



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

YASMIN MARQUES AYRES

BACTÉRIAS NA CAMADA CRÍTICA SUPERFICIAL E BIOAEROSSOIS
MARINHOS NO OCEANO ATLÂNTICO EQUATORIAL

FORTALEZA
2020

YASMIN MARQUES AYRES

BACTÉRIAS NA CAMADA CRÍTICA SUPERFICIAL E BIOAEROSSOIS MARINHOS NO
OCEANO ATLÂNTICO EQUATORIAL

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

Orientadora: Prof. Dr.(a) Oscarina
Viana de Sousa.

FORTALEZA
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A989b Ayres, Yasmin Marques.
BACTÉRIAS NA CAMADA CRÍTICA SUPERFICIAL E BIOAEROSSOIS MARINHOS NO
OCEANO ATLÂNTICO EQUATORIAL / Yasmin Marques Ayres. – 2020.
45 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de
Ciências do Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2020.

Orientação: Profa. Dra. Oscarina Viana de Sousa.

1. Microcamada Superficial Oceânica. 2. Bioarossosos marinhos. 3. PIRATA. 4. Ambiente marinho.
5. Atmosfera. I. Título.

CDD 551.46

YASMIN MARQUES AYRES

BACTÉRIAS NA CAMADA CRÍTICA SUPERFICIAL E BIOAEROSSOIS MARINHOS NO
OCEANO ATLÂNTICO EQUATORIAL

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

Orientadora: Prof. Dr.(a) Oscarina Viana de Sousa.

Aprovada em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Oscarina Viana de Sousa (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antonio Geraldo Ferreira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Mestre Jamille da Silva Rabelo
Universidade de São Paulo (USP)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, primeiramente, à Deus por me conceder o dom da vida. Segundo, aos meus pais: Lúcia Maria Marques Ayres e Renato Ayres da Silva, por todos os ensinamentos e por me auxiliarem nesse longo processo com amor e paciência, me mostrando que sempre posso contar com seu apoio. Agradeço também à toda minha família, meus irmãos Luan, Roberta e Renata; meus tios e tias, primas; minha avó Zeni, que me cuida lá de cima e à todos que torcem por mim.

Da mesma forma, agradeço meu companheiro Arthur Holanda por toda compreensão, amor e paciência e por estar presente nos momentos bons e ruins. À Lara, por me alegrar e me mostrar que sempre posso contar com seu ombro amigo e à minha segunda família, Alany, Elber e Ed, que me tratam como filha.

Agradeço, de tal modo, a todo corpo docente do Curso de Oceanografia da Universidade Federal do Ceará (UFC), especialmente aos professores (as) Oscarina Viana e Ana Paula, por suas contribuições durante meu percurso enquanto aluno.

Agradeço também aos meus amigos: Malu Vilanova, Camila Guerreiro, Sarah Maria, Gabriela Cristina e Isaias da Câmara, por todo apoio e amizade, tornando esse processo mais divertido, bem como a todos que, de alguma forma, estiveram ao meu lado nessa jornada. Minha gratidão especial à Gabi e Isaias que me auxiliaram durante toda a análise em laboratório, contribuindo em conjunto para os resultados aqui apresentados.

Gratidão à Marinha do Brasil e ao Projeto PIRATA, ao Professor Geraldo Ferreira, bem como a todos os pesquisadores, especialmente às queridas: Paula Candiago, Kétini Baccin, Aline de Godoy, Milagros Aliaga e Denise Peresin, bem como os oficiais e destacados que nos ajudaram em todo o processo.

Por fim, agradeço ao LAMAP, que me abriu os olhos para a microbiologia marinha, bem como aos companheiros de laboratório, em especial à Rebeca Martins, Jade Abreu, Cristiane Teles, Jamille Rabelo, Anna Brito, que sempre me auxiliaram com boa vontade. À Professora Oscarina Viana, que aceitou me orientar, contribuindo na idealização e construção deste trabalho, pelo acolhimento nos momentos de dúvida e pelas palavras de alento, com seu jeito singular, que me fizeram seguir adiante.

“São as nossas escolhas que revelam o que realmente somos, muito mais do que nossas qualidades.”

(Alvo Dumbledore)

RESUMO

A microbiota presente nas camadas superficiais do oceano e na atmosfera é variada e abundante, podendo sofrer influência de diversos fatores que contribuem para sua dispersão. Esses microrganismos interagem com a interface água/ar e tem grande importância nos processos meteorológicos e oceanográficos. Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo identificar, bioquimicamente, as estirpes bacterianas presentes nas amostras coletadas da microcamada superficial oceânica e bioaerossóis marinhos, no Oceano Atlântico e Equador, relacionando com a influência de processos oceanográficos na dispersão desses microrganismos. Para isso foram realizadas amostragens, durante embarque do Projeto PIRATA, de bioaerossóis marinhos e da camada crítica superficial ao longo do Atlântico Sul e Equador, bem como a medição dos parâmetros físico-químicos em cada ponto de coleta. As amostras foram armazenadas e levadas para análise no Laboratório de Microbiologia Ambiental e do Pescado (LAMAP), localizado no Instituto de Ciências do Mar, onde as estirpes bacterianas foram isoladas e identificadas por processos de fenotipagem. Foram encontrados, ao todo, 10 grupos taxonômicos que se distribuem de forma diferente nos dois ambientes com destaque para representantes da família Enterobacteriaceae e a espécie *Serratia liquefaciens*. Esses grupos demonstram a contribuição do continente para a composição da microbiota da microcamada superficial e bioaerossóis marinhos.

Palavras-chave: Ambiente marinho. Atmosfera. Microcamada superficial. Neuston. PIRATA

ABSTRACT

The microbiota present in the surface layers of the ocean and in the atmosphere is varied and abundant, and may be influenced by several factors that contribute to its dispersion. These microorganisms interact with the water / air interface and are of great importance in meteorological and oceanographic processes. Thus, the present study aimed to biochemically identify bacterial strains present in samples collected from the oceanic surface microlayer and marine bioaerosols in the Atlantic Ocean and Equator, relating to the influence of oceanographic processes on the dispersion of these microorganisms. For this purpose, samplings were carried out, during the PIRATA Project expedition, of marine bioaerosols and the critical surface layer along the South Atlantic and Ecuador, as well as the measurement of the physical-chemical parameters at each collection point. The samples were stored and taken for analysis at the Laboratory of Environmental and Fish Microbiology (LAMAP), located at the Institute of Marine Sciences, where bacterial strains were isolated and identified by phenotyping processes. In total, 10 taxonomic groups were found that are distributed differently in the two environments, with emphasis on representatives of the Enterobacteriaceae family and the species *Serratia liquefaciens*. These groups demonstrate the continent's contribution to the composition of the surface micro-layer microbiota and marine bioaerosols.

