



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
CURSO DE OCEANOGRAFIA**

ITALO CESAR CAMELO SOARES LIMA

**BRANQUEAMENTO DE CORAIS E MUDANÇAS AMBIENTAIS: ESTUDO DE
CASO DE 3 ANOS NO ATLÂNTICO EQUATORIAL**

**FORTALEZA
2015**

ITALO CESAR CAMELO SOARES LIMA

BRANQUEAMENTO DE CORAIS E MUDANÇAS AMBIENTAIS: ESTUDO DE CASO
DE 3 ANOS NO ATLÂNTICO EQUATORIAL

Monografia apresentada ao Curso de graduação em Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares.

FORTALEZA

2015

Página reservada para ficha catalográfica que deve ser confeccionada após apresentação e alterações sugeridas pela banca examinadora.

Para solicitar a ficha catalográfica de seu trabalho, acesse o site: www.biblioteca.ufc.br, clique no banner Catalogação na Publicação (Solicitação de ficha catalográfica)

ITALO CESAR CAMELO SOARES LIMA

BRANQUEAMENTO DE CORAIS E MUDANÇAS AMBIENTAIS: ESTUDO DE CASO
DE 3 ANOS NO ATLÂNTICO EQUATORIAL

Monografia apresentada ao Curso de graduação em Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Helena Matthews-Cascon
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres Teixeira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

AGRADECIMENTOS

À FUNCAP, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de iniciação científica, pelo Programa PIBIC-UFC.

Ao CNPq pelo apoio no Edital Universal 2012 (Processo 479198/2012-8) que propiciou o financiamento desta pesquisa e também pelo apoio no Ciências sem Fronteiras/ Graduação Sanduíche no Exterior – SWG – Canadá – CBIE – 120/2012 (Processo 241172/2012-8) que propiciou o financiamento do intercambio que possibilitou meu estágio na área de ecologia marinha no Canadá contribuindo para minha formação.

Ao Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares, pela excelente orientação e amizade. Tenho muito a agradecer a ele pelos conselhos e incentivos passados.

Aos professores participantes da banca examinadora Helena Matthews-Cascon e Carlos Eduardo Peres Teixeira pela disponibilidade de tempo para analisar este documento, pelas valiosas colaborações e sugestões.

À minha namorada e amiga Priscila, pela grande ajuda e torcida. Agradeço muito a ela por sempre acreditar no meu potencial e por estar presente em todos os momentos.

A todo o pessoal do Laboratório de Plâncton, em especial as minhas amigas Nívia, Carol, Erika, pela torcida e pelos diversos momentos de descontração e aprendizado.

A todo o pessoal do Laboratório de Zoobentos, pela grande amizade, torcida e ajuda nos primeiros passos na área de pesquisa.

A todos os meus amigos de curso, pela grande amizade e momentos bons.

“Everything that has a beginning has an end, Neo”
Agent Smith (2003)

RESUMO

A biodiversidade e complexidade dos recifes coralíneos é notável nos ambientes marinhos tropicais. Entretanto, a degradação dos recifes devido impactos locais e as mudanças climáticas tem sido extensamente confirmada. Apesar da importância socioeconômica e ecológica, os recifes do Atlântico Equatorial têm um conhecimento insuficiente sobre a relação do branqueamento de corais e as mudanças ambientais. Estes recifes têm peculiaridades como temperaturas altas e constantes, águas comumente turvas, ventos de alta velocidade, sedimentação e espécies de corais resilientes. Com base neste contexto teórico, buscou-se realizar um monitoramento do branqueamento de corais e analisar a relação com fatores ambientais como Temperatura da Superfície do Mar (TSM), velocidade dos ventos, profundidade e insolação. A coleta de dados foi realizada em um recife localizado na costa semiárida do Brasil (Ceará, Nordeste). Os dados de branqueamento foram coletados com mergulho autônomo ao longo de 3 anos, sendo utilizado um método de fotoquadrat em diferentes profundidades (2m, 4m e 6m). Os resultados sugerem que o ambiente recifal é constituído de uma assembleia monotípica de colônias jovens do coral *Siderastrea stellata*; espécie altamente resiliente a temperatura, turbidez e sedimentação. No período analisado (2013-2015) não ocorreram anomalias significativas na TSM. Apesar disso, registrou-se branqueamento ao longo de todo o ano, porém com taxas variáveis (44,3%-84,34%). Isto denota que a área está submetida a estresse crônico de fatores ambientais. Um evento principal de branqueamento de maior intensidade está situado no primeiro semestre (maio e junho). Este evento está associado ao aumento na TSM e a queda na velocidade dos ventos, o que aumenta a transparência da água, e conseqüentemente, aumenta a exposição à radiação solar, principalmente na zona rasa (2m de profundidade). Próximo ao fim de cada ano (outubro a dezembro) tem-se um aumento das taxas de branqueamento. Possivelmente está associado à redução da nebulosidade e da turbidez, o que aumenta a exposição à insolação. Pode-se concluir que os fatores insolação e TSM podem atuar como fatores causais nos eventos de branqueamento. A turbidez, a nebulosidade, a profundidade e o aumento da velocidade dos ventos (ao aumentar a turbidez) podem agir atenuando os efeitos negativos da insolação. Na literatura a turbidez normalmente é ligada a fatores deletérios nos corais, incluindo aumento do branqueamento. Os resultados inéditos demonstram que a resiliência dos corais da costa semiárida gera respostas diferenciadas do branqueamento a fatores ambientais, em comparação a outros ambientes recifais situados em regiões tropicais do mundo.

Palavras-chave: *Siderastrea stellata*. Turbidez. Temperatura.

ABSTRACT

Biodiversity and complexity of reef-building corals is remarkable in tropical marine environments. However, the degradation of reefs by local impacts and climate change has been widely confirmed. Despite the socio-economic and ecological importance, the reefs of the Equatorial Atlantic have insufficient knowledge about the relationship between coral bleaching and environmental changes. These reefs have peculiarities as high and constant temperatures, often murky waters, occurrence of high wind speeds, sedimentation and the occurrence of species of resilient corals. Based on this theoretical context, it sought to carry out a monitoring of coral bleaching and analyze the relationship with environmental factors such as sea surface temperature (SST) wind speed, depth and insolation. Data collection was performed in a reef environment located in semi-arid coast of Brazil (Ceara, Northeastern). Bleaching data were collected with scuba diving over 3 years a fotoquadrat method being used at different depths (2m, 4m and 6m). The results suggest that the reef environment under analysis consists of a monotypic assembly of young colonies of the coral *Siderastrea stellata*; species to be highly resilient to temperature, turbidity and sedimentation. In the analyzed period (2013-2015) did not occur anomalies in SST. Nevertheless, there was bleaching throughout the whole year, but with variable rates (44.3% -84.34%). This denotes that the area is subjected to chronic stress of environmental factors. A more intense bleaching main event is situated in the first semester (May and June). This event is associated with an increase in the SST and the drop in wind speed, which increases the transparency of the water and consequently increases the exposure to solar radiation, mainly in the shallow zone (2m deep). Near the end of each year (October-December) has been an increase in bleaching rates. Possibly it is associated with reduced cloudiness and turbidity, which increases the exposure to insolation. It can be concluded that the solar radiation and SST factors may act as causative factors in bleaching events. The turbidity, cloudiness, depth and increased wind speed (by increasing turbidity) can act mitigating the negative effects of insolation. In literature the turbidity is usually connected to deleterious factors in corals, including increased bleaching. The new results show that the resilience of the semi-arid coast coral of bleaching generates different responses to environmental factors compared to other reef environments set in tropical regions of the world.

Keywords: *Siderastrea stellata*. Turbidity. Temperature.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Base de dados mundiais com a ocorrência de eventos de branqueamento. Seta indica a ausência de dados para o Atlântico Equatorial; área de estudo da pesquisa.	15
Figura 2 — Esquema conceitual das assembleias de corais escleractíneos em relação à entrada de sedimento, turbidez e nutrientes.	16
Figura 3 — Mapa mostrando a localização da área de estudo.	19
Figura 4 — Imagem de satélite da área de estudo dando ênfase (quadrado branco) a área de coleta e especificando a região onde foram realizados os mergulhos para coleta de dados (círculo vermelho).	20
Figura 5 — Delineamento metodológico dos transectos e quadrados e classificação dos tipos de branqueamento. Branqueamento forte = tonalidade branca; branqueamento fraco = faixa intermediária; saudável = tonalidade escura. N.M.M = Nível médio do mar.	21
Figura 6 — Amostragem em campo com uso de equipamento SCUBA e montagem dos quadrados.	21
Figura 7 — Classes de tamanho das colônias de <i>S. stellata</i> no recife no Atlântico Equatorial.	23
Figura 8 — Estado de branqueamento das colônias por mês amostrado em recife no Atlântico Equatorial (NE, Brasil). Valores expressos em porcentagem (%).	26
Figura 9 — Cluster representativo dos meses baseado na taxa de branqueamento forte. A= Meses de branqueamento mais intenso. B= Meses com branqueamento intermediário e C= Meses com branqueamento de baixa intensidade.	27
Figura 10 — Diferenças entre a zona rasa (esquerda) e a profunda (direita). Fotos tiradas em abril de 2015.	28
Figura 11 — Taxa de Branqueamento e temperatura da superfície do mar em recife no Atlântico Equatorial (NE, Brasil).	30
Figura 12 — Branqueamento e velocidade de vento (m/s) em recife no Atlântico Equatorial (NE, Brasil).	30
Figura 13 — Branqueamento versus insolação total em recife no Atlântico Equatorial (NE, Brasil).	31
Figura 14 — Cluster do índice de similaridade da Distância Euclidiana mostrando o agrupamento dos fatores ambientais (insolação e vento).	32
Figura 15 — Esquema representativo da resposta do coral aos fatores ambientais (temperatura, insolação, vento, turbidez e profundidade) no Atlântico Equatorial.	35
Figura 16 — Ilustração representando os possíveis cenários encontrados na área de estudo, considerando alterações na intensidade dos fatores oceanográficos (TSM, vento, insolação e turbidez). A: Cenário crítico; B: Cenário de primeiro semestre; C: Cenário de segundo semestre com maior branqueamento; D: Cenário de segundo semestre com menor branqueamento.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Classes de tamanho e número de colônias por tipo de branqueamento em recife no Atlântico Equatorial (NE, Brasil).....	24
Tabela 2	Taxas de branqueamento com a profundidade.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TSM	Temperatura da Superfície do Mar
ENOS	El Niño/Oscilação Sul
CNO	Costa Nordeste Oriental
UV	Raios Ultra-Violeta
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
CO2	Dióxido de Carbono
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
CIPP	Complexo Industrial e Portuário do Pecém
NE	Nordeste
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
INCT	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Ambientes Marinhos Tropicais
NMM	Nível Médio do Mar
SCUBA	Equipamento de Mergulho de Respiração Autônoma
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo Geral	17
2.2	Objetivos Específicos	17
3	MATERIAIS E METODOS	18
3.1	Caracterização da Área de Estudo	18
3.2	Metodologia de Amostragem	19
3.3	Análise dos Dados	22
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1	Estrutura Populacional e Branqueamento de Corais: Classes de Tamanho	23
4.2	Branqueamento	24
4.2.1	<i>O branqueamento varia ao longo do ano?</i>	24
4.2.2	<i>O branqueamento varia conforme os fatores ambientais (Profundidade, TSM, insolação, ventos)?</i>	28
4.3	Branqueamento e Mudanças ambientais: Cenários Possíveis para o Atlântico Equatorial	33
5	CONCLUSÕES	37
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1 INTRODUÇÃO

Os recifes de corais constituem um dos ecossistemas marinhos de maior biodiversidade e produtividade do planeta. A grande maioria dos recifes está restrita a águas rasas da zona tropical, porém existem evidências da ocorrência de corais em regiões profundas e de ambientes polares (SPALDING *et al.*, 2001). Este ambiente possui inúmeros bens e serviços ambientais, como o fornecimento de alimento, proteção costeira, desenvolvimento de renda com o turismo, renovação de estoques pesqueiros, captura de carbono, manutenção da biodiversidade marinha, dentre outros (WILKINSON, 2008; VILLAÇA, 2009).

