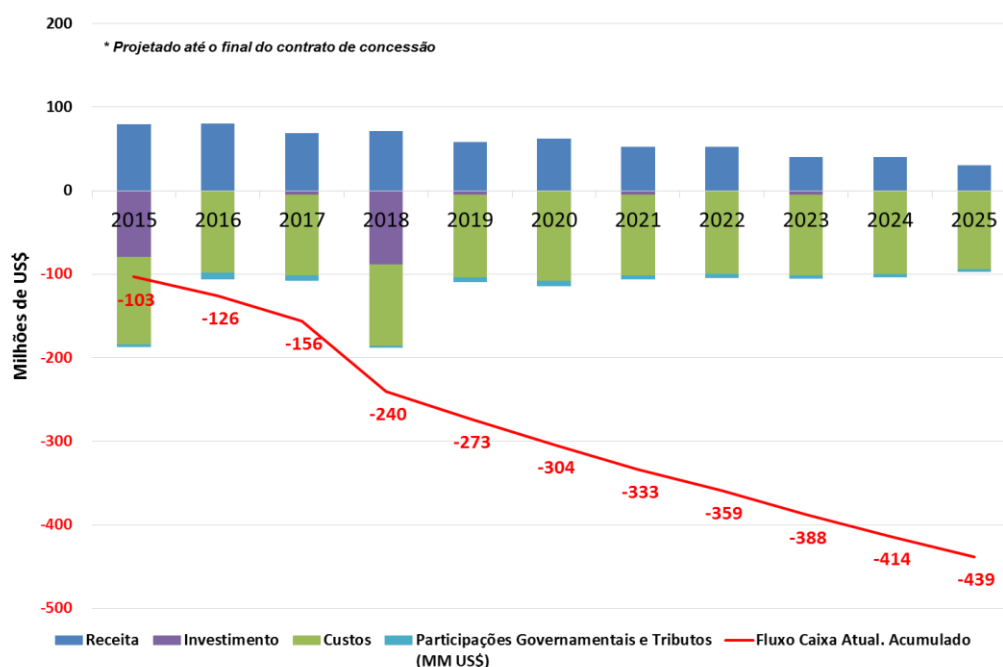
Como características biológicas que determinam o sucesso da macroincrustação por Coral-Sol podemos citar: a reprodução através de larvas de forma sexuada ou assexuada, a ocorrência de *polyp bail-out*, que é o destacamento do pólipos da colônia, com abandono de esqueleto antigo, fixação no substrato e síntese de novo esqueleto, a tolerância à altas

temperaturas e à dessecação, suportando exposição ao ar, sendo também generalistas em termo de substrato podendo ser encontradas em estacas de docas, boias, tetos de cavernas, parte inferior de grandes rochas, naufrágios, diques flutuantes, recifes artificiais, plataforma de petróleo, granito e até cimento. (ICMBio, 2018, p.13).

Romanelli *et al.* (2022, p. 2) explicam que o coral *T. tagusensis* (Ordem Scleractinia) produz um esqueleto de cálcio para proteção contra outros animais, além de toxinas que contribuem para a autodefesa, causando a predação de peixes e de outros organismos, o que constitui um risco para os organismos locais. Contudo, apesar de o Coral-sol ser um vilão para a biodiversidade marinha, há um potencial benéfico para a vida humana, em decorrência da produção de uma substância química com poder farmacológico (tratamento da doença de Chagas, doença que afeta sete milhões de pessoas e ainda não apresenta terapêutica eficaz).

Atualmente ocorre o processo de encerramento da produção de várias plataformas petrolíferas, principalmente na Bacia de Campos, província produtora desde 1977. Em função da baixa produtividade dos poços e dos altos custos operacionais e de manutenção (figura 1) e sem justificativas atrativas para o aporte de investimentos, as operadoras optam pelo descomissionamento como solução de menor impacto econômico. À luz dos princípios da prevenção e precaução, cogita-se a falta de conhecimento técnico sobre o descomissionamento, uma vez que a atividade é relativamente inédita no Brasil. Por esse fato, dúvidas permeiam o mercado, sendo notada a falta de infraestrutura dos estaleiros brasileiros para o atendimento dessa demanda, que se mostra inconstante e relativamente embrionária.