Keywords: Marine environment. Atmosphere. Superficial microlayer. Neuston. PIRATA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa da localização das boias do Projeto PIRATA no Atlântico Sul e Equador.....	21
Figura 2 - Navio de Pesquisa Hidroceanográfico Vital de Oliveira.....	21
Figura 3 - Boia fundeada do Projeto PIRATA.....	23
Figura 4 – Amostragem da MCSO.....	24
Figura 5 – Amostragem da MCSO.....	24
Figura 6 - Amostragem de bioaerossóis marinhos pelo método de sedimentação espontânea...25	
Figura 7 - Fluxograma do processamento de amostras da MCSO (<i>Pour Plate</i>)	26
Figura 8 - Fluxograma representando coloração de Gram.....	27

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Informações sobre o dia de coleta e parâmetros físico-químicos.....	22
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LAMAP	Laboratório de Microbiologia Ambiental e do Pescado
MCSO	Microcamada Superficial Oceânica
NPqHo	Navio de Pesquisa Hidroceanográfico
PCA	Agar de Contagem em Placa
UFC	Universidade Federal do Ceará
UV	Ultravioleta
VM	Vermelho de Metila
VP	Voges-Proskauer

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Grau Celsius
m	Metro
ppm	Parte por milhão
hPa	Hectopascal
kt	Quilotonelada
nós	Unidade de velocidade

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Número de estirpes bacterianas isoladas, de acordo com o ponto de coleta, das amostras de bioaerossóis e microcamada superficiais próximos à boias oceanográficas no Atlântico e Equador.....	28
Gráfico 2 - Porcentagem de bactérias Gram-negativas e Gram-positivas, isoladas das amostras da MCSO e bioaerossóis marinhos coletadas próximos à boias oceanográficas no Atlântico e Equador.....	29
Gráfico 3 - Ocorrência dos grupos bacterianos cultiváveis identificados em amostras da MCSO próximos a boias oceanográficas no Atlântico e Equador.....	33
Gráfico 4 - Porcentagem dos grupos bacterianos cultiváveis identificados na MCSO de acordo com o ponto de coleta.....	34
Gráfico 5 - Porcentagem dos grupos bacterianos cultiváveis identificados na MCSO em pontos próximos a boias oceanográficas no Atlântico e Equador.....	35
Gráfico 6 - Ocorrência dos grupos bacterianos cultiváveis identificados dos bioaerossóis marinhos coletados próximos a boias oceanográficas no Atlântico e Equador.....	38
Gráfico 7 - Porcentagem dos grupos bacterianos cultiváveis identificados nos bioaerossóis marinhos de acordo com o ponto de coleta.....	39
Gráfico 8 - Porcentagem dos grupos bacterianos cultiváveis identificados nas amostras de bioaerossóis marinhos em pontos próximos a boias oceanográficas no Atlântico e Equador..	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização bioquímica dos isolados bacterianos na Microcamada Superficial Oceânica coletados próximos a boias oceanográficas no Atlântico e Equador.....	30
Tabela 2 - Caracterização bioquímica dos isolados bacterianos dos bioaerossóis marinhos coletados em 2 boias próximas a boias oceanográficas no Atlântico e Equador.....	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Microcamada Superficial Oceânica	17
2.2 Bioaerossóis Marinhos	17
2.3 Ventos	18
2.4 Correntes Oceânicas	18
2.5 Temperatura	19
2.6 Umidade relativa do ar	20
3 OBJETIVOS	21
3.1 Objetivo geral	21
3.2 Objetivos específicos	21
4 ÁREA DE TRABALHO	22
5 METODOLOGIA	23
5.1 Período de Coleta	23
5.2 Procedimento de Coleta	23
<i>5.2.1 Microcamada Superficial Oceânica</i>	<i>24</i>
<i>5.2.2 Bioaerossóis Marinhos</i>	<i>25</i>
5.3 Processamento das Amostras	26
<i>5.3.1 Microcamada Superficial Oceânica</i>	<i>26</i>
<i>5.3.2 Bioaerossóis Marinhos</i>	<i>27</i>
5.4 Isolamento de bactérias	27
5.5 Identificação	28
<i>5.5.1 Análise Morfotintoral</i>	<i>28</i>
5.6 Testes bioquímicos	28
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
6.1 Isolados bacterianos	29
6.2 Caracterização Morfotintoral	30
6.3 Identificação dos isolados bacterianos	31
<i>6.3.1 Microcamada Superficial Oceânica</i>	<i>31</i>
<i>6.3.2 Bioaerossóis Marinhos</i>	<i>37</i>
CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

Os oceanos ocupam a maior parte do nosso planeta, cerca de 70% da superfície da Terra, e possui um papel de grande relevância nos processos que ocorrem na interface oceano-atmosfera (CUNLIFFE; MURRELL, 2009). No entanto, os estudos relacionados a esse ambiente e sua microbiota são recentes e ainda há inúmeros aspectos que não conhecemos.

A Microcamada Superficial Oceânica (MCSO) é um ambiente único com características químicas e biológicas variáveis em comparação com as águas subjacentes. No entanto, a MCSO é enriquecida de material orgânico, que pode contribuir para o crescimento bacteriano, de tal maneira que elas podem se tornar mais abundantes do que em regiões subsuperficiais (AGOGUÉ *et al.*, 2005; ALLER *et al.*, 2005). Os microrganismos que ocupam esse habitat específico são denominados neuston e são expostos a altas intensidades de radiação solar, principalmente radiação UV, altas concentrações de substâncias orgânicas tóxicas e metais pesados, além de variações de temperatura e salinidade o que pode caracterizá-lo como um ambiente extremo para a vida microbiana (REINTHALER; SINTES; HERNDL, 2008, HARDY, 1982). Assim, podemos acreditar que o bacterioneuston – comunidade bacteriana da microcamada superficial oceânica – apresenta estratégias de sobrevivência a essas condições (AGOGUÉ *et al.*, 2005) e são contribuidores importantes para a formação dos aerossóis marinhos.