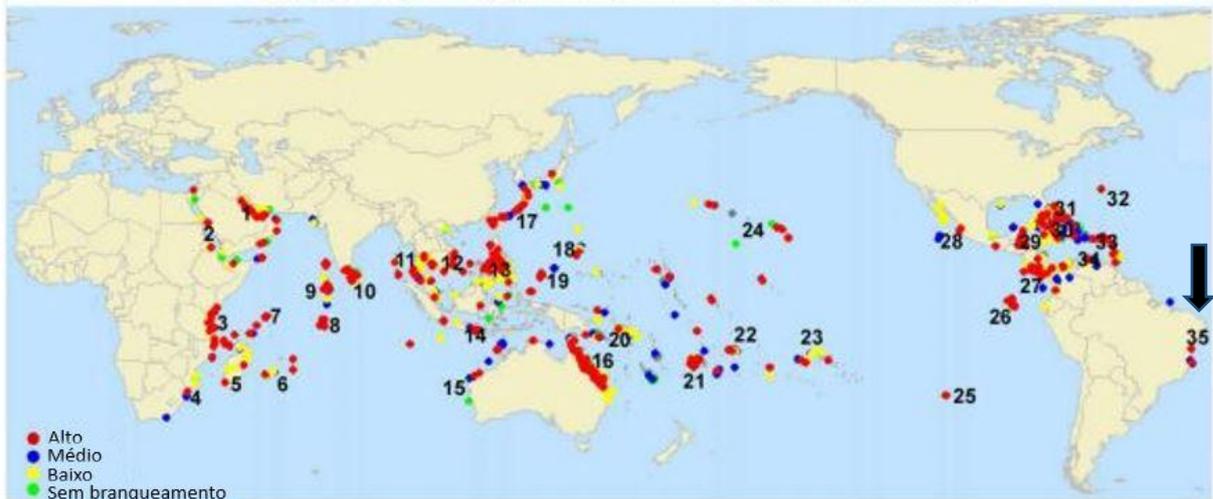
A degradação dos ecossistemas recifais vem causando uma grande preocupação mundialmente, devido a sua importância socioeconômica e ecológica (PALUMBI *et al.*, 2014). Portanto, é imprescindível a realização de estudos no sentido de entender sua estrutura e funcionamento visando à preservação desses ecossistemas e, conseqüentemente, dos bens e serviços ambientais (BELLWOOD *et al.*, 2004). Previsões para o final do século 21 indicam um aumento na concentração de CO₂ atmosférico, promovendo a acidificação e o aumento na temperatura em pelo menos 2°C (IPCC, 2014), o que irá comprometer o crescimento do carbonato nos corais e gerar redução da sua diversidade, por conta da extinção das espécies menos resistentes a essas mudanças (HOEGH-GULDBERG *et al.*, 2007). Neste contexto, um papel importante que os recifes coralíneos possuem, e que vem sendo bastante discutido atualmente, é o do uso do branqueamento de corais para avaliação de impactos ambientais locais e das mudanças climáticas globais (HUGHES *et al.*, 2003; FERREIRA *et al.*, 2013).

Os corais podem possuir relação simbiótica com zooxantelas que possuem um importante papel na nutrição das espécies (VILLAÇA, 2009). Caso ocorra a perda dessa simbiose (com a saída ou morte das zooxantelas) o coral poderá perder praticamente toda a sua coloração, resultando no processo denominado de branqueamento. Este processo normalmente é resultante de estresses ambientais. Portanto, o branqueamento é uma resposta dos corais a fatores oceanográficos e climáticos anômalos. Como exemplo desses fatores temos a temperatura, turbidez, sedimentação, eutrofização, dentre outros. Após este estresse, algumas colônias conseguem recuperar a sua coloração ou pode ocorrer a mortalidade de corais menos resilientes (BROWN, 1997; FITT *et al.*, 2001).

Um dos principais responsáveis pelo branqueamento de corais é o surgimento de anomalias na temperatura superficial do mar (TSM) combinadas com aumento da radiação solar que ocorre em alguns locais do planeta, por exemplo, em eventos de *El Niño*. Em um

contexto mundial, apesar da importância da região do Atlântico Equatorial como um *hotspot* de biodiversidade marinha, pouco se conhece a respeito do fenômeno do branqueamento dos corais e os fatores causais destes eventos (FERREIRA *et al.*, 2013) (FIGURA 1).

Figura 1 — Base de dados mundiais com a ocorrência de eventos de branqueamento. Sete indica a ausência de dados para o Atlântico Equatorial; área de estudo da pesquisa.



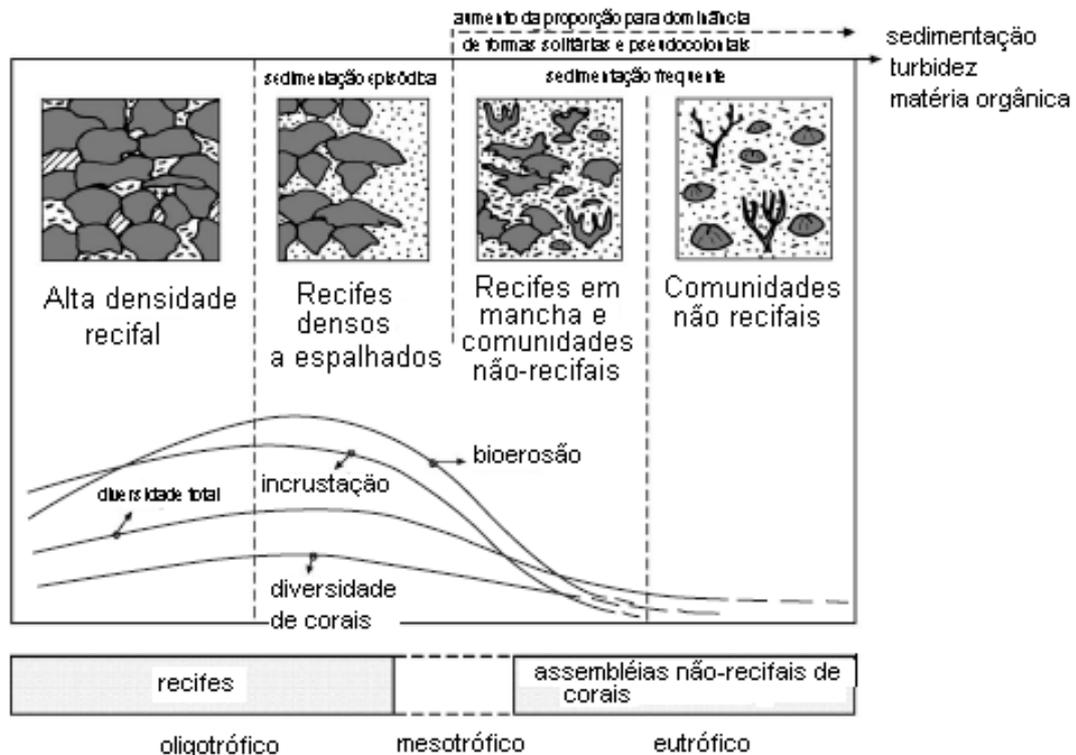
Fonte: Modificado de Baker; Glynn; Riegl (2008).

Os estudos sobre branqueamento de corais no Atlântico Sul têm se concentrado na Costa Nordeste Oriental (sobretudo Bahia e Pernambuco) e nas ilhas oceânicas (MAIDA; FERREIRA, 1997; LEÃO *et al.*, 2003; BARRADAS *et al.*, 2010; KIKUCHI *et al.*, 2010; LEÃO *et al.*, 2010; KRUG *et al.*, 2013; FERREIRA *et al.*, 2013), com pouquíssimos estudos na Costa Semiárida do Nordeste (SOUZA, 2012; MARTINS, 2013; SOARES; RABELO, 2014). Soares & Rabelo (2014) relataram um evento de branqueamento em massa no litoral do Ceará (situado na costa semiárida) decorrente de anomalias na TSM no ano de 2010. Entretanto, não existem dados enfocando um monitoramento sazonal do branqueamento de corais e sua relação com fatores ambientais para esta importante região costeira.

No contexto do Atlântico, a costa semiárida possui condições oceanográficas e climáticas diferenciadas em relação à Costa Nordeste Oriental (CNO) e o Caribe, pois comumente apresenta alta turbidez, sedimentação e temperatura (SOARES; RABELO, 2014). Um outro aspecto importante é que devido estes fatores, não ocorre a formação de recifes de corais verdadeiros (biogênicos) na costa semiárida, diferentemente dos recifes bioconstruídos por algas e corais situados na CNO e Caribe. Nesta região costeira, existem comunidades de corais e organismos bentônicos sobre ambientes recifais (como os recifes de arenito) (FIGURA 2). Nestes ecossistemas é comum a ocorrência de corais como *Siderastrea stellata* e

Favia gravida; espécies reconhecidas como altamente resilientes pela literatura (KIKUCHI *et al.*, 2010; LEÃO *et al.*, 2010; SOARES; RABELO, 2014).

Figura 2 — Esquema conceitual das assembleias de corais escleractíneos em relação à entrada de sedimento, turbidez e nutrientes. Lado esquerdo do diagrama: em situação de ausência ou baixo efeito de sedimentação (eventos episódicos) os recifes apresentam-se altamente agrupados ou pouco espalhados. Lado direito do diagrama: em situação de frequente sedimentação e turbidez os recifes em mancha predominam junto às comunidades coralíneas não-recifais, como ocorre no estado do Ceará (Atlântico Equatorial).



Fonte: Modificado de Sanders e Baron-Szabo (2005).

Todas essas condições ambientais relatadas, em situações anômalas, geram fatores de estresse ambiental (temperatura, turbidez, sedimentação) limitantes para as populações de corais na costa semiárida. Entretanto, estes fatores são comuns desta costa, o que pode ter gerado uma adaptação evolutiva das espécies ao longo do tempo. Portanto, esses ambientes recifais são particularmente interessantes, do ponto de vista científico, para analisar o branqueamento de corais e sua relação com as mudanças ambientais. Tem-se como hipótese que os corais no Atlântico Equatorial possuem maior resiliência e resposta diferenciada a fatores de estresse ambiental, comparativamente aos demais ecossistemas recifais tropicais do mundo. Espera-se que os dados fornecidos possam auxiliar em modelos de predição do branqueamento de acordo com futuras mudanças ambientais e climáticas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar o fenômeno do branqueamento de corais em ambiente recifal situado no Atlântico Equatorial (Complexo Industrial e Portuário do Pecém, Nordeste do Brasil) ($3^{\circ} 32' 07.51''$ S e $38^{\circ} 47' 48.62''$ W), correlacionando-os com fatores ambientais e climáticos.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a estrutura populacional (classes de tamanho) de corais da espécie *Siderastrea stellata* e relacionar com os eventos de branqueamento;
- Monitorar a frequência do branqueamento de corais da espécie *Siderastrea stellata* em ambiente recifal no período de 2013 até 2015;
- Relacionar as taxas de branqueamento com fatores ambientais, tais como TSM (Temperatura da Superfície do Mar), profundidade, insolação, e velocidade dos ventos;