Figura 1 - Projeção Financeira de Petrobras VII



Fonte: Projeto de Descomissionamento de Instalações (PDI) de Petrobras VII (2022. p.17)

É importante destacar que o descomissionamento de plataformas de petróleo deve ser realizado de acordo com as melhores práticas internacionais e considerando a sustentabilidade ambiental. As empresas devem apresentar planos de descomissionamento

detalhados, que incluem estudos técnicos, avaliação de riscos, planos de abandono e monitoramento pós-descomissionamento.

Para a garantia do desenvolvimento sustentável, considerando que é alta a possibilidade de riscos ambientais durante o descomissionamento, Martins (2015, p.18) recomenda que o Brasil deve se apropriar de algumas determinações internacionais, tais como: Convenção de Genebra sobre Plataformas Continentais, 1958; Convenção de Londres, 1972; Convenção das Nações Unidas sobre Direito do Mar (UNCLOS), 1982; *UK Petroleum Act 1998 (Part IV - Abandonment of Offshore Installations)*; Convenção para a Proteção do Ambiente Marinho no Atlântico Norte (OSPAR), 1992 e Decisão 1998; *International Maritime Organization (IMO)*; e *International Oil & Gas Producers Association (OGP)*, sendo estes os principais dispositivos internacionais que tratam a remoção e a desativação de plataformas, estruturas e dutos.

Quanto à legislação cabível ao descomissionamento, Steenhagen (2020, p.33) informa que a Resolução ANP nº 817/2020 e a Resolução ANP nº 46/2016 determinam os principais requisitos e os padrões mínimos de segurança operacional, com foco na preservação do meio ambiente. Na mesma linha, tem-se a Resolução nº 41/2015, que orienta as atividades de descomissionamento de dutos e sistemas submarinos, embora não especifique de forma elucidativa os métodos a serem realizados em tal processo.

No Brasil, em unidades estacionárias de produção *offshore*, responsáveis pela maior parte da produção de petróleo e gás nacional, surge o descomissionamento desses sistemas submarinos após certo tempo de operação. “O procedimento de descomissionamento de plataformas de petróleo concretiza o desenvolvimento sustentável à luz dos princípios da equidade intergeracional, acesso equitativo aos recursos naturais, prevenção e função socioambiental da propriedade” (Agência Nacional de Petróleo, ANP, 2021, p. 9).

É válido lembrar que o término da atividade petrolífera está previsto no § 2º, art. 28, da lei nº 9.478/97, que institui que, em qualquer caso de extinção da concessão, o concessionário deve efetuar a remoção dos equipamentos e bens que não sejam objeto de reversão, sob a obrigatoriedade de reparar ou indenizar os danos decorrentes de suas atividades, efetuando ações para a recuperação ambiental, conforme determinação dos órgãos competentes (BRASIL, 1997).

Sobre as atividades desenvolvidas na plataforma continental, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) representa o órgão que administra o licenciamento, exigindo do empreendedor a publicidade e a realização de audiências públicas. Segundo Machado *et al.* (2013, p.17), o IBAMA deve monitorar o impacto das atividades *offshore* de perfuração e produção de petróleo e gás, avaliando cada processo, como, por exemplo, a perfuração de poços, o descarte de fluidos, o posicionamento das estruturas submarinas de produção e de escoamento e o programa de descomissionamento.

O fundo marinho no entorno da plataforma, onde está localizado o sistema de coleta (linhas submarinas que interligam os poços à plataforma), é constituído, predominantemente, por algas calcárias do tipo granulado, rodolitos e sedimento. Assim, a regulação conduzida pelo IBAMA visa, especialmente, a redução do impacto ambiental sobre as comunidades bentônicas, especialmente as biogênicas, como bancos de rodolitos e corais (ICMBio, 2018, p.11).

