

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E AMBIENTAIS
GESTÃO AMBIENTAL**

**A ASSOCIAÇÃO DO BRANQUEAMENTO DE CORAIS DA
COSTA BRASILEIRA COM AS MUDANÇAS
CLIMÁTICAS: UMA SÍNTESE**

**HELOYSIA NATAL MORAES DE
OLIVEIRA**

**DOURADOS/MS
2024**

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E AMBIENTAIS
GESTÃO AMBIENTAL

Heloysa Natal Moraes de Oliveira

**A ASSOCIAÇÃO DO BRANQUEAMENTO DE CORAIS DA
COSTA BRASILEIRA COM AS MUDANÇAS
CLIMÁTICAS: UMA SÍNTESE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado à Faculdade de Ciências
Biológicas e Ambientais da Universidade
Federal da Grande Dourados, como requisito
parcial para a obtenção do título de Bacharel
em Gestão Ambiental.

Orientadora: Professor(a) Rafaela Priscila Ota

Dourados/MS

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

O48a Oliveira, Heloysa Natal Moraes De

A ASSOCIAÇÃO DO BRANQUEAMENTO DE CORAIS DA COSTA BRASILEIRA COM AS
MUDANÇAS CLIMÁTICAS: UMA SÍNTESE [recurso eletrônico] / Heloysa Natal Moraes De Oliveira. -- 2024.
Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Rafaela Priscila Ota.

TCC (Graduação em Gestão Ambiental)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2024. Disponível no
Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Oceano. 2. Recife de Corais. 3. Biodiversidade Marinha. 4. El Niño. 5. Conservação. I. Ota, Rafaela
Priscila. II. Título.

A ASSOCIAÇÃO DO BRANQUEAMENTO DE CORAIS DA
COSTA BRASILEIRA COM AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS:
UMA SÍNTESE

HELOYSA NATAL MORAES DE OLIVEIRA

Esta monografia foi julgada adequada para aprovação na atividade acadêmica específica de Trabalho de Conclusão de Curso, que faz parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Gestão Ambiental pela Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais - FCBA, da Universidade Federal da Grande Dourados.

Apresentado à Banca Examinadora integrada pelos professores:

Documento assinado digitalmente
 **RAFAELA PRISCILA OTA**
Data: 20/07/2024 09:39:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Rafaela Priscila Ota
Orientador(a):

Documento assinado digitalmente
 **MARCIA REGINA RUSSO**
Data: 22/07/2024 12:35:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Márcia Regina Russo
Avaliador(a):

Documento assinado digitalmente
 **JOELSON GONCALVES PEREIRA**
Data: 22/07/2024 09:56:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr. Joelson Gonçalves Pereira
Avaliador(a)

“O coração do homem é muito parecido com o mar, ele tem suas tempestades, suas marés e suas profundezas; ele tem suas pérolas também.”

Vincent Van Gogh.

Agradecimentos

A realização deste Trabalho de Conclusão de Curso foi possível graças ao apoio e incentivo de muitas pessoas, às quais expresso minha mais profunda gratidão.

Primeiramente, a minha orientadora, Rafaela Priscila Ota, pela paciência, orientação, conselhos valiosos e dedicação durante todo o processo de desenvolvimento deste trabalho. Sua experiência e conhecimento foram fundamentais para a realização deste projeto.

Aos meus pais, Regiane e Hoeliton, pela educação, amor e apoio incondicional em todos os momentos da minha vida. Muito obrigado por serem meus maiores apoiadores e por sempre me incentivarem a perseguir meus sonhos. Este TCC é tanto uma conquista minha quanto de vocês, e dedico a vocês este trabalho com todo o meu carinho e gratidão.

Às instituições e professores que contribuíram para a minha formação acadêmica, em especial aos docentes da FCBA pela partilha de conhecimento e apoio ao longo dos anos.

Aos meus colegas de curso, em especial, Chern, Letícia Golpian, Jackeline e Luciana, pela amizade, troca de ideias, apoio mútuo e momentos de descontração que tornaram essa caminhada mais leve e prazerosa. Vocês foram fundamentais para o meu desenvolvimento acadêmico e pessoal, e nossos debates e colaborações tornaram o aprendizado muito mais dinâmico e prazeroso. Sou grata também pelos momentos de descontração e amizade fora do ambiente acadêmico. As risadas, os encontros e o apoio mútuo nos momentos de dificuldade foram essenciais para manter a motivação e a sanidade durante os períodos mais intensos do curso.

À minha melhor amiga Letícia Euflausino, por sempre estar ao meu lado nos meus melhores e piores momentos. Agradeço por todas as conversas, risadas e, especialmente, por todos os momentos em que você acreditou em mim, mesmo quando eu mesma duvidava. Sua confiança foi um pilar de força que me impulsionou a continuar e a dar o meu melhor. Sem você, essa conquista não teria sido possível.

À minha amiga Anna, que compartilha comigo interesses mútuos sobre esse assunto produzido e nunca me deixou desistir, mesmo quando tudo ficou mais difícil. Muito grata por ter você em meu caminho.

À minha família e amigos, que, de forma direta ou indireta, me incentivaram e compreenderam minhas ausências durante os períodos de estudo e elaboração deste trabalho.

E, por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. Meu sincero agradecimento.

RESUMO

Os oceanos possuem papel crucial para o planeta Terra, destacando seus serviços essenciais para a sustentação da vida, como a retenção de calor e a oferta de habitat para inúmeras espécies marinhas. Além disso, os oceanos são vitais para a subsistência humana, fornecendo alimento e outros recursos. No entanto, a governança do oceano enfrenta desafios únicos, especialmente no contexto das mudanças climáticas. Os recifes de corais abrigam uma enorme diversidade de organismos. Contudo, a pressão crescente das atividades humanas têm causado danos significativos a esses ecossistemas. As mudanças climáticas, em particular, são protagonistas na degradação dos recifes de corais, principalmente devido ao aumento da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e à acidificação dos oceanos, resultando no branqueamento de corais. Este estudo explora as ameaças enfrentadas pelos recifes de corais, com foco no branqueamento de corais na costa brasileira. O trabalho sintetiza estudos desde o primeiro registro de branqueamento em massa da costa brasileira até os dias atuais, investigando suas causas e consequências para a biodiversidade marinha e as comunidades humanas dependentes. A metodologia envolveu um levantamento bibliográfico abrangente nas bases de dados científicas Web of Science, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Google Acadêmico e Periódicos CAPES, considerando os anos de 1999 a 2023, selecionando artigos que abordam o impacto do branqueamento de corais e as mudanças climáticas. Informações georreferenciadas e dados de plataformas como Copernicus e NOAA foram utilizados para suportar os objetivos específicos. Foram encontradas cerca de 96 publicações, mas apenas 20 foram consideradas por se alinhar mais ao tema. A frequência e a intensidade do branqueamento de corais têm aumentado, com eventos mais frequentes e severos ao longo do tempo. A influência dos eventos de El Niño, combinada com as emissões antrópicas de CO₂, tem aumentado esses fenômenos. O estudo também destaca as ameaças contínuas de atividades humanas e a necessidade urgente de ações de conservação e mitigação para proteger esses ecossistemas vitais. Este trabalho contribui para a compreensão dos impactos das mudanças climáticas nos recifes de corais e reforça a importância de estratégias eficazes para a preservação da biodiversidade marinha e das comunidades que dela dependem.

Palavras-chave: Oceano, Recifes de corais, El Niño, Biodiversidade marinha, Conservação.

ABSTRACT

The oceans play a crucial role for planet Earth, highlighting their essential services for sustaining life, such as heat retention and providing habitat for numerous marine species. Additionally, oceans are vital for human subsistence, supplying food and other resources. However, ocean governance faces unique challenges, especially in the context of climate change. Coral reefs host a vast diversity of organisms. Nevertheless, the increasing pressure from human activities has caused significant damage to these ecosystems. Climate change, in particular, is a major factor in the degradation of coral reefs, primarily due to rising Sea Surface Temperatures (SST) and ocean acidification, resulting in coral bleaching. This study explores the threats faced by coral reefs, focusing on coral bleaching along the Brazilian coast. The work synthesizes studies from the first recorded mass bleaching of Brazilian coast to the present, investigating its causes and consequences for marine biodiversity and the human communities that depend on it. The methodology involved a comprehensive literature review using scientific databases such as Web of Science, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Google Scholar, and CAPES Journals, considering publications from 1999 to 2023 that address the impact of coral bleaching and climate change. Georeferenced information and data from platforms like Copernicus and NOAA were used to support the specific objectives. Approximately 96 publications were found, but only 20 were considered as they were more aligned with the topic. The frequency and intensity of coral bleaching have increased, with more frequent and severe events over time. The influence of El Niño events, combined with anthropogenic CO₂ emissions, has exacerbated these phenomena. The study also highlights the ongoing threats from human activities and the urgent need for conservation and mitigation actions to protect these vital ecosystems. This work contributes to the understanding of the impacts of climate change on coral reefs and reinforces the importance of effective strategies for preserving marine biodiversity and the communities that depend on it.