3 MATERIAIS E MÉTODOS

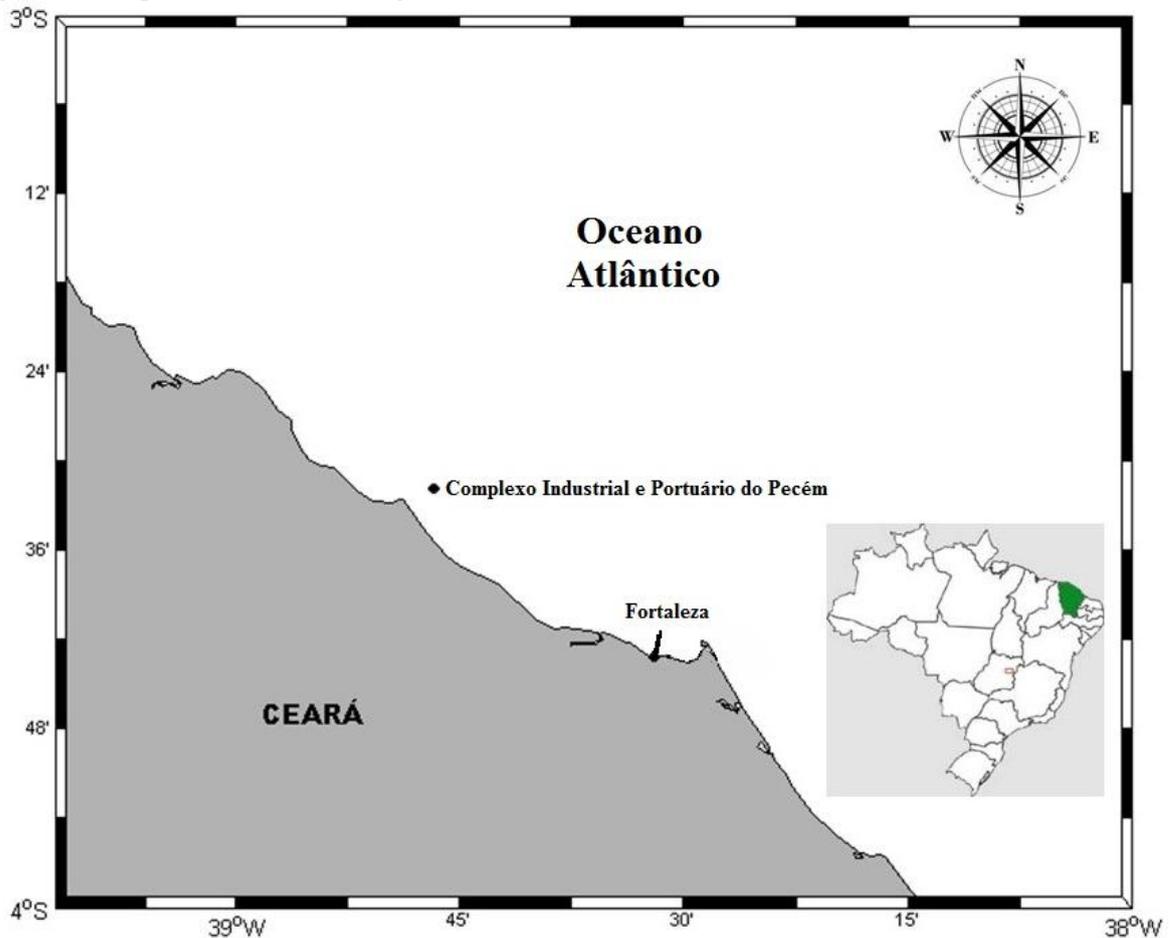
3.1. Caracterização da área de estudo

A zona costeira do Nordeste do Brasil estende-se desde a Baía de São Marcos até a Baía de Todos dos Santos com uma grande variedade de ecossistemas recifais (MAIDA; FERREIRA, 1997; LEÃO *et al.*, 2003). Segundo Muehe (1998), essa zona está subdividida em dois grandes compartimentos: a Costa Semi-Árida, que se situa à noroeste do Cabo Calcanhar (Rio Grande do Norte), e a Costa Nordeste Oriental, que vai do Cabo Calcanhar até a Baía de Todos os Santos. A Costa Semi-Árida se localiza na Margem Equatorial Atlântica, apresentando substratos relativamente planos, alternados com partes onduladas, e feições irregulares de recifes de arenito submersos (com rica comunidade bentônica) e bancos de algas calcárias (DIAS *et al.*, 2013).

O regime eólico e climático da região é marcado pela ação dos alísios, cuja velocidade varia sazonalmente ao longo do ano, com velocidades mais baixas no primeiro semestre, e um incremento no 3^a trimestre, além da atuação da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical). O regime de chuvas e nebulosidade na região é distribuído sazonalmente em dois períodos. Um chuvoso (1^o semestre), quando ocorre mais de 80% do total anual, e outro seco que se estende de agosto a dezembro. A temperatura da superfície do mar em termos anuais é considerada alta e com baixa oscilação, variando de 27 a 29 °C (IRION; MORAIS; BUNGENSTOCK, 2012).

A área de estudo está inserida na Costa Semiárida do Nordeste localizada no litoral Oeste do Ceará no município de São Gonçalo do Amarante (NE, Brasil). Nesta área tem-se o Complexo industrial e portuário do Pecém (CIPP), com a ocorrência de um terminal portuário. Por se tratar de um Terminal Marítimo *off shore*, artificialmente abrigado, foi construído um quebra-mar do tipo berma (*rubble mound breakwater*) na forma de "L", com comprimento total de 1.768 m. Nesta área do quebra-mar (recife artificial) (3° 32' 07.51" S e 38° 47' 48.62" W) ocorre uma biodiversidade significativa de espécies bentônicas, inclusive de corais escleractíneos como *Siderastrea stellata*; espécie usada neste estudo (FIGURA 3).

Figura 3 — Mapa mostrando a localização da área de estudo.

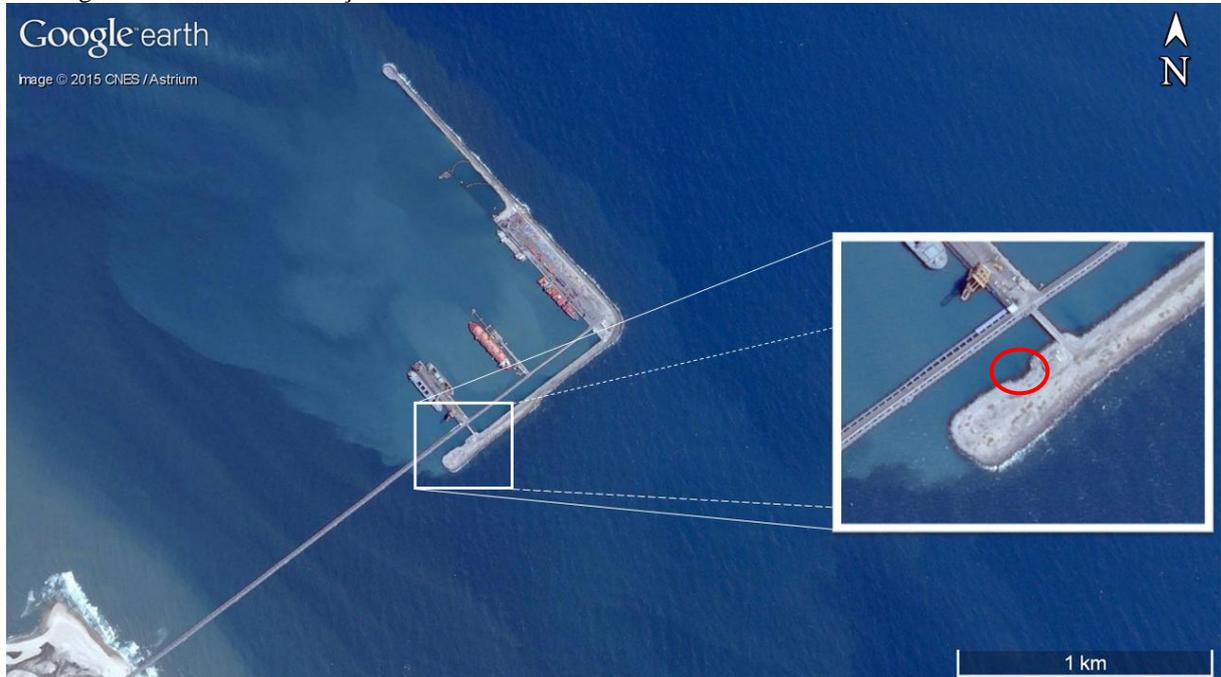


Fonte: O autor (2015).

3.2. Metodologia de amostragem

A coleta de dados foi realizada ao longo de 3 anos (iniciadas desde 2013) em distintos meses, ocorrendo em marés altas de sizígia, tendo como base a tábua de marés para o Porto do Pecém. As análises visuais subaquáticas foram realizadas através de mergulhos autônomos com equipamento de respiração autônoma (SCUBA) com duração aproximada de 1 hora. A técnica utilizada para a coleta dos dados teve como princípio a utilização de censo visual ao longo de um perfil (parede do molhe) utilizando o protocolo do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Ambientes Marinhos Tropicais -INCTAmbtropic (LEÃO *et al.*, 2014) (FIGURA 4).

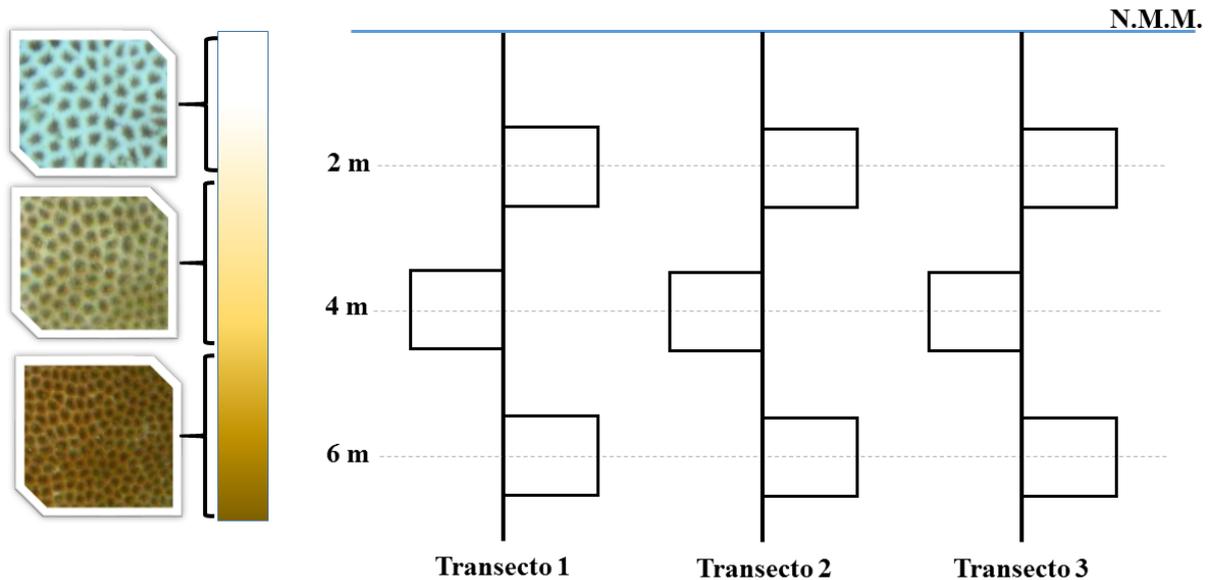
Figura 4 — Imagem de satélite da área de estudo dando ênfase (quadrado branco) a área de coleta e especificando a região onde foram realizados os mergulhos para coleta de dados (círculo vermelho). Observa-se na imagem a intensa sedimentação da área.



Fonte: Google Earth –adaptado pelo autor (2015).