Nos rodolitos, convive uma variedade de espécies de suma importância no ecossistema marinho, sendo responsáveis pelo(a): fornecimento de microhabitats e refúgio;

substrato para fixação de algas foliosas; atração sobre organismos herbívoros; base estrutural e cimentação de recifes; absorção de carbono, com participação relevante no ciclo; estoque significativo de carbono do planeta (MMA, 2018, p. 26).

Sousa (2022) e Soares (2022) ressaltam que o descomissionamento pode ajudar a espalhar a espécie invasora em novos ambientes, se a plataforma for transportada na água, antes que os corais sejam retirados ou mortos. Para evitar essa proliferação, recomenda-se o manejo correto e a adoção de técnicas para a limpeza das plataformas.

Quanto aos impactos ambientais decorrentes do Coral-Sol, Soares (2022) informa que os impactos dessa praga biológica marinha se ampliam para as atividades de turismo e pesca, ao serem modificados os tipos e a quantidade de peixes, além de reduzir a atratividade turística, devido à uniformização do ambiente. Sousa (2022, *online*) completa que “o coral-sol tem se espalhado intensamente a cada ano, tanto em ambientes artificiais, como plataformas e embarcações afundadas, como em ambientes naturais”, o que agrava a situação.

2 OBJETIVOS

Este artigo tem como objetivo geral contextualizar a ocorrência, os danos ambientais, o controle e o monitoramento da espécie invasora Coral-Sol (*Tubastraea* spp.) em instalações *offshore* na Bacia de Campos e discutir como esta espécie afeta uma etapa relevante do licenciamento, que é o descomissionamento/abandono da instalação marítima. Especificamente, visa-se analisar as tecnologias de controle, remoção e prevenção dessa macroincrustação, com base nos recentes conhecimentos científicos, disponibilizados em bancos de dados eletrônicos, entre o período de 2010 a 2023.

Para o levantamento e o enfrentamento dessas externalidades busca-se descrever a base legal, os procedimentos adotados e as boas práticas nacionais e internacionais utilizadas pelas operadoras no processo de descomissionamento; discutir a sistemática da gestão ambiental em uma plataforma de petróleo; e identificar quais são os riscos potenciais para o ecossistema marinho no processo de descomissionamento.

Reconhecer que existe uma indissociável relação econômica do bem ambiental com o lucro que pode gerar pode ajudar a sobrevivência do meio ambiente marinho. Ao longo dos anos, a indústria do petróleo está aprendendo a reconhecer e conviver com as externalidades de seus empreendimentos, decorrentes de seus impactos ambientais.

A questão-problema que norteia este estudo é: o que está sendo feito para combater a bioincrustação nas plataformas de petróleo na Bacia de Campos e de que forma isto afeta negativamente o descomissionamento das unidades antigas?

3 METODOLOGIA

Como percurso metodológico, realizou-se uma pesquisa bibliográfica em artigos acadêmicos e em documentos de referência solicitados ao IBAMA, através do SEI – Sistema Eletrônico de Informações do órgão que abordam setores econômicos e ambientais associados aos oceanos, no intuito de analisar a bioincrustação por Coral-sol em plataformas de petróleo, identificando, portanto, os impactos ambientais causados nessa atividade produtiva. Assim, trata-se de uma pesquisa documental e bibliográfica, pois envolve a análise de legislações e

documentos, normas e estudos, além da identificação de artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais (VERGARA, 2016).

Como critérios de inclusão para o recorte temporal, foram selecionados artigos teóricos, ensaios clínicos e/ou estudos de casos publicados nos últimos treze anos (2010-2023), nas plataformas *Scopus* e *Google Scholar* descritos na língua portuguesa e inglesa, que estejam disponíveis na íntegra, contendo especificamente o descomissionamento de plataformas, impactos ambientais e bioincrustação. Também, foram utilizadas legislações e publicações de cunho técnico e jurídico que abordam o assunto descomissionamento/abandono de unidades marítimas.