Keywords: Ocean, Coral reefs, El Niño, Marine biodiversity, Conservation.

SUMÁRIO

RESUMO.....	4
ABSTRACT.....	5
1. INTRODUÇÃO.....	9
2 OBJETIVOS.....	10
2.1 Objetivo geral.....	10
2.2 Objetivos específicos.....	10
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1 Levantamento de Dados.....	11
3.2 Área de estudo.....	12
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	12
4.1 El Niño.....	16
4.2 CO ₂ na atmosfera e a acidificação dos oceanos.....	16
4.3 Ameaças ao ecossistema marinho e as regiões litorâneas.....	18
4.4 Branqueamento de corais.....	19
4.5 Estado de conservação dos corais.....	26
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	28
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

1. INTRODUÇÃO

O oceano desempenha um papel chave para o planeta Terra desencadeando serviços cruciais para a sustentação da vida (Inissis *et al.* 2017). Como será abordado neste trabalho, ele retém o calor acumulado na atmosfera devido ao aumento das concentrações de gases de efeito estufa retardando o aquecimento da superfície e funciona de habitat para diversas espécies de organismos marinhos. Além disso, tem um papel crucial para a subsistência humana, servindo de alimento para diversas comunidades, entre outras formas de serviços. A governança do oceano apresenta desafios e oportunidades únicas em comparação com os sistemas terrestres, exigindo abordagens distintas diante das mudanças climáticas (IPCC 2019).

Um recife de coral consiste em uma camada viva sobre estruturas calcárias formadas há cerca de 65 milhões de anos, principalmente em regiões tropicais rasas. Os corais que constroem os recifes são cnidários que pertencem aos grupos dos escleractínios, mileporas ou heliopora. Esses corais podem ser simbióticos com zooxantelas, os quais são dinoflagelados da família Symbiodiniaceae, aproveitando os produtos da fotossíntese para construir suas estruturas, ou não simbióticos, sem zooxantelas e, portanto, incapazes de construir recifes (Villaça 2009). A simbiose é uma interação biológica entre duas ou mais espécies diferentes que vivem em estreita associação. O relacionamento entre os corais e as algas zooxantelas é mutualístico, onde ambas as partes se beneficiam (Sapp 2021).

Os recifes de corais abrigam inúmeras espécies de organismos e microrganismos, considera-se os ecossistemas marinhos importantes sistemas de suporte biológico para a Terra (Gaspar *et al.* 2021). Com o crescimento de atividades antrópicas, como a pesca exploratória, uso inadequado do turismo e a expansão de centros urbanos próximos de regiões costeiras (Leão *et al.* 2016), esses ecossistemas são afetados, podendo até obterem danos irreversíveis.

As mudanças climáticas são protagonistas dos danos dos ecossistemas marinhos, principalmente, conduzindo a um aumento da TSM (Temperatura Superficial do Mar) e a acidificação dos oceanos (Leão *et al.* 2016). O aumento da temperatura global pode ser atribuído à emissões de gases de efeito estufa provenientes das atividades antrópicas. O principal gás de efeito estufa liberado pelas atividades humanas inclui o dióxido de carbono (CO₂), o qual teve um grande crescimento desde a Revolução Industrial, devido a queima de combustíveis fósseis (Nobre *et al.* 2017). Dessa maneira, com essa grande produção de gases de efeito estufa, em que os oceanos são aquecidos e acidificados, leva-se ao principal problema relatado neste presente trabalho, o branqueamento de corais.

O El Niño pode ser um intensificador do branqueamento de corais. O El Niño é um evento climático caracterizado pelo aquecimento periódico da Temperatura Superficial do Mar (TSM) no oceano Pacífico equatorial, central e oriental. Esse fenômeno faz parte do padrão climático mais amplo conhecido como El Niño Oscilação Sul (ENSO), que também inclui La Niña, a fase oposta marcada por temperaturas do mar mais frias que a média (Oliveira 2001). Durante os eventos de El Niño há a ocorrência de diversos impactos climáticos, além da mudança de temperatura, como a alteração dos sistemas meteorológicos (Cai *et al.* 2020), e com isso, é possível visualizar os efeitos causados nos recifes de corais, levando ao branqueamento, que será comentado neste presente estudo.

O branqueamento de corais acontece quando há perda de algas zooxantelas, as quais vivem em simbiose com cnidários. Sem essas algas o coral perde sua pigmentação podendo levar até a sua mortalidade (Leão *et al.* 2008). Esse problema ocorre principalmente pelo aquecimento das águas oceânicas e sua acidificação, pois com o aumento da temperatura da água, há expulsão de zooxantelas levando ao seu branqueamento (Gaspar *et al.* 2021).

Há uma série de consequências na perda dos recifes de corais pelo branqueamento, podendo ser prejudicial para diversas espécies marinhas que utilizam esses locais como abrigos e fuga de predadores. Os recifes de corais também servem para a proteção costeira, eles atenuam as tempestades vindas do mar aberto impedindo a erosão do litoral (Eloy *et al.* 2021) e servem como uma barreira natural para que animais de grande porte não cheguem a zonas muito rasas.

Este estudo explora as ameaças enfrentadas pelos recifes de corais, caracterizando a produção bibliográfica acerca desse tema. O foco principal recai sobre o branqueamento de corais, um aspecto cada vez mais recorrente a nível mundial, porém voltado aos recifes da costa brasileira.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar uma síntese de estudos sobre o branqueamento de corais no Brasil, desde o primeiro registro de branqueamento em massa até os dias atuais, quais suas causas e consequências para a biodiversidade marinha e as comunidades dependentes.

2.2 Objetivos específicos

(i) Verificar a influência das mudanças climáticas, especialmente o aumento das concentrações de CO₂ na atmosfera, na frequência e intensidade do branqueamento de corais

da costa brasileira.

(ii) Investigar a relação entre os eventos de El Niño e o branqueamento de corais.

(iii) Verificar se existe um agravamento na frequência e intensidade da TSM e do branqueamento de corais da costa brasileira, temporalmente, através de informações georreferenciadas.

(iv) Verificar o estado de conservação dos corais brasileiros de acordo com os critérios de avaliação da IUCN.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Levantamento de Dados

Inicialmente, foi realizado um levantamento bibliográfico nas bases de pesquisas Web of Science, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Google Acadêmico e Periódicos CAPES. Foram considerados artigos publicados entre os anos de 1999 a 2022. As combinações de palavras utilizadas foram “reef bleaching” e “climate change” e “brazil”, além de “coral bleaching” e “climate change” e “brazil”. A pesquisa foi realizada tanto em inglês quanto em português.

Foram identificadas aproximadamente 96 publicações com as combinações utilizadas. Contudo, apenas 20 artigos, encontrados em periódicos, foram considerados por estarem mais alinhados ao tema em debate. Para essa seleção, foram priorizados os artigos que abordavam temas como os impactos do branqueamento de corais, os efeitos das mudanças climáticas neste ecossistema, as evidências de mortalidade de espécies de corais na costa brasileira, a acidificação do oceano e as espécies com resiliência. Artigos que divergiam dessa temática, concentrando-se em dados matemáticos ou físicos, foram excluídos da análise.

Através do levantamento bibliográfico, foram obtidas informações para os objetivos específicos (i), (ii) e (iv). Para o objetivo específico (iii) foram utilizadas plataformas como o Copernicus para obter dados gráficos sobre a temperatura superficial da terra, o *National Oceanic and Atmospheric Administration* - NOAA para imagens georreferenciadas acerca da TSM e as áreas de alerta de branqueamento de corais da costa brasileira, utilizando a data do dia 1 de maio, a qual se refere ao período do outono, época levemente mais fria. Por fim, para o objetivo específico (v) a *Red List* da *International Union for Conservation of Nature* - IUCN foi consultada para o levantamento de espécies brasileiras de corais e seus estados de conservação. Além das plataformas de dados, foram utilizados relatórios ambientais do *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC para o aprimoramento do estudo.