Os bioaerossóis são definidos como partículas sólidas transportadas pelo ar originárias de organismos biológicos, incluindo microrganismos (SEIFRIED *et al.*, 2015). Eles surgem através da explosão de bolhas, que são formadas pela ação das ondas, dentre outros processos. Logo, interações oceano-atmosféricas geram continuamente bolhas estouradas e subsequentemente introduzem muitos microrganismos marinhos no ar. (CHO; HWANG, 2011).

Essa pesquisa é baseada em dados obtidos em um cruzeiro oceanográfico no oceano Atlântico Equatorial, a bordo do Navio de Pesquisa Hidroceanográfico (NPqHo) Vital de Oliveira durante a execução do monitoramento de boias ancoradas, realizada através do Projeto PIRATA (*Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic*). O nosso objetivo foi identificar fenotipicamente estirpes bacterianas coletadas da microcamada superficial oceânica e bioaerossóis marinhos em pontos próximos de quatro boias localizadas no Oceano Atlântico e Equador.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Microcamada Superficial Oceânica

A MCSO engloba a superfície da água até às primeiras centenas de micrômetros e apresenta propriedades físico-químicas e biológicas consideravelmente distintas das observadas nas águas subjacentes (ALVES, 2014). A presença de filmes orgânicos e de forças de tensão superficial da própria interface fornecem uma área física estável, onde compostos, materiais particulados e organismos podem se concentrar. Por outro lado, é um ambiente com instabilidade climática, sujeito a maiores extremos de temperatura, salinidade e energia solar do que a coluna d'água (HARDY, 1982). Além disso, as partículas originadas no oceano desempenham um papel de grande relevância no sistema climático, de forma direta ao dispersarem e absorverem a radiação solar, ou indireta quando atuam como núcleos de condensação de nuvens, influenciando assim os tamanhos das gotículas, a cobertura de nuvens e o albedo (ALVES, 2014).

A MCSO é geralmente enriquecida em material orgânico, e isso pode estimular o crescimento bacteriano e o desenvolvimento de cadeias alimentares microbianas (AGOGUÉ *et al.*, 2005). De tal forma, bactérias podem ser 1000 vezes mais abundantes na MCSO do que em águas subjacentes, o que sugere uma atividade microbiana elevada (ALLER *et al.*, 2005).

No entanto, apesar do estresse provocado pela radiação ultravioleta (UV) às bactérias patogênicas, a matriz orgânica da MCSO pode representar um escudo protetor para estes microrganismos (ALVES, 2014).

2.2 Bioaerossóis Marinhos

Os aerossóis marinhos são formados primariamente pela erupção das bolhas que ascendem através da microcamada superficial oceânica, representando o principal vetor de transporte seja de constituintes orgânicos e inorgânicos, ou de bactérias e vírus, através da interface oceano-atmosfera, além de serem constituintes importantes da camada de interação entre o oceano e a atmosfera. (ALVES, 2014; LEEUW *et al.*, 2014). As partículas de aerossol fornecem superfícies para processos químicos heterogêneos, elas também atuam como um dissipador de condensação para gases residuais atmosféricos. (ALVES, 2014).

Os bioaerossóis são partículas que integram as bactérias, fungos e vírus que ascendem da coluna d'água em direção à superfície por meio do estouro de bolhas e, ainda, pelo

choque de ondas, em conjunto com outras partículas. Essas bolhas são facilmente dispersas por vários metros na atmosfera, onde bactérias e vírus podem se acumular, e conseqüentemente, ao estourar, o material transportado pelas bolhas é liberado para a MCSO bem como para a atmosfera. (ALLER *et al.*, 2005).

Uma vez no ar, as gotículas evaporam e bactérias em forma de aerossol podem ser transportadas com as massas de ar por longas distâncias. O destino das bactérias no ar depende de uma combinação de fatores ambientais, incluindo intensidade da luz solar, tamanho e composição das gotas, bem como temperatura e umidade do ar (MARKS *et al.*, 2001).

Ademais, Leeuw *et al.* (2014), afirmam ainda que:

As emissões dos navios e os vulcões também contribuem para o aerossol primário na atmosfera marinha. A formação secundária de aerossóis a partir de gases liberados da superfície do mar também contribui significativamente para a carga de aerossóis na atmosfera marinha. Além disso, aerossóis formados sobre a terra por processos de formação primária ou secundária são transportados pelos oceanos e contribuem substancialmente para as concentrações de aerossóis na maioria dos oceanos do mundo.

2.3 Ventos

A causa inicial para o ar entrar em movimento é o desenvolvimento de um gradiente de pressão horizontal, que move o ar de áreas de alta pressão para áreas de menor pressão (AYOADE, 1996).

O padrão de circulação no Hemisfério Sul, consiste na atuação dos ventos alísios de sudeste, formados nas latitudes de 30°, os ventos predominantes de oeste e ventos polares de leste. No Equador ocorre a convergência dos alísios de nordeste e sudeste, que gera a Zona de Convergência Intertropical (AYOADE, 1996; GARRISON, 2016).

A ação do vento produz aerossóis que replicam as características da microcamada superficial oceânica, contendo matéria orgânica, sais inorgânicos e microrganismos semelhantes aos da água do mar (ALVES, 2014).

2.4 Correntes Oceânicas

A circulação gerada pelo vento resulta da interação entre o vento e a superfície oceânica, gradientes horizontais de pressão e deflexão de Coriolis. As colisões de moléculas de

ar com moléculas de água na superfície dos oceanos colocam as moléculas de água em movimento, gerando uma corrente oceânica (CASTELLO e KRUG, 2015).

No Hemisfério Sul, a corrente da camada superficial move-se 45° à esquerda da direção do vento e a camada abaixo desta também deflete para a esquerda em relação a corrente superficial e assim sucessivamente, gerando uma corrente em espiral, chamada de espiral de Ekman. Contudo, o transporte total integrado verticalmente ocorre 90° à esquerda do vento no Hemisfério Sul (CASTELLO E KRUG, 2015). O regime de ventos atuante na região do Atlântico Equatorial, consiste nos ventos alísios, que são os ventos superficiais da célula de Hadley (GARRISON, 2016). O atrito gerado por esses ventos gera um sistema de correntes, que na região do estudo, são: Corrente Sul Equatorial, Corrente Norte do Brasil e Contracorrente Norte Equatorial. (MACHADO, 2019).