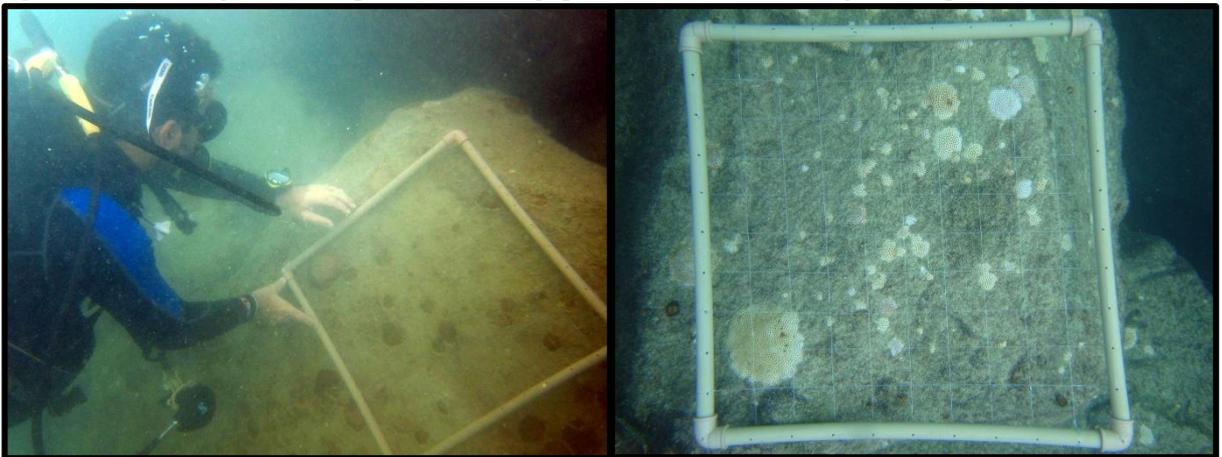
A técnica utilizada teve como princípio a utilização de censo visual e uso do foto-quadrat ao longo de transectos e em quadrados. Foi utilizado um sistema de 3 transectos em 3 profundidades diferentes (2m, 4m e 6m) totalizando 9 quadrados por mês amostrado (FIGURAS 5). Estes quadrados são dispostos aleatoriamente dentro dos transectos, considerando as faixas de profundidade (delineamento metodológico aleatório estratificado) (FIGURA 6).

Figura 5 — Delineamento metodológico da pesquisa mostrando o sistema de transectos e quadrados e a classificação dos tipos de branqueamento. Branqueamento forte = tonalidade totalmente branca; branqueamento fraco = faixa intermediária; saudável = tonalidade escura. N.M.M = Nível médio do mar.



Fonte: O autor (2015).

Figura 6 — Amostragem em campo com uso de equipamento SCUBA e montagem dos quadrados.



Fonte: O autor (2015).

Para avaliar as condições dos corais ao longo de transectos utilizou-se o *software* ImageJ que possibilitou a medição do tamanho das colônias e a classificação das colônias de acordo com o estado de branqueamento (saudável, fraco e forte), de acordo com os critérios de Leão *et al.* (2014) (FIGURA 5). Foram obtidas imagens, que após análise em laboratório, geraram dados referentes à estrutura populacional (medição dos tamanhos das colônias) e ao branqueamento (número de colônias branqueadas e estágio de branqueamento). Referente ao tamanho dos corais foram consideradas sete categorias (2-10cm, 11-20cm, 21-30cm, 31-40cm, 41-50cm, 51-60cm, maior que 60cm). Não foram analisados os dados de recrutas (<2cm) no presente trabalho. O material fotográfico foi obtido através do uso de câmera

fotográfica subaquática NIKON com caixa estanque.

Os dados da temperatura da água do mar foram obtidos com base em imagens de temperatura da superfície do mar (TSM) do período diurno proveniente de satélites. Foram utilizados dados mensais com resolução espacial de 4x4 km. Os dados de TSM foram obtidos do satélite MODIS-Aqua, e estão disponíveis gratuitamente desde o ano de 2002 até o presente na internet pelo site da NASA. Os dados de velocidades dos ventos (metros por segundo) e insolação (número de horas incidentes) foram coletados da base de dados do BDMET (Banco Dados Meteorológicos) e estão disponíveis gratuitamente desde o ano de 1961 até o presente na internet pelo site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

3.3. Análise dos dados

Os dados referentes ao branqueamento foram colocados em planilhas eletrônicas. Estas foram utilizadas para: a) a verificação dos padrões de distribuição de tamanho das colônias (histogramas), b) a porcentagem do tipo de branqueamento (saudável, fraco e forte) por mês; e c) porcentagem de branqueamento por profundidade.

Os dados abióticos (vento, insolação, TSM) também foram tratados em planilhas após download dos dados. Foram gerados gráficos de dispersão e de tendência destas variáveis, visando a comparação com a variável “branqueamento forte”.

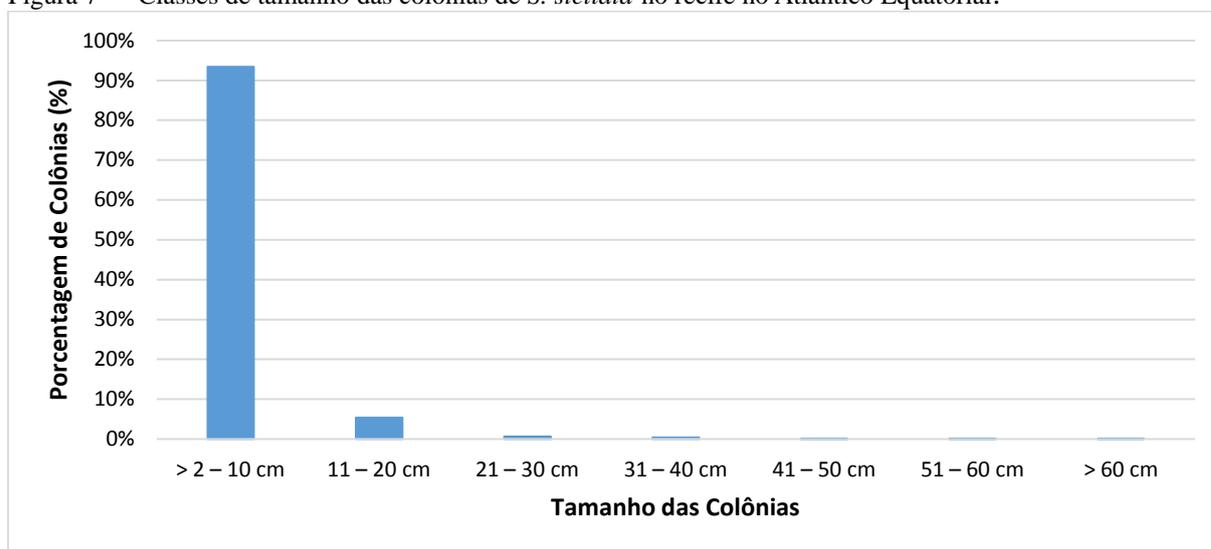
Foram realizadas duas análises multivariadas, através da técnica de agrupamento, para verificar: 1) a similaridade do branqueamento de corais; e 2) similaridade dos fatores ambientais (ventos e insolação). Ambas as estratégias visaram verificar a similaridade nos diferentes meses de coleta. Para estas análises foram utilizadas técnicas de Cluster, mediante o uso do índice de dissimilaridade da Distância Euclidiana (indicador quantitativo). Para essas rotinas estatísticas foi utilizado o *software* Primer 6.0 (*Plymouth Routines in Multivariate Ecology*).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Estrutura populacional e branqueamento de corais: classes de tamanho

Foram analisadas 2880 colônias de *Siderastrea stellata* desde maio de 2013 até junho de 2015. A maioria das colônias situa-se na primeira faixa de tamanho (maior que 2 cm e até 10 cm). Nesta faixa foram encontradas 93,42% do total estudado (FIGURA 7). Dois principais fatores explicam esse padrão populacional: 1) a taxa de crescimento lento e o ambiente recifal ser recente; e 2) a estratégia reprodutiva em ambiente estressante. Filho (2008) verificou que a taxa de crescimento para a espécie *S. stellata* é lenta e de apenas $3,8 \pm 0,4$ mm/ano na Bahia, o que explica em parte os resultados encontrados. O recife analisado no é resultante da construção do porto (inaugurado em 2002), portanto é bastante recente o ambiente e a colonização dos corais. Um segundo fator importante para explicar o padrão encontrado no Atlântico Equatorial é que a espécie tende a se reproduzir cedo e incubar larva (Barros & Pires, 2006). Este fenômeno pode ser reflexo de uma estratégia de sobrevivência, em águas rasas com elevada turbidez e sedimentação, caracterizada por alta taxa de mortalidade e tempo de vida curto.

Figura 7 — Classes de tamanho das colônias de *S. stellata* no recife no Atlântico Equatorial.



Fonte: O autor (2015)

Oigman-Pszczol & Creed (2008) observaram uma grande quantidade de colônias jovens de *S. stellata*. Segundo os autores, este padrão é decorrente de uma estratégia reprodutiva em ambientes sujeitos ao estresse de sedimentação e turbidez. A presença e abundância de *S. stellata* é um excelente indicador de ambiente sujeito à estresse ambiental.

A primeira faixa de tamanho (2-11cm) teve a maioria das colônias branqueadas (TABELA 01). O intervalo em questão mostrou ter maior representatividade das colônias que apresentaram branqueamento forte e fraco, provavelmente por ser o intervalo de tamanho mais frequente na população.

Tabela 01. Classes de tamanho e número de colônias de *S. stellata* por tipo de branqueamento em recife no Atlântico Equatorial (NE, Brasil).

	Branqueamento Forte	Branqueamento Fraco	Saudável
> 2 – 10 cm	403	1232	922
11 – 20 cm	9	81	58
21 – 30 cm	0	11	6
31 – 40 cm	1	6	5
41 – 50 cm	0	1	0
51 – 60 cm	0	1	0
> 60 cm	0	1	0

Fonte: O autor (2015).

4.2. Branqueamento

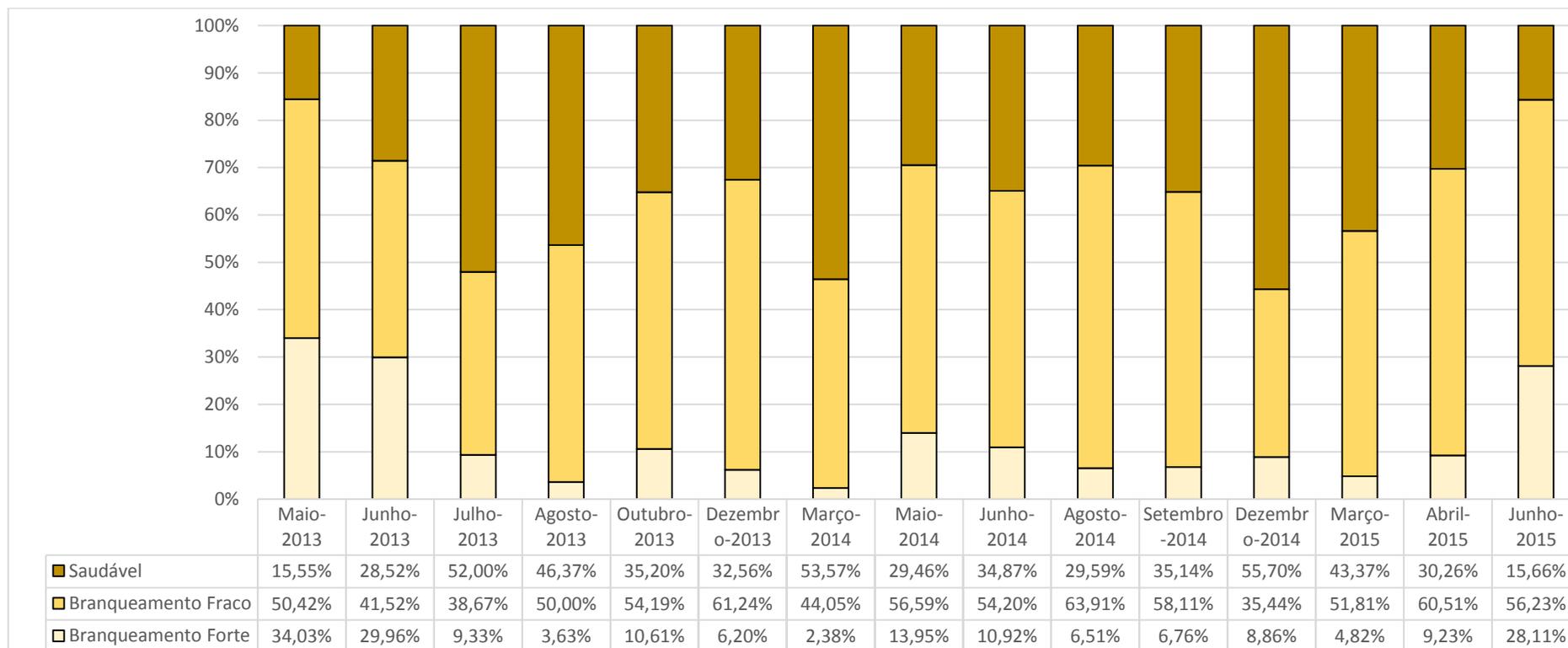
4.2.1. O branqueamento varia ao longo do ano?