3.2 Área de estudo

A maioria dos recifes de corais existentes no mundo se situam em regiões tropicais. No Brasil, este ecossistema estende-se por 3.000km ao longo da costa brasileira (Ferreira *et al.* 2013). Os mais admiráveis, se localizam na região Nordeste do país, próximos a linha do Equador (Fig. 1).

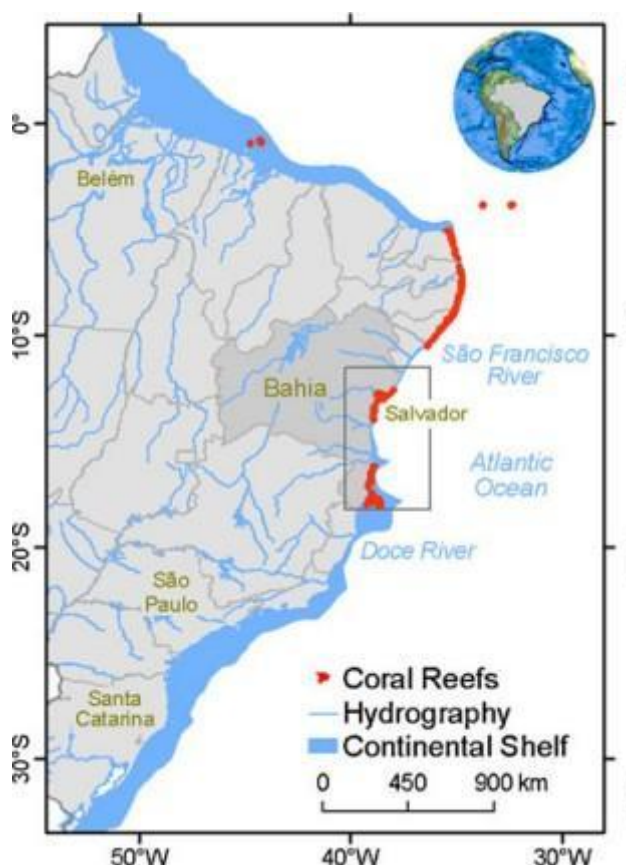


Figura 1: Mapa da costa Leste brasileira mostrando as áreas com a presença de recifes de corais no Brasil. **Fonte:** (Carvalho, 2013).

Todos os estudos sobre recifes de corais são realizados no Nordeste do país, principalmente na região do estado da Bahia e na ilha de Fernando de Noronha. Posto isto, será levado em consideração os recifes encontrados nessa região do país.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado das buscas realizadas no banco de dados da Web of Science, Scielo, Periódicos Capes e Google Acadêmicos foram encontrados 96 artigos e livros relacionados, porém, após a leitura dos resumos, identificou-se que apenas 20 atendiam aos critérios pré-estabelecidos. Os artigos analisados compreenderam o período entre 1999 a 2022, conforme especificado no Quadro 1.

Quadro 1: Lista de artigos analisados que abordavam os seguintes temas: impactos do branqueamento de corais, efeitos das mudanças climáticas neste ecossistema, evidências

de mortalidade de espécies de corais na costa brasileira, acidificação do oceano e espécies com resiliência.

Autor principal	Ano de publicação	Revista	Título
Mark Douglas Spalding	1997	Coral reefs	New estimates of global and regional coral reef areas
Michael J. McPhaden	1999	Nature	The child prodigy of 1997-98
Francisco Kelmo	2001	Bulletin of Marine Science	Cnidarian community structure of coastal reefs from northern Bahia, Brazil
Gilvan Sampaio de Oliveira	2001	Transtec Editorial	El Niño e Você – o fenômeno Climático
Martin J. Attrill	2004	Climate Research	Impact of the 1997-98 El Niño event on the coral reef-associated echinoderm assemblage from northern Bahia, northeastern Brazil
Beatrice P. Ferreira	2006	Ministério do Meio Ambiente	Monitoramento dos recifes de coral do Brasil.
Zelinda M. A. Nery Leão	2008	Biota Neotropica	Branqueamento de corais nos recifes da Bahia e sua relação com eventos de anomalias térmicas

			nas águas superficiais do oceano
Roberto C. Villaça	2009	Interciência	Biologia Marinha: Recifes Biológicos.
Martina de Freitas Prazeres	2012	Journal of Foraminifera Research	Assessment of water quality in coastal water of Fernando de Noronha, Brazil: Biomarker analyses in <i>Amphistegina lessonii</i>
Rafael Cabral Carvalho	2013	Journal of Coastal conservation	ReefBahia, an Integrated GIS approach for coral reef conservation in Bahia, Brazil
Beatrice Ferreira	2013	Coral Reefs	The effects of sea surface temperature anomalies on oceanic coral reef systems in the Southwestern Tropical Atlantic
Ruben van Hooidek	2014	Global Change Biology	Opposite latitudinal gradients in projected ocean acidification and bleaching impacts on coral reefs
Zelinda M. A. N. Leão	2016	Rebentos	Brazilian coral reefs in a period of global change: A synthesis

Carlos A. Nobre	2017	INCT para Mudanças Climáticas	Contribuições do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas
Lorna Inniss	2017	United Nations	The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I
Terry P. Hughes	2018	Science	Spatial and temporal patterns of mass bleaching of corals in the Anthropocene
Guilherme O. Longo	2020	Marine Biodiversity	Coral recovery after a burial event: insights on coral resilience in a marginal reef
Jessica Bleuel	2021	Scientific Reports	Coral distribution and bleaching vulnerability areas in Southwestern Atlantic under ocean warming
Julie C. Sapp	2021	Quarterly review of biology	The symbiotic view of life: We have never been individuals
Christinne Costa Eloy	2021	Environmental Smoke	Dissemination of science and coral reefs conservation at

			Paraíba state, South West Atlantic
Tainá L. Gaspar	2021	Biota Neotropica	Severe coral bleaching of <i>Siderastrea stellata</i> at the only atoll in the South Atlantic Driven by sequential Marine Heatwaves

4.1 El Niño

O evento mais grave do El Niño, em que foi registrado, aconteceu entre os anos de 1997 e 1998 (Mcphaden 1999) com intensa mortalidade de corais apontados em todas as regiões tropicais marinhas (Kelmo 2001). Na região Nordeste do Brasil, especificamente na Bahia, onde se encontra o primeiro parque nacional marinho do Brasil, Parque Nacional de Abrolhos, no ano de 1988 foram registradas condições mais quentes do que o comum, por conta do ENSO, incidindo maior luz ultravioleta nos recifes de corais e resultando em um dos piores branqueamentos já registrados no país (Attrill 2004).

É notório que os eventos de ENSO estão cada vez mais frequentes, isso se deve pelo fato das mudanças climáticas? Estudos da influência das mudanças climáticas na frequência e intensidade do El Niño ainda são muito recentes, mas ao que tudo indica, esse fenômeno se tornará ainda mais grave e recorrente ao longo dos anos (Hughes *et al.* 2018).

4.2 CO₂ na atmosfera e a acidificação dos oceanos

De acordo com o sexto relatório de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, o AR6 da IPCC, em 2019 o CO₂ atingiu 410 partes por milhão (ppm) em concentrações atmosféricas, o que demonstra um aumento de 47% desde 1750. A consequência do aumento das concentrações de CO₂ e de outros gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, podem ser vistas na contribuição destes para as mudanças climáticas, no capítulo 1 do relatório do IPCC “Global Warming of 1.5 °C”, é dado os “valores pré-industriais”, o qual se refere a uma fase inicial de transformações significativas nos sistemas naturais, gerando o aumento de eventos climáticos extremos, como secas e inundações, além do incremento do nível do mar e da perda de biodiversidade (IPCC 2018).

O Copernicus desenvolveu um monitor de tendência de temperatura global, no

qual segue a estimativa de 1.5 °C do IPCC (Fig. 2).