4 RESULTADOS

De acordo com o IBAMA (2023), o Coral-sol é um tipo de coral que cresce em águas rasas em recifes de coral e costões rochosos tropicais, nativo dos oceanos Pacífico e Índico; agora também é encontrado em águas tropicais do Atlântico. Duas espécies de Coral-sol são encontradas no litoral brasileiro, uma vermelho-alaranjada (*Tubastraea coccinea* – figura 2) e outra amarela (*Tubastraea tagusensis* – figura 3). O Coral-sol foi introduzido acidentalmente no Brasil nas décadas de 1980 e 1990, possivelmente por meio de navios. Agora é encontrado em várias regiões costeiras do Brasil, incluindo Rio de Janeiro, Bahia, São Paulo, Espírito Santo, Santa Catarina e Ceará. Também foi registrado em algumas Unidades de Conservação.

Figura 2 – *Tubastraea coccinea*



Fonte: ICMBio (2023, p.3)

Figura 3 – *Tubastraea tagusensis*



Fonte: ICMBio (2023, p.3)

Ambas as espécies produzem substâncias com propriedades anti-incrustantes e antipredação, além de conterem substâncias alelopáticas que causam necrose em outras espécies de corais, o que contribui significativamente para seu sucesso competitivo (CIRM, 2020, p.4). E por apresentarem vantagens competitivas e favorecidas pela ausência de inimigos naturais, essas espécies ameaçam a permanência das espécies nativas, especialmente em ambientes frágeis e, ou, degradados (MMA, 2018, p.6).

Conforme mencionado, a introdução acidental do Coral-sol no Brasil ocorreu nas décadas de 1980 e 1990, tendo como vetor de introdução os cascos dos navios e como vias de dispersão o comércio marítimo e as plataformas de petróleo na Bacia de Campos, Rio de Janeiro.

Para se tentar controlar a disseminação do Coral-sol pela costa brasileira, “o monitoramento constante de fundos estáveis nas imediações das ocorrências comprovadas do Coral-sol é também uma ferramenta importante para se tentar detectar prematuramente a sua expansão” (CIRM, 2020, p. 15).

Ressalva-se que

Medidas de prevenção e controle da bioinvasão no ambiente marinho é uma questão complexa pelo fato da maioria dos vetores de introdução de espécies aquáticas estarem associados a atividades de grande importância econômica. Portanto, qualquer medida de gestão deve prever avaliações de custo-benefício envolvendo a valoração dos benefícios destas atividades e dos passivos que estas determinam. Além disso, qualquer medida deve considerar praticidade e probabilidade de êxito, e a duração destas ações de resposta (CIRM, 2020, p. 15).

As plataformas de produção de óleo e gás são compostas de estruturas metálicas que podem ser ancoradas (Petrobras VII – figura 4) ou fixadas no leito submarino. Ao longo do tempo, esta estrutura subaquática passa ser habitada por uma cadeia alimentar complexa, formada, sobretudo por animais invertebrados e plantas, além de toda comunidade pelágica em seu entorno.

Figura 4 – Plataforma Semissubmersível Petrobras VII



Fonte: Petrobras (2022). Disponível em:

<https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/bacias/bacia-de-campos.htm>.

Há dois acessos associados à navegação para disseminação da espécie: os cascos dos navios e a água de lastro. De acordo com a Convenção Sobre Diversidade Biológica – CDB, cada país deve estabelecer uma legislação própria para evitar a introdução e controlar e erradicar essas espécies exóticas bioinvasoras. Na mesma linha, são traçados os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), implementados pela Organização das Nações Unidas (ONU), a fim de fundamentar ações (até o ano de 2030) em áreas de importância crucial para a humanidade e para o planeta. No Objetivo 14, tem-se a “conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável” (MMA, 2018, p. 8). Nesse sentido, medidas são instituídas para se evitar a introdução e reduzir significativamente o impacto de espécies exóticas invasoras em ecossistemas terrestres e aquáticos.

As plataformas e outras estruturas associadas à exploração de petróleo consistem nos principais vetores de introdução do Coral-sol (CREED *et al.*, 2016, p.12). Capel *et al.* (2016, p.24) também estudaram a genética e a distribuição de *T. coccinea* e *T. tagusensis* presentes em plataformas de petróleo, monoboias e costões rochosos ao longo da costa do país. De igual

modo, Friedlander *et al.* (2014, p.13) destacaram a importância de plataformas de petróleo como potenciais vetores e “*stepping stones*”, por servirem como substrato para a expansão geográfica do Coral-Sol, enquanto espécie dominante nessas estruturas.