No entanto, pouco se sabe sobre os impactos das correntes oceânicas (ou sistemas frontais) nas comunidades microbianas e as funções que elas mediam, logo, a complexidade do ecossistema tridimensional do oceano torna mais complicado os esforços para o entendimento do impacto das características oceanográficas nos microbiomas marinhos (PHOMA *et al.*, 2018).

Segundo Doblin e Sebillé (2016), microrganismos do oceano superior experimentam uma variabilidade de temperatura ao longo da sua trajetória nas correntes oceânicas e essa variabilidade depende fortemente da localização, o que demonstra que a deriva nas correntes oceânicas pode aumentar a exposição térmica desses microrganismos, sugerindo que as populações microbianas mais tolerantes à variação de temperatura irão sobreviver ao transporte para regiões distantes do oceano, invadindo novos habitats.

2.5 Temperatura

Na camada de mistura, a temperatura varia em função da latitude, onde os máximos valores ocorrem na região equatorial, que recebe uma quantidade mais intensa de radiação, e decresce em direção aos polos (CASTELLO e KRUG, 2015).

Os microrganismos apresentam uma temperatura ótima, que consiste na faixa de temperatura ideal para seu crescimento. As bactérias podem ser divididas em quatro grupos quanto à sua temperatura ótima: psicrófilos (baixas temperaturas), mesófilos (até 50 °C), termófilos (até 100 °C) e hipertermófilos (acima de 100 °C) (MADIGAN *et al.*, 2010).

2.6 Umidade relativa do ar

A quantidade de vapor d'água pode variar de lugar para lugar, e é um dos componentes mais importantes na demarcação do clima no planeta. Além de indicar a capacidade da atmosfera de produzir precipitação, o vapor d'água também absorve radiação solar e terrestre, atuando como regulador térmico (AYOADE, 1996).

Ayoade (1996) afirma ainda que o vapor d'água atmosférico se origina através dos processos de evaporação e transpiração. Os valores de umidade diminuem conforme a altitude aumenta, resultando em uma concentração do mesmo em regiões abaixo de 2000m de elevação.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Caracterização e identificação de bactérias cultiváveis na microcamada superficial oceânica e bioaerossóis marinhos em pontos próximos a quatro boias oceanográficas localizadas ao longo Oceano Atlântico Equatorial.

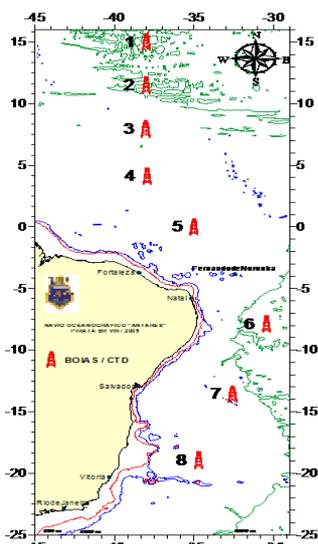
3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar de acordo com a parede celular os isolados bacterianos originários de amostras da microcamada superficial oceânica e bioaerossóis marinhos do oceano Atlântico Equatorial
- Identificar bioquimicamente as estirpes bacterianas isoladas e crescidas em condições de laboratório
- Relacionar a comunidade bacteriana cultivável da microcamada superficial oceânica e bioaerossóis marinhos entre eles e com os fatores oceanográficos.

4 ÁREA DE TRABALHO

Os bioaerossóis marinhos e organismos da MCSO foram coletados em 4 boias oceanográficas B1(15°N 38°W), B2(12°N 38°W), B3(8°N 38°W) e B4(4°N 38°W), localizadas no Atlântico e no Equador (0°N 35°W) (vide Figura 1), à bordo do Navio de Pesquisa Hidroceanográfico (NPqHo) Vital de Oliveira (Figura 2):

Figura 1 - Localização das boias do projeto PIRATA no Atlântico Sul e Equador



Fonte: Marinha do Brasil.

Figura 2 - Navio de Pesquisa Hidroceanográfico Vital de Oliveira.



Fonte: Diretoria de hidrografia e navegação.

5 METODOLOGIA

5.1 Período de Coleta

As amostras foram coletadas no mês de novembro e dezembro do ano de 2017, sob os seguintes parâmetros físico-químicos (Quadro 1).

Quadro 1 - Informações sobre os dias de coleta e parâmetros físico-químicos atuantes.

	Boias				
	B1	B2	B3	B4	Eq
Data Coleta	23/11	25/11	27/11	30/11	02/12
Temp. Ar	28.4 °C	26.4 °C	35.5 °C	25.7 °C	26.5 °C
Umidade Rel.	63%	74%	49%	82%	78%
Pressão atm.	1013.0 hPa	1012.0 hPa	1012.6 hPa	1008.6 hPa	1008.5 hPa
Vel. Vento	7.6 kn/2.4kt	5.1 kt/5.3kt	5.0 kt/8.9 nós	11.1 kt/15.6 nós	8.1 kt/18.0 nós
Direção Vento	103° / 213°	28° / 63°	161° / 302°	9° / 72°	23° / 85°

Fonte: O Autor, 2020.

5.2 Procedimento de Coleta

Durante a coleta, dados como salinidade e temperatura, foram obtidos através dos sensores acoplados à boia, que medem os parâmetros físico-químicos durante, aproximadamente, 12 meses (Figura 3).

Figura 3 - Boia fundeada do projeto PIRATA.