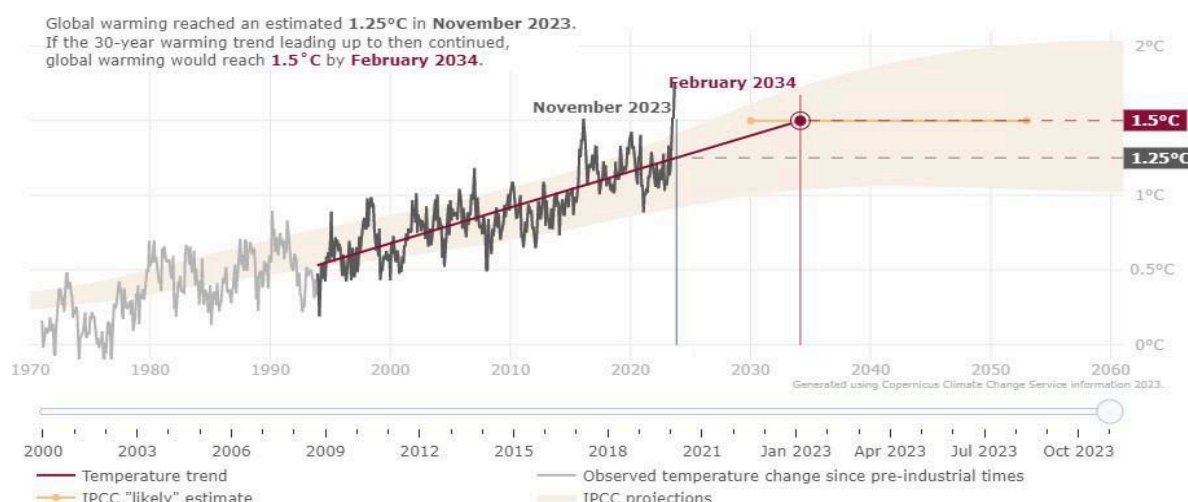


Figura 2. Temperatura global da superfície da Terra desde 1970 até os dias atuais, e uma estimativa para os anos seguintes. **Fonte.** (Copernicus, 2023).

De acordo com a figura 2, em dezembro de 2000 o aumento da temperatura global da superfície da Terra era de 0,70°C, em 10 anos foi atingido 0,89°C, aumentando quase 0,20°C. Atualmente atingimos um aumento de 1,25° C, o que é preocupante por estarmos cada vez mais próximos de atingir 1,5° C da temperatura pré-industrial dada pelo IPCC.

Visto que o oceano absorve cerca de 30% deste CO₂ na atmosfera, o aumento das emissões deste gás é preocupante (IPCC 2023). No capítulo 5 do relatório do IPCC “Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate” é apresentado que a probabilidade da taxa de absorção de calor na parte superior do oceano (0–700 m) ter sido mais elevada durante o período de 1993–2017 é bastante alta em comparação com o intervalo de 1969–1993. O que só enfatiza o aumento de emissões do CO₂ causando, por consequência, o aumento da temperatura superficial da Terra, fazendo com que os oceanos absorvam este calor, e ainda, quando em contato com a água é rapidamente convertido em ácido carbônico (H₂CO₃) acidificando este local, causando grandes prejuízos para a biota marinha.

Os oceanos são naturalmente ácidos, com sua média de pH, em 1750, à 8,2, porém atualmente obteve uma perda de 0,1, atingindo um pH de 8,1, por conta do CO₂ absorvido. O problema desse ganho de acidificação média, mesmo parecendo um percentual sucinto, é que se os oceanos atingirem uma redução da média de pH de 0,3 até o final desse século, a biota marinha experimentará uma acidez similar à de 65 milhões de anos atrás (UNEP, 2010). Projeções indicam que há uma redução prevista de 0,3-0,4 no pH marinho até 2100 (IPCC, 2014), impactando diversas formas de vida neste habitat.

Devido à predominância de carbonato de cálcio nos recifes de corais, um pH mais

baixo e uma menor disponibilidade de carbonato (CO_3^{2-}) podem dificultar a produção desse mineral pelos organismos e aumentar as taxas de dissolução de seus esqueletos (Marques *et al.* 2017).

4.3 Ameaças ao ecossistema marinho e as regiões litorâneas

Os recifes de corais são ameaçados cada vez mais pela pesca exploratória (UNEP, 2010), bastante nocivos para esse ecossistema. Isso afeta toda uma biota, já que eles abrigam uma enorme variedade de espécies de organismos marinhos, alguns endêmicos. Apesar destes locais corresponderem a 0,02% da extensão oceânica (Spalding *et al.* 1997) servem de habitat para cerca de $\frac{1}{4}$ de todas as espécies marinhas (Davidson *et al.* 1998 *apud* Leão 2016). Os recifes de corais são os mais propensos a um estresse térmico, podendo haver mudanças na reprodução, desenvolvimento, crescimento, comportamento e competição de organismos, sendo capaz de afetar a existência de várias espécies (UNEP 2010), levando algumas à extinção.

Adicionalmente, o turismo inadequado consiste em uma das principais ameaças a esses recifes de corais. No Nordeste do país, a recepção de visitantes, principalmente no verão, é muito grande, causando uma série de problemas por atividades como o pisoteio em lugares inadequados, resíduos gerados, mergulhadores descuidados e até ancoragem de barcos em lugares impróprios. Essas atividades turísticas revolvem o ecossistema dos recifes, alguns lugares podem ficar com suas áreas degradadas por puro descuido por parte dos visitantes, estressando peixes dependentes daquele local e mudando todo o funcionamento da biota (Ferreira *et al.* 2006).

A expansão das regiões litorâneas também tem sido bastante problemática nesses últimos tempos, atingindo esses locais indiretamente, com sua demanda aumentando para atender cada vez mais pessoas que residem nessas localizações. A expansão territorial próxima a essas áreas é um grande problema, pois há maior poluição vindo dos centros urbanos, redes de esgoto em lugares inadequados, transporte de sedimentos e a destruição de mangues (Ferreira *et al.* 2006), causando grandes mudanças nos recifes.

Em um estudo apresentado por Marques *et al.* (2017), executado em Porto Seguro, Bahia, é evidenciado que o cobre (Cu) é prevalente no ambiente marinho e é considerado um agente estressor local, sua fonte de contaminação são provenientes, principalmente de esgotos domésticos e efluentes industriais. Já Prazeres *et al.* (2012) apresenta um histórico de branqueamento de corais no arquipélago de Fernando de Noronha em estações próximas a emissários de esgoto externo. Evidenciando a problemática acerca da expansão territorial e a poluição causada em áreas litorâneas.

4.4 Branqueamento de corais

Globalmente, os recifes de corais já sofreram quatro eventos de branqueamento em massa até os anos atuais: (i) 1997–1998, (ii) 2010; (iii) 2015–2017 e (iv) 2019–2020. Ao que tudo indica, esses fenômenos ficaram mais graves e recorrentes (Bleuel *et al.* 2021). A previsão é que esses eventos começarão a ocorrer anualmente antes do ano de 2055 (Hooidek *et al.* 2014), colocando a biodiversidade marinha em risco, pois uma grande quantidade de espécies utilizam como seu habitat, fazendo com que estes fiquem suscetíveis à predação (Cressey 2016).

Muito se é comentado sobre as principais causas que levam a diminuição dos recifes de corais, e desde do primeiro evento de branqueamento em massa na costa brasileira, em 1997–1998, foi demonstrado que é uma junção de influências globais, como o aumento da Temperatura Superficial do Mar (TSM) e a acidificação dos oceanos, além de estresses localizados, como desenvolvimento costeiro, poluição química, eutrofização, aumento da sedimentação e exploração excessiva dos recursos recifais (Prazeres *et al.* 2012).

Há vários programas globais de monitoramento de recifes de corais, neste presente estudo, utilizamos o NOAA. Por meio do NOAA foi possível acessar dados desde 2005 sobre o aumento da Temperatura da Superfície do Mar e de áreas de alerta de branqueamento de corais da costa brasileira, podendo-se ver gradualmente esse aumento de 5 em 5 anos (Figs. 3 a 10). De acordo com as Figuras 3 e 4, o ano de 2005 teve um grande aumento da Temperatura da Superfície do Mar, porém com uma taxa leve de branqueamento de corais em situação alarmante. Não houve ocorrência do *El Niño* neste ano.