De acordo com o Ibama (2020, p.19), a interação entre os sistemas submarinos e os bancos de algas nas etapas do descomissionamento podem causar sérios impactos, tais como:

- - Supressão de luz (soterramento);
- - Alteração na circulação de água e sedimentação;
- - Supressão de habitat;
- - Redução de biodiversidade;
- - Eliminação de sítios de reprodução/alimentação;
- - Impacto cumulativo de centenas de perfurações;
- - Disseminação de espécies exóticas invasoras;
- - Contaminação por óleo proveniente de vazamento de dutos.

Segundo Destri (2016, p.5) existem inúmeros desafios apresentados em função da presença da espécie bioinvasoras no processo de descomissionamento:

- Não há regulamentação específica para o transporte de unidades marítimas ou equipamentos com bioincrustação na costa brasileira;
- As recentes demandas judiciais e de licenciamento ambiental relacionadas ao Coral-Sol, estão em vias de comprometer a continuidade de atividades de setores que atuam no transporte marítimo no país;
- As demandas implicam em atraso nas operações e aumento de custos;
- O setor precisa de segurança jurídica/licenciamento ambiental para operar;
- É fundamental considerar a dinâmica de operações, limitações e aspectos de custo-efetividade neste tipo de atividade econômica.

Além dos desafios de mover uma estrutura contaminada por uma espécie invasora, as atividades de descomissionamento podem gerar inúmeros impactos como: **destruição de habitats marinhos**, já que a remoção de estruturas submersas pode resultar na destruição de habitats marinhos, como recifes artificiais formados pelas próprias estruturas e bancos de rodolitos e corais; **impactos relacionados aos resíduos e detritos**, pois pode ocorrer o descarte inadequado de materiais e resíduos sólidos, líquidos e materiais tóxicos (estes precisam ser tratados e descartados corretamente); **impactos na qualidade da água e sedimentos**, uma vez que a remoção de estruturas e equipamentos *offshore* pode resultar na liberação de substâncias químicas, óleos e metais pesados na água e nos sedimentos, afetando a qualidade desses ambientes; **impactos na fauna marinha**, mediante barulho, vibrações e atividades de remoção de estruturas, que podem causar perturbações e danos a espécies marinhas, incluindo peixes, mamíferos marinhos e tartarugas.

Diversas tecnologias têm sido utilizadas para combater esta espécie exótica, e alguns métodos de controle incluem o uso de escovas mecânicas, jatos de água de alta pressão e agentes químicos para remover as colônias de coral fixadas nas estruturas. A remoção física manual também pode ser realizada, especialmente em estágios iniciais de infestação. Além disso, medidas de prevenção têm sido adotadas para evitar a colonização do Coral-sol, envolvendo o uso de revestimentos que impedem a fixação e o crescimento do coral, bem como a aplicação de práticas de limpeza regular e inspeções periódicas para detectar e tratar infestações.

As opções de controle de bioincrustação em embarcações abrangem tratamentos para a redução ou remoção da biomassa e apresentam níveis variados de sucesso, podendo haver o uso combinado de tratamentos distintos, em alguns casos. Conforme IPIECA/OGP (2010), para a remoção dos organismos incrustantes em plataformas e outras estruturas relacionadas à exploração do petróleo, recomendam-se: o jateamento com água nas áreas contaminadas; a raspagem dos organismos; a morte por dessecação dos vetores, ou a sua imersão em dique com salinidade oposta à necessidade desses organismos (morte por choque osmótico); e o envelopamento das estruturas (morte por anoxia e inanição). Desse modo, é possível realizar a descontaminação dos vetores de introdução, enquanto técnicas executadas na fase de prevenção de (re) introduções.

Quanto ao processo de limpeza, remoção e prevenção da bioincrustação, inicialmente, evidencia-se a importância do monitoramento constante de fundos estáveis nas imediações das ocorrências comprovadas do Coral-sol, enquanto principal estratégia de detecção precoce, para evitar a sua expansão. Além disso, para o melhor conhecimento dos mecanismos de disseminação da bioinvasoras, devem ser implementados planos de monitoramento e de manejo, sendo estas ações regulares e ininterruptas.