O branqueamento das colônias teve maior representatividade em evento situado no 1^a semestre (outono). No 1^a semestre observou-se o evento mais intenso, principalmente entre os meses de maio e junho de cada ano (FIGURA 8). O branqueamento de corais associado ao primeiro semestre é um fenômeno que foi observado no Atlântico Sul (LEÃO; KIKUCHI; OLIVEIRA, 2008; POGGIO; LEÃO; MAFALDA-JUNIOR, 2009; SOUZA, 2012; SOARES; RABELO, 2014). Entretanto, estes são comumente relatados em fevereiro e março (início do verão), diferentemente do relatado para o Atlântico Equatorial, correspondente ao outono. Este período do ano (verão/outono) é comumente relatado a eventos de branqueamento, devido possuir as maiores médias de temperatura e apresentar eventualmente anomalias de TSM, por exemplo, em período de *El Niño* (FERREIRA *et al.* 2013).

A análise utilizando o índice de similaridade da Distância Euclidiana dos meses de branqueamento forte mostrou a existência de três grupos principais. O grupo A contém os meses que apresentam maior branqueamento, o grupo B, os meses de branqueamento intermediário e o C, menor branqueamento. Com base na existência desses grupos e nos valores encontrados para cada mês, podemos confirmar que o branqueamento varia ao longo do ano (FIGURA 9). Os dados expostos na Figura 8 e 9 também ressaltam um aspecto

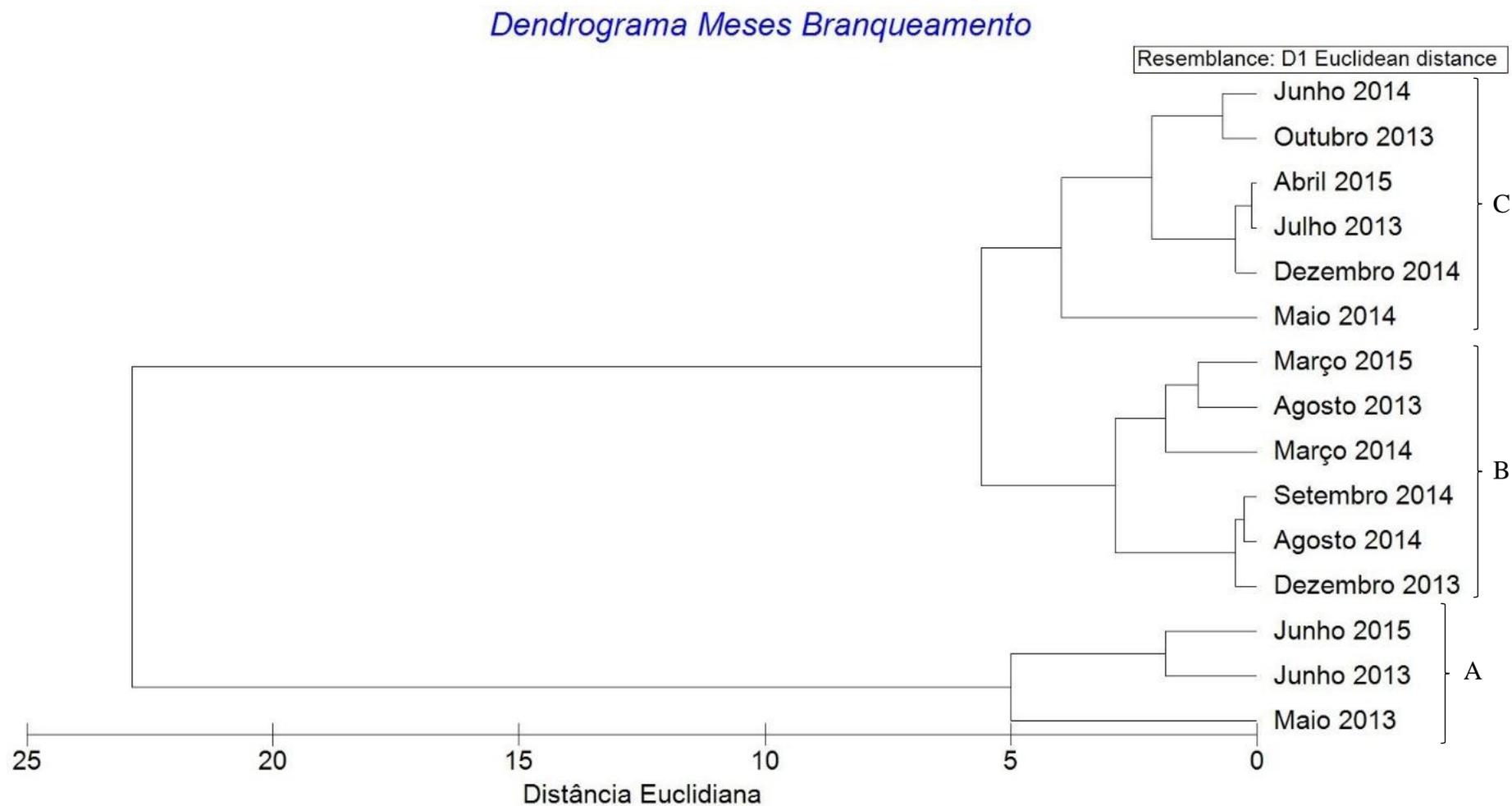
peculiar; a existência de branqueamento (forte e fraco) ao longo de todo o ano, porém variável (44,3%-84,34%). Este fato demonstra que o ambiente possui estresse crônico ao longo de todo o ano.

Figura 8— Estado de branqueamento das colônias de *S. stellata* por mês amostrado em recife no Atlântico Equatorial (NE, Brasil). Valores expressos em porcentagem (%).



Fonte: o autor (2015).

Figura 9— Cluster representativo dos meses baseado na taxa de branqueamento forte. A= Meses de branqueamento mais intenso. B= Meses com branqueamento intermediário e C= Meses com branqueamento de baixa intensidade.



Fonte: O autor (2015)

4.2.2. O branqueamento varia conforme os fatores ambientais (Profundidade, TSM, insolação, ventos)?

A relação do branqueamento com a profundidade mostrou que em regiões mais rasas a porcentagem de o coral apresentar sinais de branqueamento forte é maior. Considerando-se a premissa teórica de que não há estratificação térmica (ambiente equatorial, aberto e pequena profundidade de 6m) tem-se por hipótese que na zona mais rasa (2m) os corais são mais susceptíveis a ação da radiação solar (TABELA 02).

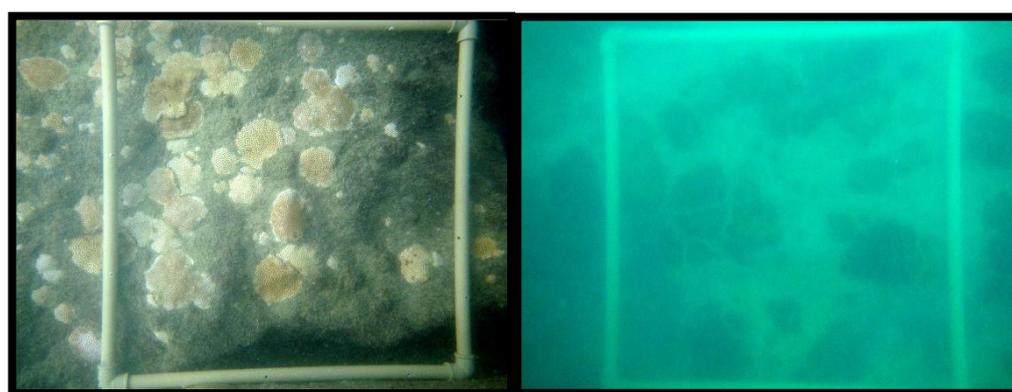
Tabela 02 — Taxas de branqueamento por tipo (forte, fraco, saudável) e relação com a profundidade.

	2 m	4 m	6 m
Branqueamento Forte	65%	22%	12%
Branqueamento Fraco	28%	39%	32%
Saudável	17%	38%	45%

Fonte: O autor (2015)

Baker, Glynn & Riegl (2008) abordaram que a exposição excessiva a insolação (UV e na faixa do visível) resulta num aumento de substâncias oxidantes que prejudicam a fotossíntese das zooxantelas, resultando no processo de branqueamento. As regiões mais profundas recebem menos radiação solar possivelmente por conta do material particulado em suspensão, comum na costa semiárida, que está em maiores quantidades nas regiões mais profundas (FIGURA 10)

Figura 10 — Diferenças entre a zona rasa (esquerda)-2m e a profunda (direita)-6m. Fotos tiradas em abril de 2015.



Fonte: O autor (2015)

Portanto, tendo como base os dados encontrados, o branqueamento possui variação conforme a profundidade. A turbidez também é um fator que possivelmente atenua o efeito da radiação solar que induz ao branqueamento.

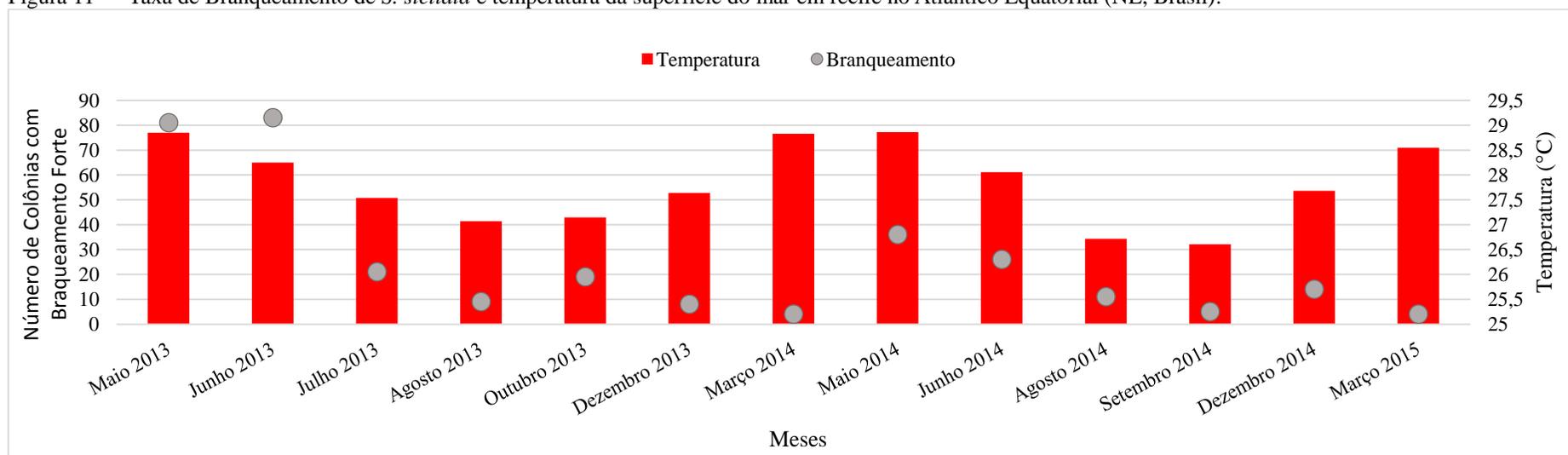
As taxas de branqueamento tiveram comumente aumento com o aumento da TSM (FIGURA 11), havendo relação inversa com as variáveis velocidade dos ventos e a insolação (FIGURAS 12 e 13). A constatação da relação direta do branqueamento com a TSM era esperada tendo como base os diversos trabalhos que já abordaram essa temática em termos mundiais (BAKER; GLYNN; RIEGL, 2008; BROWN, 1997; FITT *et al.*, 2001; HUGHES *et al.*, 2003; HOEGH-GULDBERG *et al.*, 2007; LEÃO *et al.* 2010; KRUG *et al.* 2013).