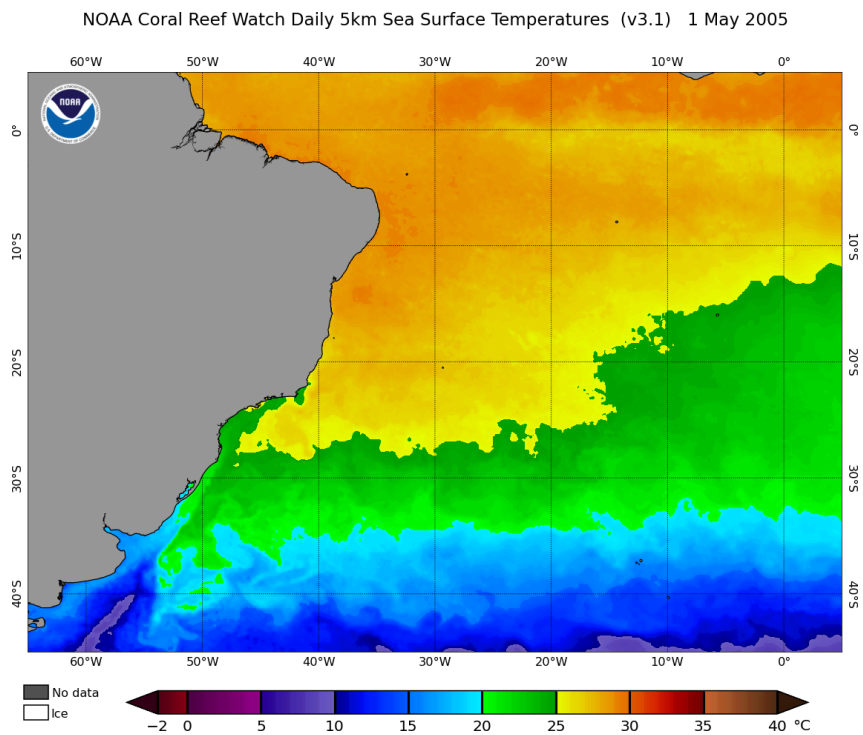


Figura 3. Temperatura da Superfície Do Mar em 1 de maio de 2005. Disponível em: <https://coralreefwatch.noaa.gov/product/5km/index.php>. Fonte. (NOAA, 2024)

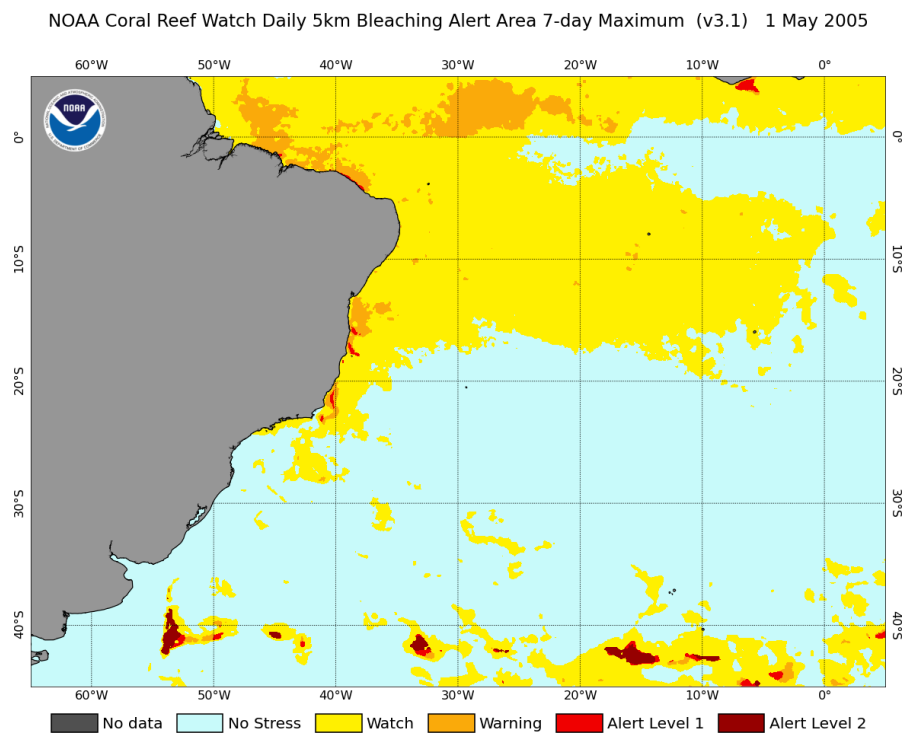


Figura 4. Áreas de alerta de branqueamento de corais em 1 de maio de 2005. Disponível em: <https://coralreefwatch.noaa.gov/product/5km/index.php>. Fonte. (NOAA, 2024).

No ano de 2010, apresentado pelas figuras 5 e 6, houve uma mudança significativa quando comparada à 2005 e a TSM chegou a 35°C em algumas regiões. Assim, houve muita perda de corais, muitos com alerta nível 1 e 2, até em regiões que são consideradas mais frias, localizadas no sudeste do Brasil, houve graus elevados de

branqueamento. O ano de 2010, foi um ano de ocorrência do *El Niño* e com grau “moderado” de acordo com o INPE.

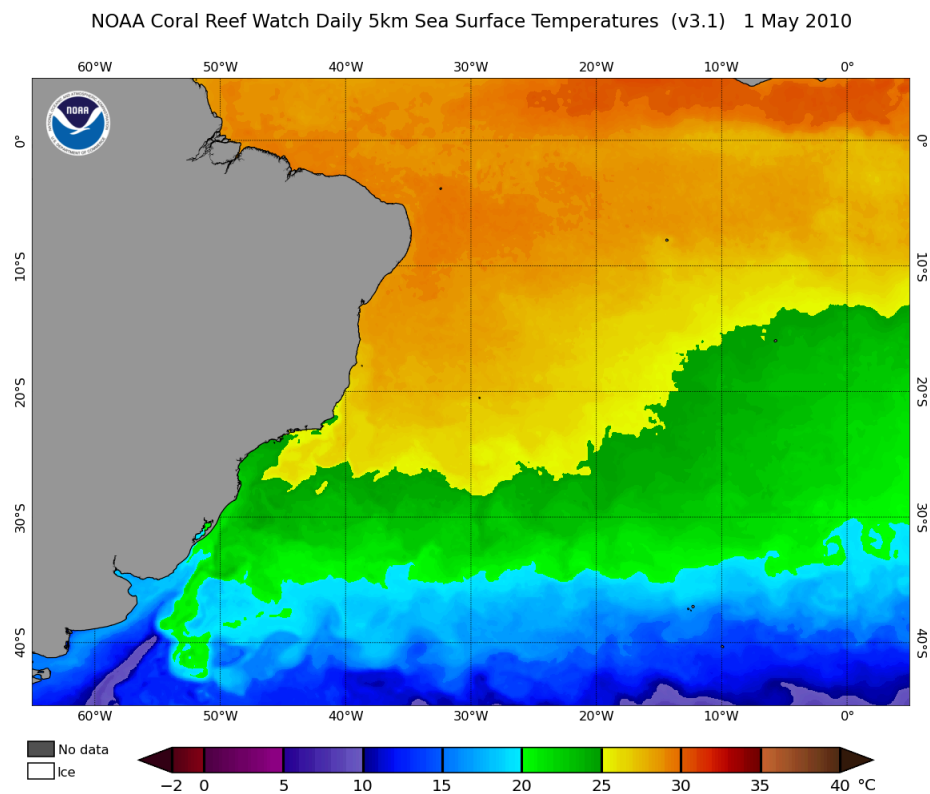


Figura 5. Temperatura da Superfície do Mar em 1 de maio de 2010. Disponível em: <https://coralreefwatch.noaa.gov/product/5km/index.php>. **Fonte.** (NOAA, 2024).