Quanto à adoção de técnicas de manejo, consideram-se diversos fatores, tais como: identificação de espécies, estágio de colonização, local da incrustação (incluindo se a estrutura é natural ou artificial), sensibilidade ambiental da região, eficácia do processo de limpeza, riscos envolvidos com a falta de manejo, riscos do próprio manejo, riscos à vida humana (considerando os interesses público e coletivo), questões técnico-operacionais, e disponibilidade de recursos.

Atualmente, há a tentativa de remoção manual desses corais, contudo, segundo Soares (2022), em altas profundidades e longa distância da costa, torna-se complicado e oneroso controlar e erradicar o Coral-sol. Por essa razão, seria fundamental prevenir, e não buscar remediar/controlar a infestação, como alertado pelo referido professor e especialista.

Uma das ações de controle e prevenção exigidas pelas operadoras que fretam embarcações estrangeiras é o laudo técnico feito periodicamente. A título de exemplificação, cita-se o laudo técnico referente à avaliação da ocorrência de Coral-Sol na embarcação Normand Frontier (figura 5), no qual foram utilizadas imagens ou vídeos da inspeção de classe com mergulho realizada, em agosto de 2021. Teve-se, como objetivo, apresentar a condição do casco da embarcação antes de seu traslado para as Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB), especificamente quanto à possível presença de espécies exóticas invasoras. Devido ao curto período da embarcação na água, o estado de pintura ainda se encontra em boas condições, não tendo sido encontrados pólipos ou colônias de Coral-sol em nenhuma das áreas submersas do casco da referida embarcação. A inspeção contemplou todas as áreas da estrutura submersa do casco, incluindo as áreas nicho. Desse modo, foi garantida uma avaliação completa da atual situação do mesmo em relação à possibilidade de bioincrustações (TRIDENT ENERGY, 2021).

Figura 5 – Embarcação Normand Frontier



Fonte: Relatório Ambiental de Inspeção de Biota Incrustante – SEI – IBAMA (2021)

5 CONCLUSÃO

A partir da análise do plano de controle e monitoramento da bioinvasão do Coral-sol, visou-se fornecer subsídios teóricos para a compreensão dos aspectos técnicos, operacionais e logísticos dos setores associados à proteção do ambiente marinho, entre os quais se destacam os setores portuário, de transporte, de construção naval *offshore*, petróleo e gás e mineração.

Ao serem observadas as tecnologias de controle, remoção e prevenção de macroincrustação existentes e em desenvolvimento, e baseando-se nos melhores conhecimentos científicos, ambientalmente adequadas e exequíveis, constata-se o profundo comprometimento de todas as partes envolvidas na busca por soluções adequadas e possíveis a esse problema nacional e internacional.

Adverte-se que os desafios são grandes, mediante a dimensão dos impactos ambientais que podem estar ocorrendo em toda a costa brasileira. Contudo, atesta-se que já foi dado um passo importante na consonância de informações técnicas e o pensar coletivo, engrandecendo o atual conhecimento sobre a proteção da biodiversidade marítima, de forma integrada e holística.

Os riscos relacionados ao manejo das incrustações podem ser diversos e devem ser cuidadosamente avaliados. Entre eles, destacam-se os riscos ambientais, como a possibilidade de danos à biodiversidade local e aos ecossistemas marinhos. Além disso, é preciso considerar os riscos técnicos e operacionais, relacionados à eficácia das técnicas de limpeza e remoção das incrustações, bem como à possibilidade de danos às estruturas ou equipamentos durante o processo.

Considerando os levantamentos feitos, é necessário avaliar as limitações de tecnologias para a remoção da bioincrustação e a necessidade de capacitação nacional, buscando implementar estratégias de controle e prevenção, custo-efetivas, baseadas no melhor conhecimento científico disponível e diferenciadas, de acordo com o estágio em que se encontra a invasão em cada região.