Entretanto, no período relatado não ocorreram anomalias significativas na TSM (valores acima de 1°C). A TSM no período 2013-2015 apresentou padrão sazonal tendo aumento no primeiro semestre e diminuição no segundo. O valor da TSM variou entre 26,6°C em setembro de 2014 e 29,4°C em abril de 2013. Apesar disso, ocorreram taxas de branqueamento oscilando de 44,3% a 84,34%, o que demonstra que o ambiente está sob estresse crônico. Soares & Rabelo (2014) relataram evento de branqueamento em massa em 2010 (fevereiro e março) com taxas de 100% de branqueamento, devido à ocorrência de ENOS (*El Niño*/Oscilação Sul) no litoral do Ceará, configurando um estresse agudo. O evento esteve provavelmente relacionado a anomalias da temperatura da superfície do mar (1 a 2 °C acima da média), 4 a 7 semanas de calor acima da média, alta TSM (30 a 32 °C) e valores positivos de *hot-spots*.

A variável vento comportou-se de forma esperada para a região, onde estes têm maior velocidade no início do segundo semestre e causa alteração na turbidez, devido a agitação das condições de mar. O aumento do vento acaba mantendo material particulado e sedimento em suspensão. O material particulado presente na coluna d'água atua favoravelmente para o coral servindo como barreira física impedindo a penetração da radiação UV (BAKER; GLYNN; RIEGL, 2008). Este fato é inédito para o Atlântico Equatorial. Assim, o aumento dos ventos possivelmente desfavorece o branqueamento (FIGURA 13).

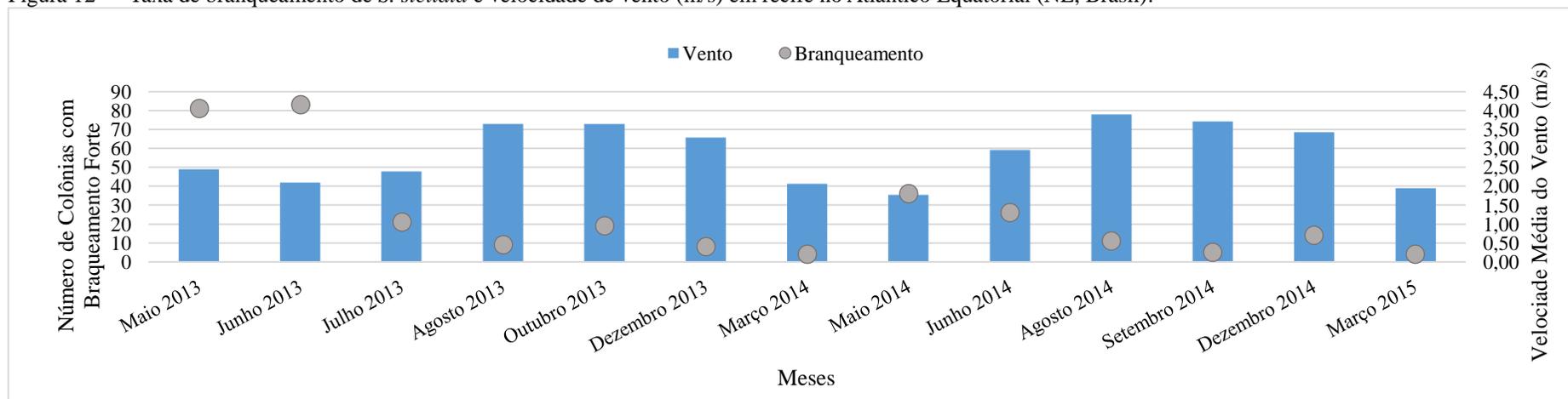
Diferente do esperado pelas teorias existentes (BAKER; GLYNN; RIEGL, 2008; LEÃO *et al.* 2010; KRUG *et al.* 2013), a insolação comportou-se de forma inversa ao branqueamento (principalmente no 1ª semestre). A insolação total apresentou mínima de 166,4 horas em abril de 2014 e máxima de 297 horas em outubro de 2013 (FIGURA 13). Os dados indicam uma influência da nebulosidade (resultante do período chuvoso) que pode mitigar a ação da radiação solar como efeito negativo do branqueamento. Combinando os dados de ventos e insolação tem-se dois grupos (FIGURA 14). O grupo A com menor insolação e menor velocidade dos ventos, e o grupo B com maior insolação e maior velocidade.

Figura 11 — Taxa de Branqueamento de *S. stellata* e temperatura da superfície do mar em recife no Atlântico Equatorial (NE, Brasil).



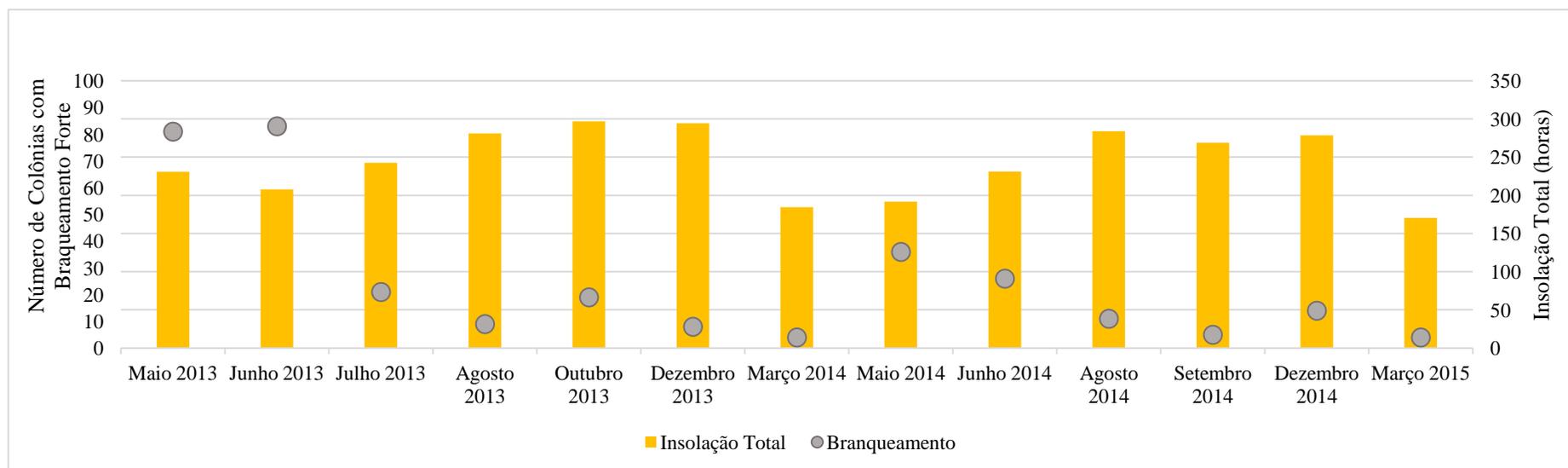
Fonte: O autor (2015)

Figura 12 — Taxa de branqueamento de *S. stellata* e velocidade de vento (m/s) em recife no Atlântico Equatorial (NE, Brasil).



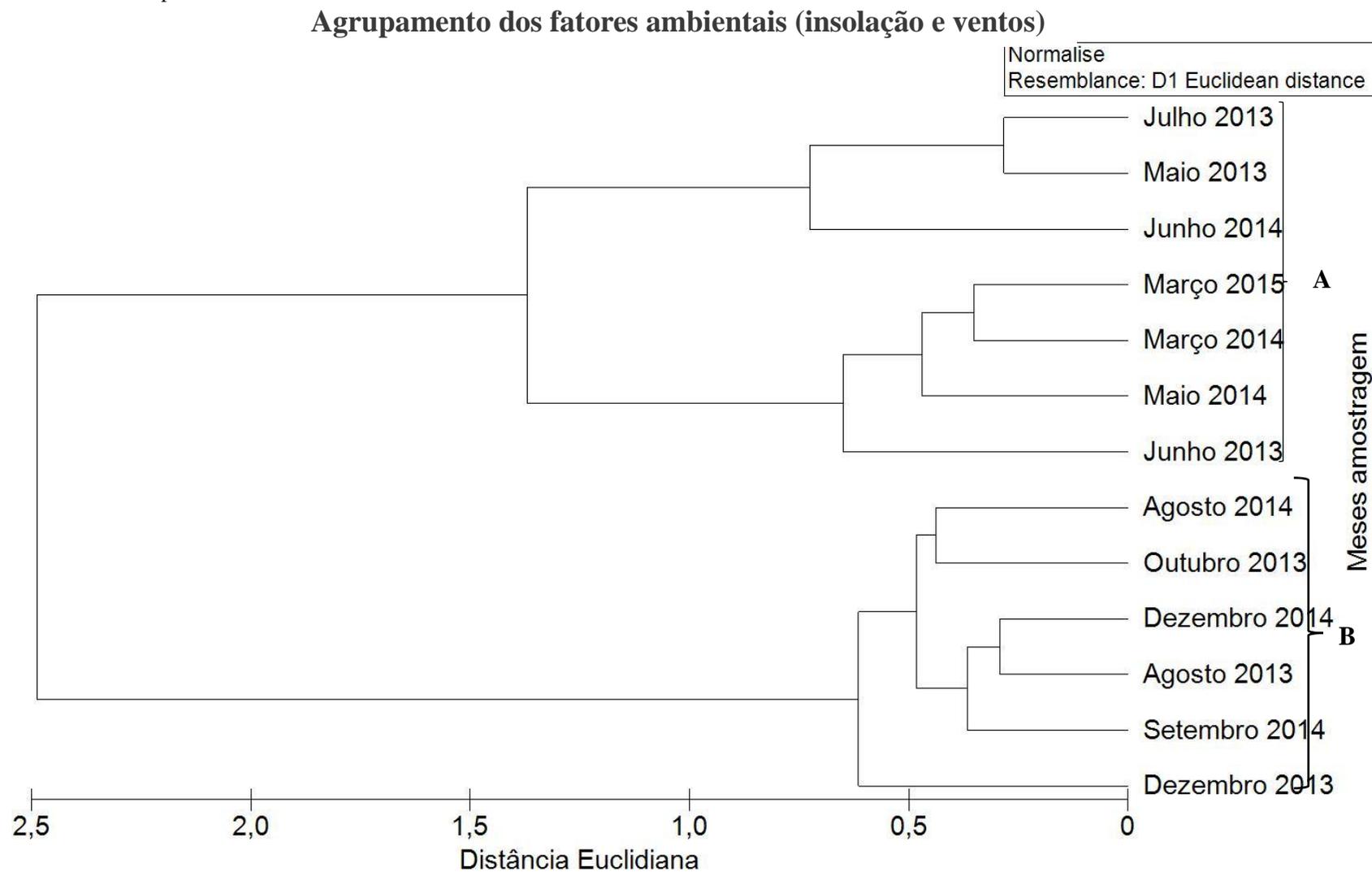
Fonte: O autor (2015)

Figura 13 — Taxa de branqueamento de *S. stellata* versus insolação total em recife no Atlântico Equatorial (NE, Brasil).