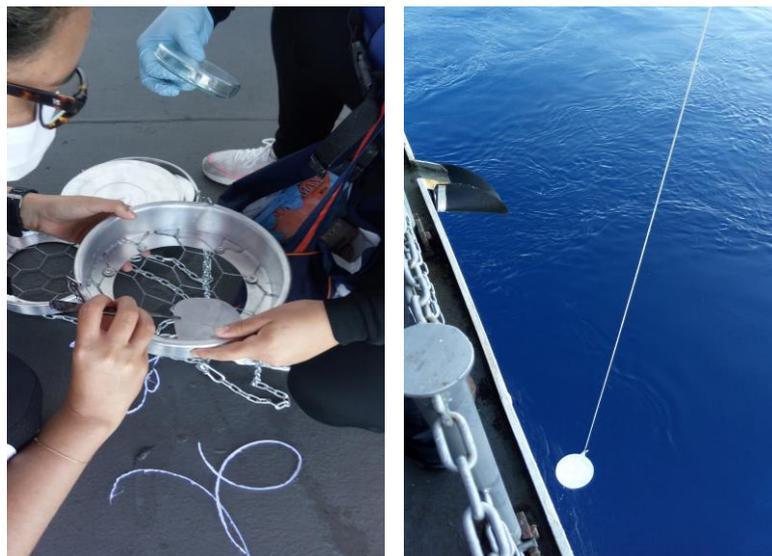


Fonte: Marinha do Brasil.

5.2.1 *Microcamada Superficial Oceânica*

Foi usado um amostrador contendo um disco de papel filtro esterilizado como elemento coletor. O sistema de coleta foi baixado até entrar em contato com a superfície da água e içado em seguida (Figuras 4 e 5). O elemento coletor foi retirado assepticamente e colocado em placa de Petri esterilizada, coberto com meio de cultura PCA (técnica *Pour Plate*). As placas foram fechadas e guardadas para posterior processamento no Laboratório de Microbiologia Ambiental e do Pescado (LAMAP) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Figuras 4 e 5 - Amostragem da MCSO.



Fonte: Rabelo, 2017.

5.2.2 Bioaerossóis Marinhos

Foi aplicada a técnica de sedimentação espontânea em placas (PASQUARELLA *et al.*, 2000) para a coleta dos bioaerossóis marinhos, em placas de Petri contendo o meio de cultura Ágar PCA (*Plate Count Agar*), preparado com água do mar a uma salinidade de 10 ppm como diluente. A superfície do meio foi exposta ao ar durante 30 minutos e em seguida a placa foi tampada e acondicionadas (Figura 6).

Figura 6 - Amostragem de bioaerossóis marinhos pelo método de sedimentação espontânea.



Fonte: Rabelo, 2017.

5.3 Processamento das Amostras

5.3.1 Microcamada Superficial Oceânica

As amostras da MCSO foram processadas segundo a técnica *Pour Plate* a bordo do navio e em laboratório, que consiste na deposição do meio de cultura após a inserção da amostra em placa de Petri (MADIGAN *et al.*, 2010). Em meio de cultura Ágar PCA (*Plate Count Agar*) diluído com água do mar a 10 ppm de salinidade e após a solidificação do meio, as placas foram incubadas em estufa à 35 °C por um período de 48 horas. O esquema de processamento dessas amostras está apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Fluxograma do processamento das amostras da MCSO (*Pour Plate*).



Fonte: O Autor, 2020.

5.3.2 *Bioaerossóis Marinhos*

Após o período de sedimentação das amostras de bioaerossóis, as placas de Petri foram fechadas e incubadas em estufa à 35 °C por 48 horas.

5.4 Isolamento de bactérias

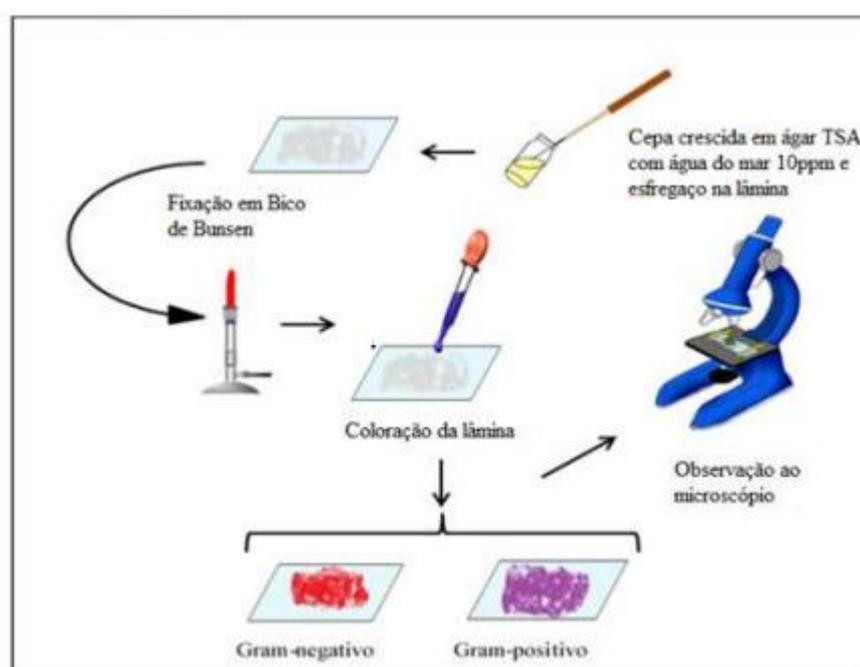
As colônias crescidas nos meios de cultura foram selecionadas e transferidas para meio de cultura Ágar PCA (*Plate Count Agar*) diluído com água do mar a 10 ppm e incubadas à 35 °C durante 24 horas, para o procedimento de isolamento de estirpes. A morfologia e características de parede celular das culturas bacterianas foram analisadas por coloração de Gram.

5.5 Identificação

5.5.1 Análise Morfológica

A análise das estirpes isoladas foi realizada através da técnica de coloração de Gram (Figura 8), onde, através da diferença quanto à parede celular, é possível classificar as bactérias em Gram-positivas e Gram-negativas. (SOARES *et al.*, 1987; TORTORA *et al.*, 2005).

Figura 8 - Fluxograma representando a técnica de coloração de Gram



Fonte: Adaptado de SANTOS, 2013.