É preciso contar com diferentes visões científicas, focando na biologia e fisiologia das espécies identificadas na área, mecanismos de dispersão, reprodução e crescimento; adaptação competitiva e interações ecológicas. Além disso, deve ser avaliado o histórico de dispersão geográfica e os registros das espécies, com a finalidade de selecionar as melhores tecnologias e

ferramentas de prevenção, controle e eliminação custo-efetivas em substratos naturais e artificiais.

Como principais limitações, citam-se a adoção de medidas muitas vezes inviáveis e sem eficácia comprovada, que buscam prevenir/mitigar a disseminação do Coral-Sol, mas que ainda ocorre sem equilibrar a maior eficácia e o menor impacto econômico. Também, carece-se de esclarecimentos diante das competências dos órgãos e da regulamentação existente, bem como os princípios isonômicos de sua aplicação e a necessidade de haver paridade entre os entes da Federação, a fim de evitar a adoção de medidas prejudiciais ao desenvolvimento de alguma região. Vale ressaltar que a situação pode se tornar mais grave à medida que os poços de petróleo mais antigos se esgotarem e as plataformas descomissionadas forem removidas sem tratamento prévio.

Nessa perspectiva, merecem reflexão a desativação e a destinação segura de plataformas descomissionadas no Brasil. Mais uma vez, reforça-se a necessidade de uma normatização coordenada em rede, que especifique essa complexa operação, mediante a constatação da baixa experiência brasileira e ampla possibilidade de projetos internacionais. Portanto, o trabalho de descomissionamento de plataformas no Brasil deve ser direcionado de forma cuidadosa e coordenada, levando em consideração diversos aspectos para garantir a desativação segura e a destinação adequada dessas estruturas.

Diante da atual conjuntura, cabe destacar a importância de iniciativas socioambientais, como o "Projeto coral-sol", fundamentados pela ciência, que cumprem um papel fundamental no esclarecimento de questões ambientais, mobilizando a sociedade no que concerne ao conhecimento e experiência adquirida, além de oferecer subsídios à formulação de políticas públicas.

Para contribuir para a conservação da biodiversidade marinha, recomenda-se o desenvolvimento de trabalhos futuros que abordem o mapeamento e o monitoramento da distribuição e da expansão geográfica do Coral-sol no litoral brasileiro. Também, importa verificar alternativas e ações propositivas para enfrentar esse crescente problema da bioinvasão, pois um dos principais impactos socioeconômicos é a queda na produção de renda e nas atividades baseadas no ambiente marinho, como pesca e turismo.

Como todo trabalho resultante da contribuição de vários autores, a presente coletânea apresenta imperfeições, sobreposições de conteúdo, e até mesmo contrassensos. Contudo, pretendeu-se fornecer uma visão geral sobre os processos de bioincrustação e de descomissionamento, por serem temas atuais e de grande relevância social, econômica e ambiental, visando sensibilizar os tomadores de decisão sobre a importância do conhecimento consolidado e organizado sobre técnicas e legislação sobre o assunto no país.

6 REFERÊNCIAS

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2020. **Resolução ANP nº 817 de 24 de abril de 2020**. Dispõe sobre o descomissionamento de instalações de exploração e de produção de petróleo e gás natural. Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br>. Acesso em 22 mar. 2023.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Descomissionamento Offshore no Brasil. Oportunidades, desafios e soluções**. Ano 8, n. 11, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/livros-e-revistas/arquivos/cadernodedescomissionamento.pdf>. Acesso em 11 out. 2022.

BRASIL. **Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997.** Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional de Petróleo e dá outras providências. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1997/lei-9478-6-agosto-1997-365401-publicacaooriginal-1-pl.html>. Acesso em 22 mar. 2023.

BRASIL. **Decreto nº 10.544, de 16 de novembro de 2020.** Aprova o X Plano Setorial para os Recursos do Mar. 2020.

CIRM - Comissão Interministerial para os Recursos do Mar. **Grupo de trabalho “Coral Sol”.** Relatório final. Subcomissão para o Plano Setorial para os Recursos do Mar (PSRM). Andrei Polejack - Coordenador do Grupo de Trabalho Coral-Sol. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC, 2020.