Fonte: O autor (2015)

Figura 14 — Cluster do índice de similaridade da Distância Euclidiana mostrando o agrupamento dos fatores ambientais (insolação e vento). A= Menor insolação e baixa velocidade dos ventos. Grupo B=Maior insolação e maior velocidade dos ventos.



Fonte: O autor (2015).

4.3. Branqueamento e Mudanças ambientais: Cenários possíveis para o Atlântico Equatorial

A análise dos dados de branqueamento e a relação com os fatores ambientais (temperatura, velocidade média do vento, insolação, profundidade, turbidez), possibilitou a geração de um esquema teórico para a costa semiárida no contexto do Atlântico Equatorial (FIGURA 15). O esquema facilita a compreensão de quais fatores atuam positivamente para a manutenção do estado saudável das colônias (vento, turbidez e profundidade) e quais fatores atuam prejudicando ocasionando o branqueamento (temperatura e insolação).

Dados atuais (KRUG *et al.* 2013) demonstram que os corais são mais vulneráveis ao branqueamento durante período de céu claro (baixa nebulosidade), mar calmo, ventos fracos e águas transparentes que maximizam os efeitos negativos do aquecimento da temperatura da água do mar e da influência da insolação. Entretanto, estes efeitos dependem da resiliência dos corais e dos mecanismos adaptativos existentes. A espécie utilizada neste estudo de caso (*S. stellata*) no Atlântico Equatorial é conhecida, devido sua resiliência a temperatura, turbidez e sedimentação no litoral brasileiro (LEÃO *et al.* 2010). Costa *et al.* (2008) demonstraram que *S. stellata* é associada a zooxantelas do clado C (gênero *Symbiodinium*). Este grupo é considerado um dos táxons mais resistentes a branqueamento no contexto das microalgas. Essa associação simbiótica pode ajudar na capacidade de *S. stellata* para reverter o branqueamento, e promover alta resistência e resiliência aos distúrbios ambientais.

Os dados possibilitaram a criação de cenários hipotéticos preditivos para cada semestre com as tendências dos fatores ambientais e do branqueamento (FIGURA 16). Estes cenários gerais constituem hipóteses que poderão ser corroborados ou refutados de acordo com pesquisas futuras, ou se modificar caso algum fator fuja do padrão comum (anomalias, por exemplo). Salienta-se que estes cenários seriam os principais, podendo ocorrer ligeiras variações ao longo do ano.

O cenário A representa um evento crítico típico de situações de *El Niño* e onde as águas estariam mais calmas pela baixa velocidade de vento. Neste cenário a coluna d'água estaria transparente, ou seja, com baixíssima turbidez o que facilitaria, juntamente com a baixa nebulosidade característica desse fenômeno, a penetração da radiação solar. Juntando esses fatores com a ocorrência de anomalias térmicas por semanas (*El Niño*), a porcentagem de branqueamento forte seria alta para as zonas rasas e intermediárias, com decréscimo com o aumento da profundidade. Este cenário preditivo seria semelhante ao ocorrido conforme o relatado por Soares & Rabelo (2014) no evento de branqueamento em massa de 2010.

O cenário B é característico do primeiro semestre (verão/outono) no Atlântico Equatorial, onde teríamos elevada nebulosidade (período chuvoso) e alta TSM (temperatura da superfície do mar). Por conta da nebulosidade, o período de insolação total é bem curto. O vento para esse cenário seria mais ameno o que resultaria num mar mais moderado e com baixa turbidez. O branqueamento nesse ambiente acontece com maior intensidade na primeira faixa de profundidade.

O cenário C estaria relacionado com o segundo semestre na condição em que os ventos se intensificariam e resultasse em uma superfície mais agitada aumentando a turbidez. A temperatura para esse cenário seria menor, mas a insolação seria maior com a redução da nebulosidade. O branqueamento para essas condições seria semelhante ao cenário B com maior branqueamento na região mais rasa, mas para esse caso o principal componente para o branqueamento seria a insolação.

O cenário D continuaria representando o segundo semestre só que neste caso teria uma intensificação ainda maior da ação dos ventos (ventos alísios) e por consequência aumento da turbidez. Com esse aumento da turbidez os corais estariam mais protegidos da ação da insolação, pois o material particulado em suspensão atuaria bloqueando e absorvendo a radiação solar. A turbidez reduz o impacto do branqueamento, devido os corais serem resilientes à turbidez e sedimentação na costa semiárida, diferentemente de outros setores da costa brasileira (costa nordeste oriental) e do Mar do Caribe.

Figura 15—Esquema representativo da resposta do coral *S. stellata* aos fatores ambientais (temperatura, insolação, vento, turbidez e profundidade) no Atlântico Equatorial.

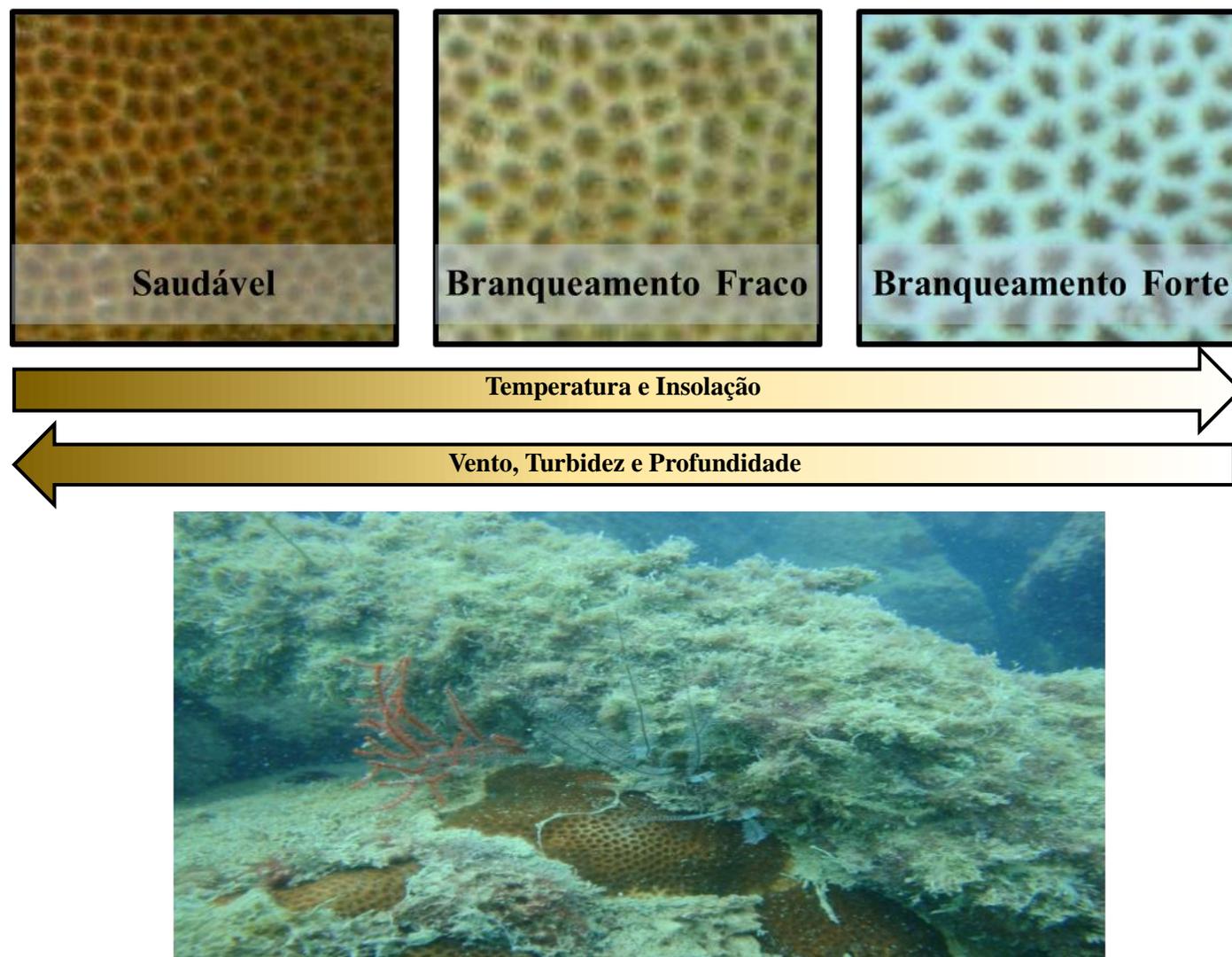
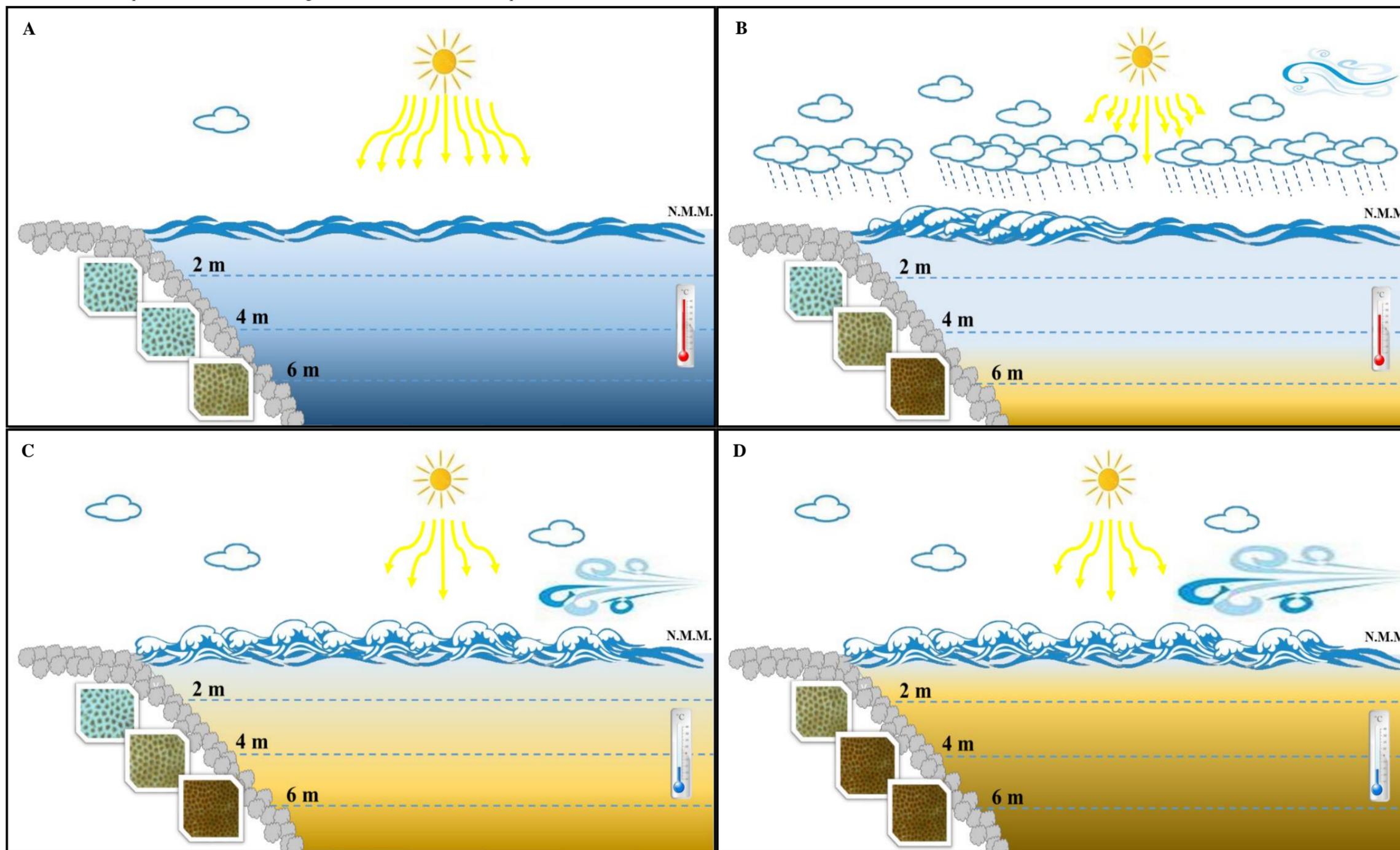


Figura 16—Ilustração representando os possíveis cenários encontrados na área de estudo, considerando alterações na intensidade dos fatores oceanográficos (TSM, vento, insolação e turbidez). A: Cenário crítico; B: Cenário de primeiro semestre; C: Cenário de segundo semestre com maior branqueamento; D: Cenário de segundo semestre com menor branqueamento. N.M.M. = Nível médio do mar.