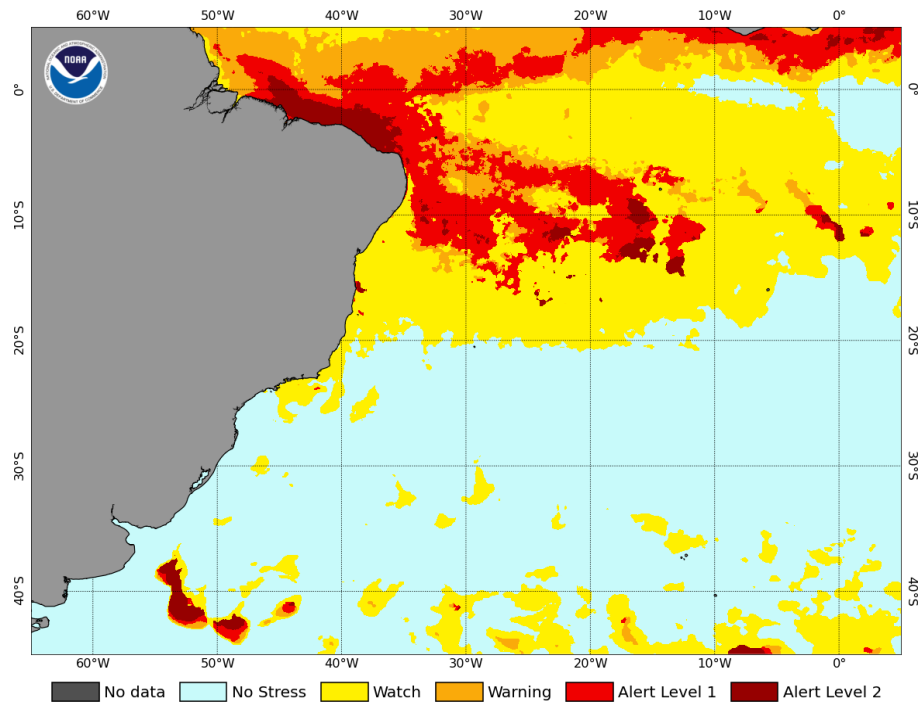


Figura 6. Áreas de alerta de branqueamento de corais em 1 de maio de 2010. Disponível em: <https://coralreefwatch.noaa.gov/product/5km/index.php>. Fonte. (NOAA, 2024).

Em 2015, representado pelas figuras 7 e 8, a TSM estava relativamente menor que no ano de 2010, os índices de branqueamento de corais também estavam baixos, apenas na região sudeste que observamos recifes de corais com graus de alerta nível 1 e 2. Em 2015 também foi um ano de ocorrência do *El Niño* com grau “moderado” de acordo com o INPE.

NOAA Coral Reef Watch Daily 5km Sea Surface Temperatures (v3.1) 1 May 2015

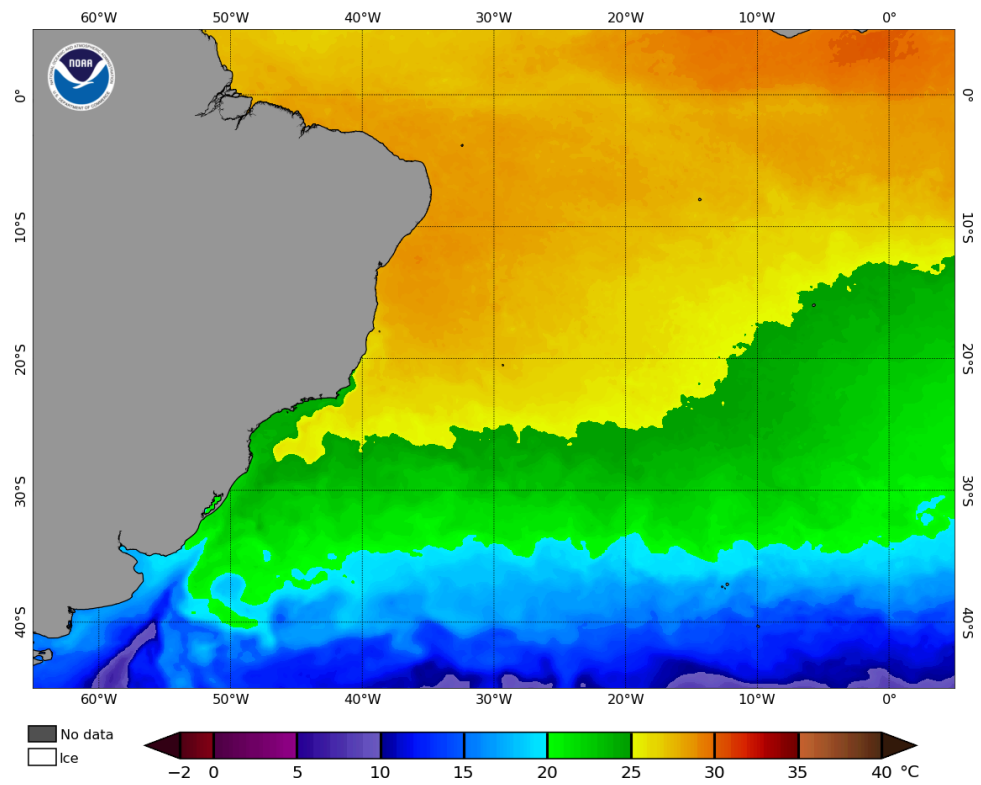


Figura 7. Temperatura da Superfície do Mar em 1 de maio de 2015. Disponível em: <https://coralreefwatch.noaa.gov/product/5km/index.php>. **Fonte.** (NOAA 2024).

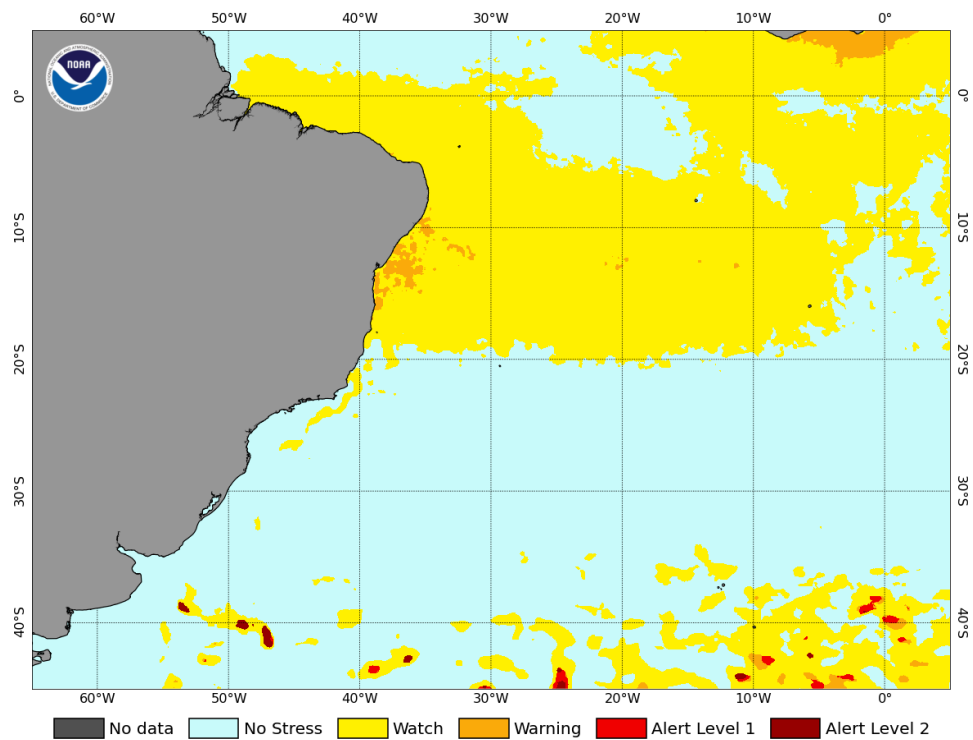


Figura 8. Áreas de alerta de branqueamento de corais em 1 de maio de 2015. Disponível em: <https://coralreefwatch.noaa.gov/product/5km/index.php>. Fonte. (NOAA 2024).

Em 2020 (Figura 9 e 10), presenciamos uma situação mais alarmante, a TSM chegou a 35 °C em algumas regiões assim como em 2010, porém os registros de branqueamento de corais foram muito mais estarrecedores, a região nordeste de Brasil obteve muitos corais com alerta nível 2, assim como em algumas regiões do sudeste do país.