5.6 Testes bioquímicos

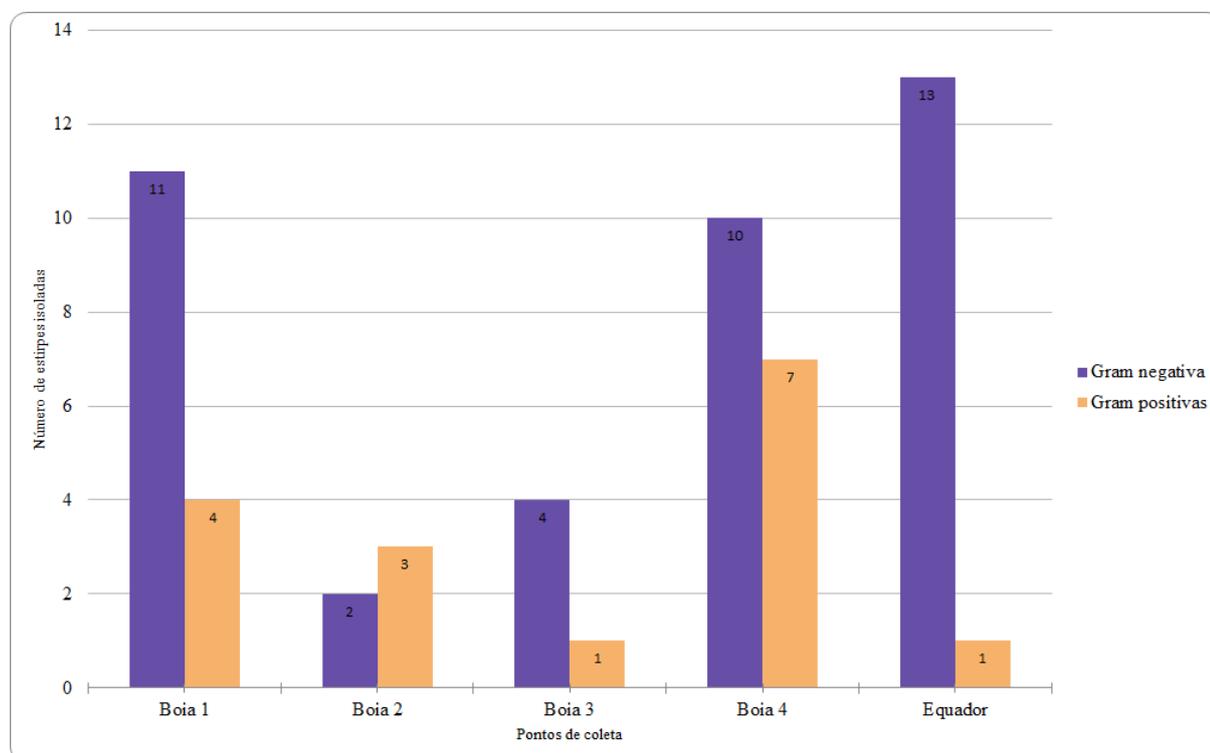
Para identificar as estirpes isoladas, seguiu-se o manual de identificação de Bergey (STALEY *et al.*, 2005) com provas bioquímicas que ajudam a caracterizar os isolados bacterianos de acordo com as respostas aos testes. Foram realizados testes de catalase, motilidade, oxidase, produção de sulfeto de hidrogênio (H₂S), produção de indol, teste de vermelho de metila (VM) e *Voges-Proskauer* (VP), caldo ureia, citrato *Simmons* e crescimento em meios de cultura seletivos como ágar *MacConkey* (KONEMAN *et al.*, 2006; STALEY *et al.*, 2005).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Isolados bacterianos

As amostras foram coletadas na microcamada superficial oceânica (MSCO) e nos bioaerossóis em quatro boias oceânicas (B1, B2, B3 e B4) e na linha do Equador (E). Foram isoladas 56 cepas no total, sendo 36 da microcamada superficial e 20 de bioaerossóis marinhos. O número, a origem dos isolados e a caracterização da parede celular estão apresentados no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Número de estirpes bacterianas isoladas, de acordo com o ponto de coleta, das amostras de bioaerossóis e microcamada superficial próximas a boias oceanográficas no Atlântico e Equador.



Fonte: O Autor, 2020.

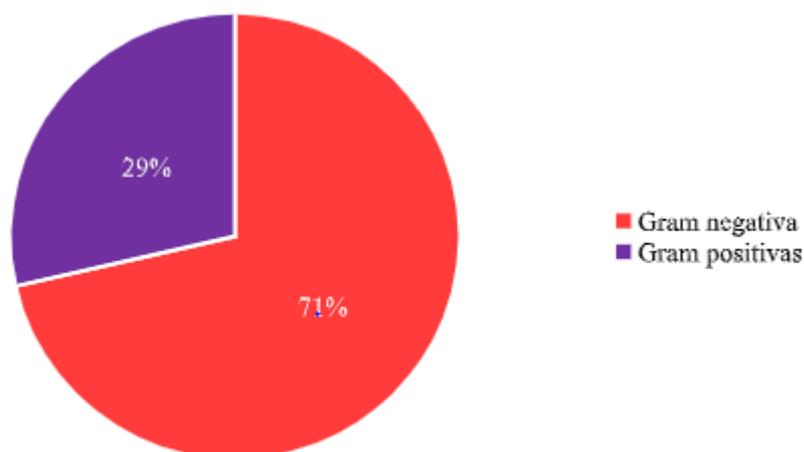
Observa-se que a quantidade de isolados foi maior nas amostras coletadas na boia 4 e no ponto próximo ao Equador, visto que estão localizadas mais próximas do continente e podem sofrer influência antrópica direta do mesmo através do vento e das correntes superficiais. Os ventos são responsáveis por carregar microrganismos da microcamada superficial, bem

como bioaerossóis, por longas distâncias, contribuindo para a dispersão dessa microbiota (ALVES, 2014; CHO; HWANG, 2011).

6.2 Caracterização Morfotintoral

Do total de cepas isoladas na MCSO e bioaerossóis, 71% das bactérias apresentaram característica de parede celular Gram-negativa e 29% Gram-positiva, ressaltando a predominância de bactérias Gram-negativas em quase todos os pontos de coleta (Gráfico 2):

Gráfico 2 - Porcentagem de bactérias Gram-negativas e Gram-positivas, isoladas das amostras da MCSO e Bioaerossóis marinhos coletadas próximos a boias oceanográficas no Atlântico e Equador.



Fonte: O Autor, 2020.