Legenda:



5. CONCLUSÕES

A análise do branqueamento de corais e dos fatores ambientais mostrou-se de fundamental importância por se tratar de uma espécie bioindicadora e uma das mais comuns nos recifes brasileiros (*S. stellata*) e possibilitar um novo panorama para o entendimento deste fenômeno no Atlântico Equatorial. O aparecimento de colônias branqueadas ao longo de todo o ano mostrou que o ambiente analisado possui elevado grau de estresse ambiental, porém com taxas variáveis de acordo com uma complexa interação entre ventos, insolação, temperatura, nebulosidade, turbidez e profundidade.

A estrutura populacional de corais da espécie *S. stellata* teve maior representatividade de corais juvenis com tamanho inferior ou igual a 10 cm. Este fato provavelmente decorre do curto período de existência do ambiente analisado e possíveis estratégias de resiliência e reprodução de adaptação ao ambiente estressante.

As taxas de branqueamento aumentaram com o aumento da TSM e da insolação e diminuem com o aumento da profundidade, velocidade dos ventos e turbidez. Estes dados apontaram respostas diferenciadas no Atlântico Equatorial em relação aos demais recifes do Atlântico Sul (Costa Nordeste Oriental) e do Mar do Caribe. É importante manter o monitoramento de corais em regiões semiáridas para a geração de dados históricos de branqueamento e analisar a sua correlação com as anomalias de TSM e os futuros cenários de predições dos impactos locais e das mudanças climáticas globais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAKER, A. C.; GLYNN, P. W.; RIEGL, B. **Climate change and coral reef bleaching: An ecological assessment of long-term impacts, recovery trends and future outlook.** *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v.80, n.4, p. 435-471, 2008.
- BARRADAS, J. I.; AMARAL, F. D.; HERNANDEZ, M. I. M.; FLORES-MONTES, M. J.; STEINER, A. Q. **Spatial distribution of benthic macroorganisms on reef flats at Porto de Galinhas Beach (northeastern Brazil), with special focus on corals and calcified hydroids.** *Biotemas*, v. 23, n.2, p. 61-67, 2010.
- BARROS, M. M. L. D.; PIRES, D. O. **Colony size-frequency distributions among different populations of the scleractinian coral *Siderastrea stellata* in Southwestern Atlantic: implications for life history patterns.** *Brazilian Journal of Oceanography*, v.54,n.4, p. 213-223, 2006
- BELLWOOD, D. R.; HUGHES, T. P.; FOLKE, C.; NYSTROM, M. **Confronting the Coral Reef Crisis.** *Nature*, 429: 827-833, 2004.
- BROWN, B.E. **Coral bleaching: causes and consequences.** *Coral Reefs*, v.16, p. 129-138, 1997.
- COSTA, F.C.; SASSI, R.; GORLACH-LIRA, K. **Zooxanthellae genotypes in the coral *Siderastrea stellata* from coastal reefs in northeastern Brazil.** *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v.367,n.2, p.149–152, 2008.
- DIAS, F.J.S.; CASTRO, B.M.; LACERDA, L.D. **Continental shelf water masses off the Jaguaribe River (4S), northeastern Brazil.** *Continental Shelf Research*, v. 66, p.;123-135, 2013.
- FERREIRA, B.P.; MAIDA, M. **Monitoramento dos recifes de coral do Brasil: situação atual e perspectivas.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 200p., 2006.
- FERREIRA, B. P.; COSTA, M. B. S. F.; COXEY, M. S.; GASPAR, A. L. B.; VELEDA, D.; ARAUJO, M. **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.
- FITT, W.K.; BROWN, B.E.; WARNER M. E.; DUNNE, R. P. **Coral bleaching: interpretation of thermal tolerance limits and thermal thresholds in tropical corals.** *Coral Reefs*, v.20, p.51–65, 2001.
- HUGHES, T.P.; BAIRD, A. H.; BELLWOOD, D. R.; CARD, M.; CONNOLLY, S. R.; FOLKE, C.; GROSBERG, R.; HOEGH-GULDBERG, O.; JACKSON, J.B. C.; KLEYPAS, J.; LOUGH, J. M.; MARSHALL, P.; NYSTRÖM, M.; PALUMBI, S. R.; PANDOLFI, J. M.; ROSEN, B.; ROUGHGARDEN, J. **Climate change, human impacts and the resilience of coral reefs.** *Science*, v.301, p. 929-933, 2003.
- HOEGH-GULDBERG, O.; MUMBY, P. J.; HOOTEN, A. J.; STENECK, R. S.; GREENFIELD, P.; GOMEZ, E.; HARVELL, C. D.; SALE, P. F.; EDWARDS, A. J.; CALDEIRA, K.; KNOWLTON, N.; EAKIN, C. M.; IGLESIAS-PRIETO, R.; MUTHIGA, N.; BRADBURY, R. H.; DUBI, A.; HATZIOLOS, M.E. **Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification.** *Science*, v.318, p.1737-1742, 2007.

IPCC. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, Vulnerability**. Working Group II Contribution to the IPCC 5th Assessment Report - Changes to the Underlying Scientific/Technical Assessment. 2014. Acesso em: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>

IRION, G.; MORAIS, J.O.; BUNGENSTOCK, F. **Holocene and Pleistocene sea-level indicators at the coast of Jericoacoara, Ceará, NE Brazil**. *Quaternary Research*, v.77, p. 251-257, 2012.

KIKUCHI, R. K. P.; LEÃO, Z. M. A. N.; OLIVEIRA, M. D. M. **Conservation status and spatial patterns of AGRRA vitality indices in Southwestern Atlantic Reefs**. *Revista de Biología Tropical*, v. 58, p. 1-31, 2010.

KRUG, L. A.; GHERARDI, D. F. M.; STECH, J. L.; LEÃO, Z. M. A. N.; KIKUCHI, R. K. P.; HRUSCHKA, J.R. L.; SUGGETT, D. **The construction of causal networks to estimate coral bleaching intensity in Brazil**. *Environmental Modelling & Software*, v. 42, p. 157-167, 2013.

LEÃO, Z. M. A. N.; KIKUCHI, R. K. P.; TESTA, V. **Corals and coral reefs of Brazil**. In: CORTES, J. (Ed.). *Latin America Coral Reefs*. Amsterdã, Holanda: Elsevier, p. 9-52, 2003.

LEÃO, Z.M.A.N.; KIKUCHI, R.K.P.; OLIVEIRA, M.D.M. **Coral bleaching in Bahia reefs and its relation with sea surface temperature anomalies**. *Biota Neotrop*, v.8, n.3, 2008. <http://www.biotaneotropica.org.br/v8n3/en/abstract?article+bn00808032008>.

LEÃO, Z. M. A. N.; KIKUCHI, R. K. P.; OLIVEIRA, M.D.M.; VASCONCELLOS, V. **Status of Eastern Brazilian Coral Reefs in Time of Climate Changes**. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, v. 5, p. 52-63, 2010.

LEÃO, Z. M. A. N.; NETO, A. M.; FERREIRA, B. P.; FEITOSA, C. V.; SAMPAIO, C. L. S.; COSTA-SASSI, C. F.; NEVES, E. G.; FREIRE, F. A. M.; SILVA, G. O. M.; STRENZEL, G. M. R.; SOVIERZOSKI, HILDA. H.; OLIVEIRA, J. E. L.; MENDES, L. F.; SOARES, M. O.; ARAUJO, M. E.; OLIVEIRA, M. D. M.; MAIDA, M.; CORREIA, M. D.; ROSA, R. S.; SASSI, R.; JOHNSON, R.; FRANCINI-FILHO, R. B.; KIKUCHI, R. K. P.; LEITE, T. S. **Protocolo de monitoramento de ambientes coralíneos**. 2014. Disponível em: <http://www.inctambtropic.org/Reports/Protocolo%20-%20Recifes%20VERS%C3%83O%20FINAL%204%20para%20INCT.pdf>

MAIDA, M.; FERREIRA, B. P. **Coral reefs of Brazil: an overview**. In: *Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium*, 1, 1997, Leiden. Abstracts. Netherlands, p.263-274. 1997.

MARTINS, A.S. **Estrutura da comunidade recifal e branqueamento de corais: estudo de caso no litoral do Ceará (NE, Brasil)**. Monografia (Curso de Engenharia de Pesca), Universidade Federal do Ceará. 2013.

MUEHE, D. **O litoral brasileiro e sua compartimentação**. In: *Geomorfologia do Brasil*. CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T (Ed.), Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, p.273-349, 1998.

OIGMAN-PSZCZOL, S. S.; CREED J. C. **Can patterns in benthic communities be explained by an environmental pressure index?** *Marine Pollution Bulletin*, v.62,n.10, p.2181–218, 2011.

PALUMBI, S.R.; BARSHIS, D. J.; TRAYLOR-KNOWLES, N.; BAY, R. A. **Mechanisms of reef coral resistance to future climate change**. *Science*, v.23, p. 895-898, 2014.

POGGIO, C.; LEÃO, Z.; MAFALDA-JUNIOR, P. **Registro de branqueamento sazonal em *Siderastrea spp.* em poças intermareais do recife de Guarajuba, Bahia, Brasil**. *Interciência*, v.34, n.7, p. 502-506, 2009.

SANDERS, D.; BARON-SZABO, R.C. **Scleractinian assemblages under sediment input: their characteristics and relation to the nutrient concept**. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 216, p. 139-181, 2005.

SOARES, M.O.; RABELO, E.F. **Primeiro registro de branqueamento no litoral do Ceará (NE-Brasil): Indicador das mudanças climáticas?** *Geociências (São Paulo)*, v. 33, p. 1-10, 2014.

SOUZA, I. M. M. D. **Avaliação da cobertura e monitoramento do branqueamento de corais nos recifes de Maracajaú/RN**. Dissertação Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ecologia), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2012.

SPALDING, M. D.; RAVILIOUS, C.; GREEN, E.P. **World Atlas of Coral Reefs**. Prepared at the UNEP World Conservation Monitoring Centre. Berkeley. 432 p 2001.

SOARES, M.O.; RABELO, E.F. **Primeiro registro de Branqueamento no litoral do Ceará (NE, BRASIL): Indicador das mudanças climáticas?** *Revista de Geociências (UNESP)*, v. 33, n. 1, p.1-10, 2014.

VILLAÇA, R. C. **Recifes Biológicos** In: *Biologia Marinha*. 2^a ed. Interciência Rio de Janeiro, p. 399-420. 2009.

WILKINSON, C. **Status of coral reefs of the world: 2008**. Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Centre, Townsville, Australia, 296 p. 2008.