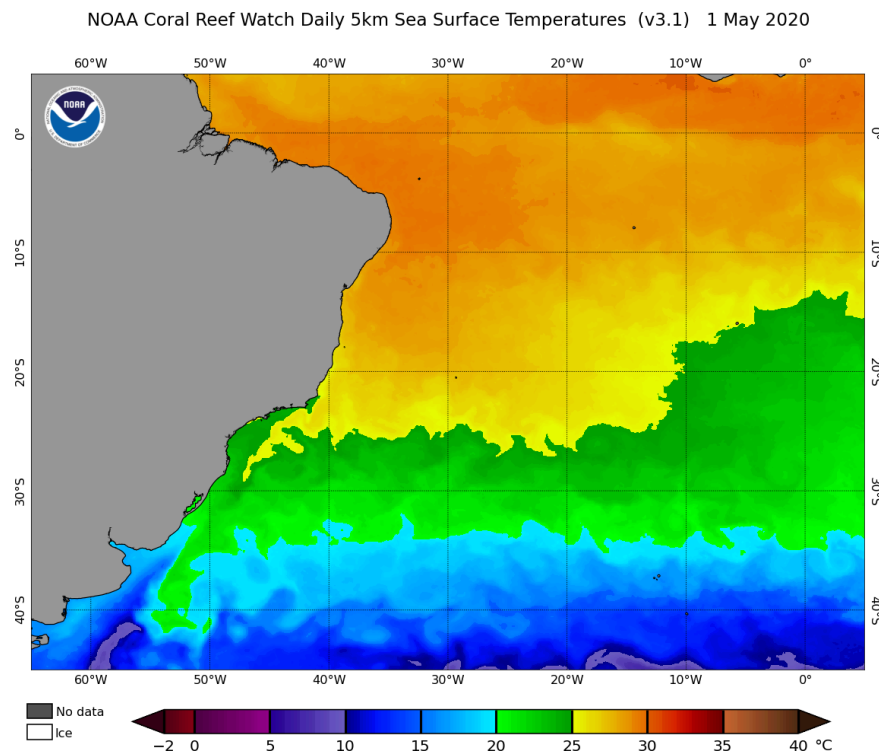


Figura 9. Temperatura da Superfície do Mar em 1 de maio de 2020. Disponível em: <https://coralreefwatch.noaa.gov/product/5km/index.php>. Fonte. (NOAA 2024).

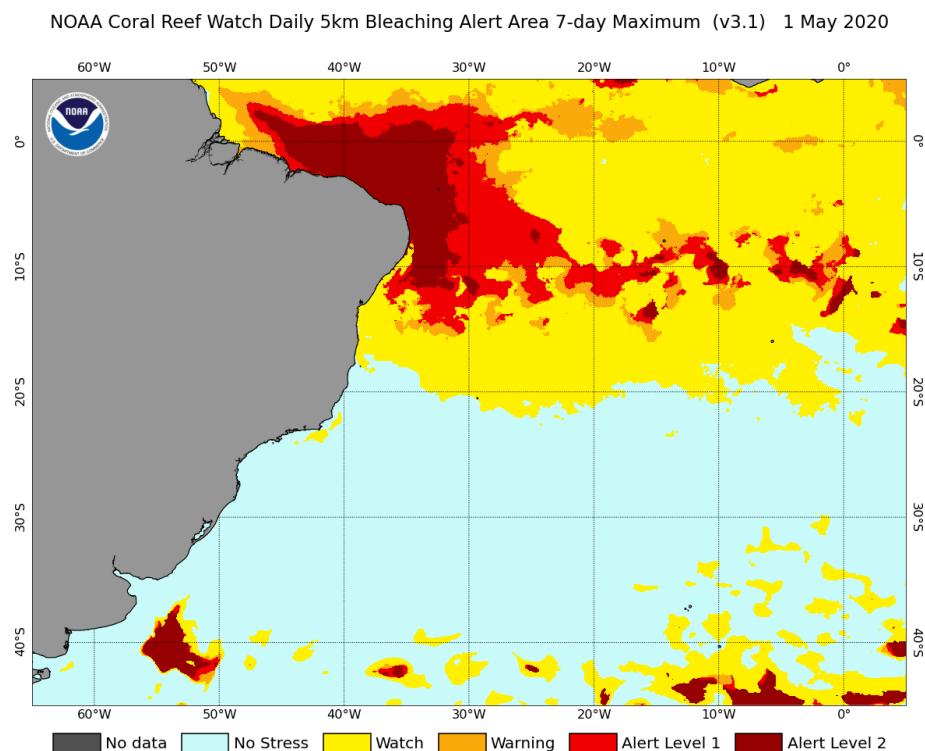


Figura 10. Áreas de alerta de branqueamento de corais em 1 de maio de 2020. Disponível em: <https://coralreefwatch.noaa.gov/product/5km/index.php>. Fonte. (NOAA 2024)

É possível analisar, que entre 2005 e 2020, apenas 15 anos em questão, a Temperatura da Superfície do Mar não obteve uma maior mudança, atingindo em seu auge uma média de quase 35° C em algumas regiões, porém a quantidade de recifes de corais em estado de alerta, entre esse intervalo de tempo estudado, chega a ser preocupante. Em 2020

foi um dos anos que mais houve branqueamento de corais no Brasil, e não se obteve registros de *El Niño*, o que demonstra que o CO₂ em altas quantidades na atmosfera combinado com a acidificação do oceano são os principais causadores do branqueamento (Bleuel *et al.* 2021). Logicamente, o fenômeno *El Niño* amplifica os efeitos negativos, porém ele não trabalha sozinho, há uma interação entre o natural e o antrópico para que ocorra o branqueamento.

A junção da alta TSM com o baixo pH das águas marinhas, faz com que os corais expulsem suas zooxantelas, nas quais vivem em simbiose, causando sua morte (Gaspar *et al.* 2021), o problema acontece se houver um branqueamento em massa, pois além de desestabilizar todo o ecossistema marinho, regiões litorâneas estarão em risco. Os recifes de corais servem como uma proteção costeira para que tempestades que ocorrem em mar aberto não cheguem com grande impulso no litoral (Eloy *et al.* 2021). Se houver casos de branqueamento em massa, consequentemente uma mortalidade abundante, regiões litorâneas sofrerão com grandes erosões causadas pelas ondas, tempestades mais severas, além de uma grande perda da biodiversidade marinha.

Em um estudo realizado por Longo (2020), foi demonstrado que os recifes de corais da costa brasileira são significativamente mais resilientes em comparação aos recifes de outras partes do mundo, mostrando uma capacidade maior de recuperação após eventos de branqueamento. No entanto, é importante destacar que eventos de branqueamento tendem a se tornar cada vez mais frequentes e intensos, o que reforça a necessidade de um monitoramento constante para evitar perdas maiores.

4.5 Estado de conservação dos corais

Para verificarmos o estado de conservação dos recifes de corais, utilizamos o trabalho da IUCN (União Internacional para a Conservação da Natureza) que envolve a avaliação da estabilidade das espécies e a defesa de práticas de desenvolvimento sustentável. Uma das contribuições mais conhecidas da IUCN é o desenvolvimento e manutenção da Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da IUCN, que fornece informações sobre o estado de risco de extinção global de várias espécies de plantas e animais. Sua classificação está dividida em NE (não avaliada), DD (dados deficientes), LC (menos preocupante), NT (quase ameaçada), VU (vulnerável), EN (em perigo), CR (criticamente em perigo), EW (extinta na natureza) e EX (extinta). A partir da Lista Vermelha foi possível a avaliação do estado de conservação de 19 espécies de corais, de acordo com o Quadro 2.

Quadro 2: Informações do estado de conservação de 19 espécies de corais da costa do Nordeste brasileiro, de acordo com dados da Lista Vermelha de espécies avaliadas pela União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN).

Nome Científico	Nome Popular	Classificação da IUCN
<i>Agaricia fragilis</i>	Coral pires frágil	LC
<i>Agaricia humilis</i>	Coral de alface	CR
<i>Favia fragum</i>	Coral bola de golfe	LC
<i>Favia gravida</i>	—	LC
<i>Madracis asperula</i>	Coral lápis pontiagudo	LC
<i>Madracis decactis</i>	Coral estelar de dez raios	CR
<i>Meandrina braziliensis</i>	Coral rosa brasileiro	CR
<i>Montastraea cavernosa</i>	Coral estrela cavernoso	LC
<i>Mussismilia braziliensis</i>	Coral cérebro da Bahia	CR
<i>Mussismilia harttii</i>	Coral cerebral	EN
<i>Mussismilia hispida</i>	—	VU
<i>Mussismilia leptophylla</i>	—	CR
<i>Porites astreoides</i>	Coral colina mostarda	LC
<i>Porites branneri</i>	Coral crosta azul	NT
<i>Scolymia cubensis</i>	Coral alcachofra	CR
<i>Scolymia wellsi</i>	Coral disco solitário	VU
<i>Siderastrea radians</i>	Coral starlett menor	LC

<i>Siderastrea stella</i>	Estrela brasileira	LC
<i>Stephanocoenia intersepta</i>	Coral estrela corado	NT

De acordo com a IUCN, as espécies que apresentam a classificação de CR, EN e VU, estão na linha de ameaça e necessitam de uma maior visibilidade para aumentar seus cuidados. Como visualizado no quadro 2, nove das dezenove espécies listadas, estão nessa linha de ameaça, o que enfatiza a urgência e a necessidade de aumentar a visibilidade e os cuidados destinados a essas espécies.