COSTA, B. S. **Introdução de espécies exóticas marinhas por água de lastro no Porto do Rio de Janeiro, Brasil:** um ensaio analítico do potencial de risco. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Oceanografia, 2022. 88 f.

CREED, J. C.; FENNER, D.; SAMMARCO, P.; CAIRNS, S.; CAPEL, K.; JUNQUEIRA, A.O.R.; CRUZ, I.; MIRANDA, R.J.; CARLOS-JUNIOR, L.; MANTELATTO, M.C.; OIGMAN-PSZCZOL, S. **The invasion of the azooxanthellate coral Tubastrea (Scleractinia: Dendrophylliidea) throughout the world: history, pathways and vectors.** Biol Invasions, 2016.

DELGADO, F. **A regulação do descomissionamento de sistemas de produção de petróleo offshore no Brasil: panorama atual e perspectivas para o futuro.** Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2019.

DOALOS - Division of Ocean Affairs and the Law of the Sea/United Nations. **The First Global Integrated Marine Assessment:** World Ocean Assessment I. 2016.

IBAMA. **Sobre o Coral-sol.** Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/biodiversidade/especies-exoticas-invasoras/sobre-o-coral-sol>. Acesso em 17 mai. 2023.

ICMBio. **Plano nacional de prevenção, controle e monitoramento do coral-sol (Tubastrea spp.) no Brasil.** Junho, 2018.

MACHADO, C. J. S.; TEIXEIRA, B. M.; VILANI, R. M. **O processo de licenciamento ambiental e a fase do descomissionamento da indústria do petróleo no Brasil.** In: IX Congresso Nacional de Excelência em Gestão - Rio de Janeiro, 2013.

MARTINS, C. F. **O descomissionamento de estruturas de produção offshore no Brasil.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória - ES, 2015. 43 f.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais. **Diagnóstico sobre a invasão do Coral-sol (Tubastrea spp.) no Brasil.** Renováveis – Ibama. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio, jan., 2018.

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. **The Ocean Economy in 2030.** OECD Publishing. Paris. 2016. 251 p.

PETROBRAS. **Projeto de Descomissionamento da Plataforma Semissubmersível P-07 - PDI.** Resposta ao Parecer Técnico. COPROD/CGMAC/DILIC Nº 401/22. Revisão 00 outubro / 2022.

ROMANELLI, M. M.; AMARAL, M.; THEVENARD, F.; SANTA CRUZ, L. M.; REGASINI, L. O.; MIGOTTO, A. E.; LAGO, J. H. G.; TEMPONE, A. G. Mitochondrial Imbalance of Trypanosoma cruzi Induced by the Marine Alkaloid 6-Bromo-2'-de-N-Methylaplysinopsin. **ACS Omega**, v. 7, n. 32, 2022. p. 28561-28570. DOI: 10.1021/acsomega.2c03395.

TRIDENT ENERGY. **Projeto de Prevenção e Controle de Espécies Exóticas (PPCEX).** Relatório Anual. 2022.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SEI – Sistema Eletrônico de Informações do IBAMA. Acesso em mai 2023. Acesso Público.

SOARES, M. O. Agência UFC: **Coral invasor é identificado em plataforma de petróleo no Ceará.** Espécie pode comprometer vida marinha e prejudicar economia Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR/UFC), 2022.

SOUSA, S. **Estudo identifica presença de coral invasor em plataforma de petróleo no Ceará; espécie pode comprometer vida marinha e prejudicar economia.** Agência UFC. 2022. Disponível em: <https://agencia.ufc.br/estudo-identifica-presenca-de-coral-invasor-em-plataforma-de-petroleo-no-ceara-especie-pode-comprometer-vida-marinha-e-prejudicar-economia/>. Acesso em abr. 2023.

STEENHAGEN, M. M. **A regulação do descomissionamento de instalações marítimas de produção de petróleo e gás e sua relação com a viabilidade dos campos maduros no Brasil.** Rio de Janeiro: ESG, 2020. 68 f.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração.** São Paulo: Atlas, 2016.