Dentre os isolados da microcamada superficial e bioaerossóis marinhos, houve a predominância de bactérias Gram-negativas (71%), conforme Cho e Hwang (2011) haviam observado também em seus estudos de bactérias presentes na MCSO e bioaerossóis *offshore*. A biota que compõe a microcamada superficial sofre influência marinha e continental, bem como dos ventos que realizam o transporte para esse ambiente (ALVES, 2014; CHO; HWANG, 2011). A predominância de estirpes Gram-negativas no ambiente marinho, tanto na MCSO quanto nos bioaerossóis, descrita nos estudos de Cho e Hwang (2011), foi constatada nas amostras analisadas, estando assim, de acordo com a literatura.

6.3 Identificação dos isolados bacterianos

6.3.1 Microcamada Superficial Oceânica

Dentre as culturas bacterianas crescidas a partir das amostras de MCSO foram isoladas 36 estirpes nos pontos no oceano Atlântico Equatorial (B1, B2, B3, B4) e próximo ao Equador (E), entre as quais foram caracterizados representantes dos filos Firmicutes e Proteobacteria; família Enterobacteriaceae; gêneros *Bacillus*, *Erwinia*, *Serratia*, *Tatumella*; bem como as estirpes *Edwardsiella tardia* e *Serratia liquefaciens*, conforme descrito abaixo (Tabela 1):

Tabela 1 - Caracterização bioquímica dos isolados bacterianos na Microcamada Superficial Oceânica coletados próximos a boias oceanográficas no Atlântico e Equador.

ORIGEM	ESTIRPE	PERFIS FENOTÍPICOS		
		CATALASE	MOTILIDADE	OXIDASE
B1	Filo Firmicutes	+	Sem Crescimento	-
	<i>Tatumella</i>	+	+	-
	<i>Serratia</i>	+	+	-
	Filo Proteobacteria	+	Sem Crescimento	-
	Enterobacteriaceae	+	+	-
	Filo Proteobacteria	+	+	+
	Filo Firmicutes	+	+	-
	Enterobacteriaceae	+	-	-
	Enterobacteriaceae	+	Sem Crescimento	-
B2	Filo Proteobacteria	+	+	-
	Filo Firmicutes	+	Sem Crescimento	-
	<i>Bacillus</i>	+	Sem Crescimento	-
	Filo Firmicutes	+	Sem Crescimento	-
	<i>Edwardsiella tarde</i>	+	+	-

Continua...

ORIGEM	ESTIRPE	PERFIS FENOTÍPICOS		
		CATALASE	MOTILIDADE	OXIDASE
B3	<i>Erwinia</i>	+	+	-
	<i>Bacillus</i>	+	+	-
	<i>Serratia</i>	+	+	-
	Enterobacteriaceae	+	+	-
	<i>Edwardsiella tarde</i>	+	+	-
B4	<i>Serratia liquefaciens</i>	+	+	-
	<i>Serratia liquefaciens</i>	+	+	-
	<i>Bacillus</i>	+	Sem Crescimento	-
	<i>Serratia liquefaciens</i>	+	+	-
	<i>Edwardsiella tarde</i>	+	+	-
	Enterobacteriaceae	+	+	-
	Filo Firmicutes	+	Sem Crescimento	-
E	Enterobacteriaceae	+	+	-
	Filo Proteobacteria	+	+	-
	Enterobacteriaceae	+	+	-
	Filo Proteobacteria	+	+	-
	Filo Proteobacteria	+	Sem Crescimento	+
	<i>Serratia liquefaciens</i>	+	+	-
	Enterobacteriaceae	+	+	-
	<i>Serratia liquefaciens</i>	+	+	-
	<i>Serratia liquefaciens</i>	+	+	-
	<i>Serratia liquefaciens</i>	+	+	-

Fonte: O Autor, 2020.

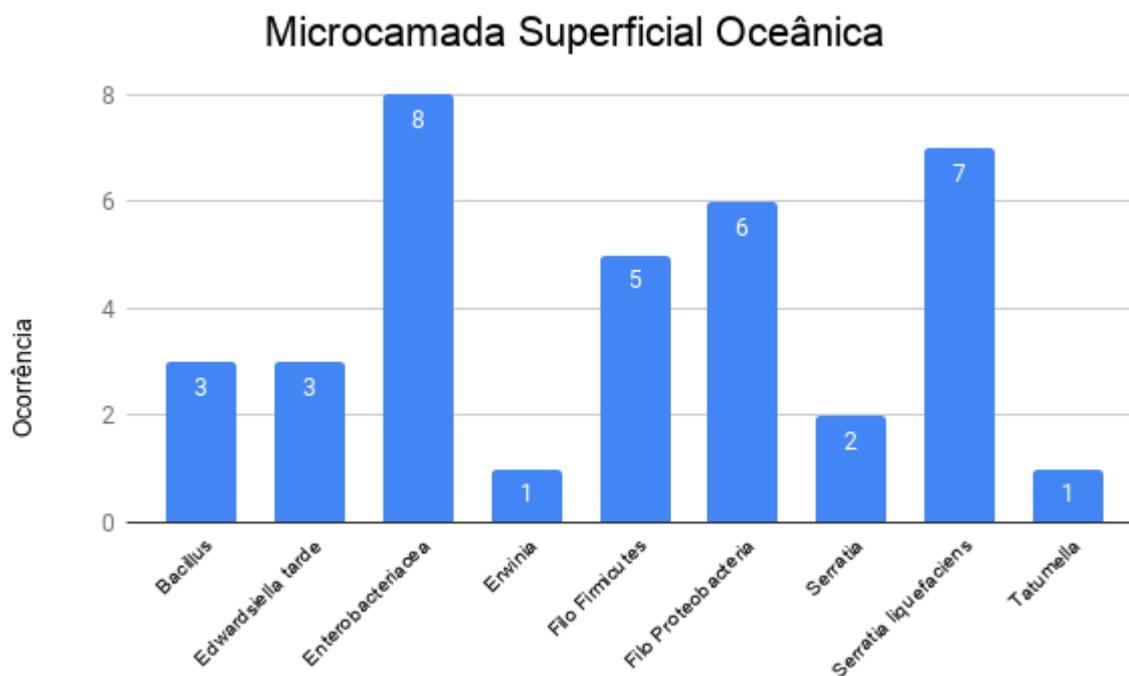
A MCSO é um local com características particulares, com grande variação de suas características físico-químicas, e é de fundamental importância nos processos de troca entre oceano e atmosfera. Esse ambiente apresenta uma microbiota vasta, resistente a condições extremas e variáveis, como a alta radiação solar e, no entanto, apresenta maior abundância de microrganismos em relação à coluna d'água (REINTHALER *et al.*, 2008; HARDY, 1982).