Em 2013, foi criado no Brasil o Projeto de Lei 6.969/2013, que estabelece a Política Nacional para a Conservação e o Uso Sustentável do Bioma Marinho Brasileiro (PNCMar). Essa política tem como objetivos promover o uso equilibrado, eficiente, compartilhado e sustentável dos recursos e ecossistemas marinhos, além de garantir a conservação da biodiversidade e de espaços territoriais marinhos especialmente protegidos para o desenvolvimento sustentável, o avanço científico e a melhoria da qualidade e integridade do ambiente marinho brasileiro (PL 6.969/2013). No entanto, até hoje, o projeto ainda está em tramitação no Senado e não foi aprovado. O Brasil não possui uma política pública específica para a conservação desse ecossistema, o que torna crucial a conscientização sobre as espécies ameaçadas e a implementação de medidas de conservação mais robustas para garantir sua sobrevivência a longo prazo.

5 CONCLUSÃO

As considerações finais deste estudo destacam a complexidade e a interconexão de fatores que ameaçam os recifes de corais, como eventos climáticos (El Niño) e mudanças climáticas induzidas pela atividade humana. Eventos como El Niño catalisam o branqueamento dos corais, evidenciado pelo evento severo de 1997-1998 e o de 1988 no Parque Nacional Marinho de Abrolhos.

O aumento das concentrações de CO₂ e a subsequente acidificação dos oceanos também ameaçam a biodiversidade marinha. Além disso, a pesca exploratória, turismo inadequado, expansão territorial e poluição (ex.: cobre em Porto Seguro, Bahia) demonstram a vulnerabilidade dos recifes. O branqueamento de corais, exacerbado por altas temperaturas e baixo pH, representa um desafio significativo, afetando tanto os ecossistemas marinhos quanto a proteção costeira.

A avaliação do estado de conservação dos recifes, utilizando a metodologia da IUCN,

ênfatisa a importância de práticas sustentáveis e medidas eficazes de conservação. A preservação dos recifes de corais requer esforços coletivos para mitigar os impactos climáticos e adotar práticas sustentáveis, garantindo sua resiliência e sobrevivência futura.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, M. R., *et al.* **Framing and Context. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.** Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press, p. 49-92, 2018.

Attrill M. J.; Kelmo F.; Jones M. B. **Impact of the 1997–98 El Niño event on the coral reef-associated echinoderm assemblage from northern Bahia, northeastern Brazil.** *Clim Res*, v. 26, p. 151-158, 2004.

Bindoff, N. L. *et al.* **Changing Ocean, Marine Ecosystems, and Dependent Communities. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate.** Cambridge, UK and New York, NY USA: Cambridge University Press, p. 447-587, 2019.

Bleuel, J.; Pennino, M. G.; Longo, G. O. **Coral distribution and bleaching vulnerability areas in Southwestern Atlantic under ocean warming.** *Sci Rep*, v. 11, p. 1-12, 2021

Carvalho, R. C.; de Kikuchi, R. K. P. **ReefBahia, an integrated GIS approach for coral reef conservation in Bahia, Brazil.** *J Coast Conserv*, v. 17, p. 239-252, 2012.

Copernicus Climate Change. Disponível em: climate.copernicus.eu/. Acesso em: 07/01/2024.

Cressey, D. **Coral crisis: Great Barrier Reef bleaching is “the worst we’ve ever seen”.** *Nature*, 2016. Disponível em: www.nature.com/articles/nature.2016.19747. Acesso em: 07/01/2024.

Eloy, C. C.; França H. E. C.; Massei K. **Dissemination of Science and Coral Reefs Conservation at Paraíba State, South West Atlantic.** *Environ Smoke*, v. 4, p. 45-52, 2021.

Ferreira, B.; Maida M. **Monitoramento dos recifes de corais do Brasil.** Brasília, DF:

MMA, 250 p., 2006.

Ferreira, B. P. *et al.* **The effects of sea surface temperature anomalies on oceanic coral reef systems in the southwestern tropical Atlantic.** Coral Reefs, v. 32, p. 441-454, 2013.

Gaspar, T. L. *et al.* **Severe coral bleaching of *Siderastrea stellata* at the only atoll in the South Atlantic driven by sequential Marine Heatwaves.** Biota Neotrop, v. 21, 2021.

Hughes, T.P. *et al.* **Spatial and temporal patterns of mass bleaching of corals in the Anthropocene.** Science, v. 359, p. 80-83, 2018.

Inniss, L.; Simcock A. **The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I.** Cambridge: Cambridge University Press, 1752 p., 2017.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. ***El Niño*, Últimas Ocorrências.** Disponível em enos.cptec.inpe.br/~renos/misc/el_nino.html Acesso em: 29/03/2023.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Synthesis Report.** Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer]. Geneva, Switzerland: IPCC, 151 p., 2014.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report.** Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero]. Geneva, Switzerland: IPCC, p. 35-115, 2023

IUCN - International Union for Conservation of Nature. **The IUCN Red List of Threatened Species.** Disponível em: www.iucnredlist.org. Acesso em: 05/02/2024.

Kelmo, F.; Attrill, M. J. **Cnidarian community structure of coastal reefs from northern Bahia, Brazil.** Bull Mar Sci, v. 69, p. 547-557, 2001.

Leão, Z. M. A. N.; Kikuchi R. K. P.; Oliveira M. D. M. **Branqueamento de corais nos recifes da Bahia e sua relação com eventos de anomalias térmicas nas águas superficiais do oceano.** Biota Neotrop, v. 8, p. 69-82, 2008.

Leão, Z.M.A.N. *et al.* **Brazilian coral reefs in a period of global change: A synthesis.** Braz J Oceanogr, v. 64, p. 97-116, 2016.

Longo, G. O.; Correia, L. F. C.; Mello, T. J. **Coral recovery after a burial event: insights on coral resilience in a marginal reef.** Mar. Biodivers, v. 50, p. 92, 2020.

Marques, J. A.; de Barros M. L. F.; Bianchini, A. **Combined effects of sea water acidification and copper exposure on the symbiont-bearing foraminifer *Amphistegina gibbosa*.** Coral Reefs, v. 36, p. 489-501, 2017.

McPhaden, M. **The child prodigy of 1997-98.** Nature, v. 398, p. 559-561, 1999.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. **NOAA Coral Reef Watch.** Disponível em: coralreefwatch.noaa.gov/. Acesso em: 06/01/2024.

Nobre, C. A.; Marengo J. A. **Mudanças Climáticas em Rede Um olhar interdisciplinar: Contribuições do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas.** São José dos Campos, SP: INCT, 608 p., 2017.

Oliveira, G. S. **O El Niño e Você – o Fenômeno Climático.** São José dos Campos, SP: Editora Transtec, 116 p., 2001.

PL 6.969/2013. Política Nacional para a Conservação e o Uso Sustentável do Bioma Marinho Brasileiro (PNCMar). 2013. Disponível em: www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1214143&filename=PL+6969/2013 . Acesso em: 11/07/2024.

Prazeres M. F.; Martins S. E.; Bianchini A. **Assessment of water quality in coastal waters of Fernando de Noronha, Brazil: biomarker analyses in *Amphistegina lessonii*.** J Foraminiferal Res, v. 42, p. 56-65, 2012.

Sapp, J. **The symbiotic view of life: We have never been individuals.** Q Rev Biol, v. 96, ed.2, p. 73-88. 2021.

Spalding, M. D.; Grenfell, A. M. **New estimates of global and regional coral reef areas.** Coral Reefs, v. 16, p. 225-230. 1997.

UNEP - United Nations Environment Programm. **UNEP Emerging Issues: Environmental Consequences of Ocean Acidification: A Threat to Food Security.** 2010. Disponível em: wedocs.unep.org/20.500.11822/25399. Acesso em: 21/03/2023.

Van Hooijdonk, R. *et al.* **Opposite latitudinal gradients in projected ocean acidification and bleaching impacts on coral reefs.** Glob Chang Biol, v. 20, p. 103-112, 2014.

Villaça, R. C. **Biologia Marinha:** Recifes Biológicos. Interciência, ed. 2. p. 399-420. 2009.