Na tabela 1 podemos visualizar que todas as estirpes bacterianas identificadas da microcamada superficial apresentaram resultado positivo para a prova de catalase. Essa enzima ativa que é um membro importante do sistema de defesa das células contra danos oxidativos (FU *et al.*, 2014)

Com relação à motilidade, que indica a capacidade de locomoção da bactéria, a maior parte das amostras analisadas apresentou essa característica, o que indica que essas bactérias são capazes de se realizar movimentos direcionados aproximando-se ou afastando-se de agentes físicos e químicos na natureza. Esse tipo de movimento é denominado *taxia* sendo os estudados: quimiotaxia uma resposta a agentes químicos e fototaxia uma resposta à luz (MADIGAN *et al.*, 2016).

As bactérias mais abundantes encontradas nas amostras da MCSO foram as pertencentes à família Enterobacteriaceae (7 cepas), que podem apresentar patogenicidade, incluindo a espécie *Serratia liquefaciens* (7 cepas), caracterizada por ser um patógeno causador de infecções no trato urinário e respiratório (MENEZES, 2004). Essas bactérias foram encontradas na maioria das amostras coletadas no ambiente marinho (Gráfico 3). Processos naturais e de origem antrópica, como descargas costeiras, podem contribuir para o aumento de substâncias poluentes nesse ambiente (CUNLIFFE *et al.*, 2013), o que pode explicar a presença dos microrganismos citados.

Gráfico 3 - Ocorrência dos grupos bacterianos cultiváveis identificados em amostras da MCSO próximos a boias oceanográficas no Atlântico e Equador.



Fonte: O Autor, 2020.

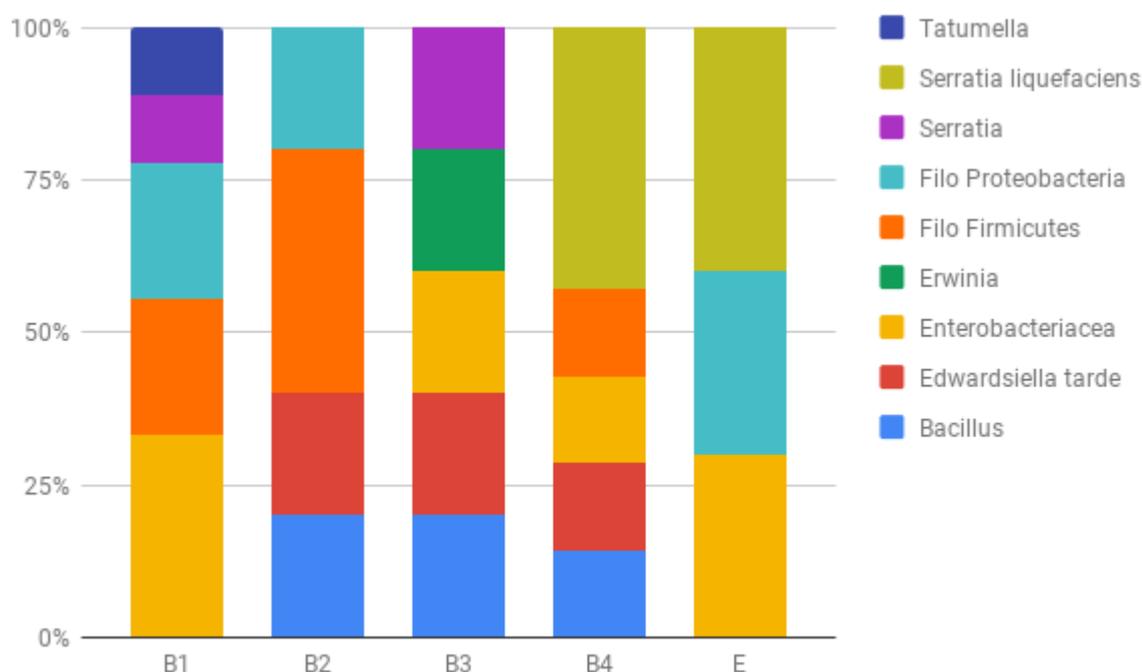
Diferente dos resultados observados no presente trabalho, Agogué *et al.* (2005), constataram a presença, em sua pesquisa com isolados da microcamada superficial oceânica no Mar Mediterrâneo, de estirpes bacterianas pertencentes ao filo Proteobacteria e Actinobacteria, espécies de *Bacillus*, dentre outros. Das estirpes citadas nos dois trabalhos, observa-se que o filo Proteobacteria está presente tanto nas amostras do Mar Mediterrâneo, quanto nas amostras do Atlântico Equatorial, o que pode ser explicado pelo fato de ser um filo extremamente amplo, contendo uma grande variedade de microrganismos com características que permitem que habitem dois ambientes tão distintos. Quanto às divergências, podemos atribuir às características particulares do ambiente mediterrâneo, como temperatura e salinidade, que diferem do ambiente observado no Oceano Atlântico Equatorial, influenciando na microbiota dessa região.

Já no Pacífico Sul, Obernosterer *et al.* (2008) determinaram que a estirpe mais abundante na microcamada superficial oceânica foi *Synechococcus* spp, uma cianobactéria do gênero *Synechococcus* que é abundante no oceano aberto e exerce papel importante na produção primária mundial (WANG *et al.*, 2011). Bactérias heterotróficas foram encontradas em minoria

(biomassa) quando comparadas às amostras de águas mais profundas (OBERNOSTERER *et al.*, 2008), o que contrasta com os resultados de Agogue (2004), logo são necessários mais estudos dentro da área para melhor compreensão dos resultados.

Estirpes do gênero *Bacillus* e da espécie *Edwardsiella tarde* foram encontradas nas boias B2, B3 e B4; Família Enterobacteriaceae nas boias B1, B3, B4 e E; *Erwinia* na boia B3; Filo Firmicutes nas boias B1, B2 e B4; Filo Proteobacteria nas boias B1, B2 e B4; *Serratia* nas boias B1 e B3; *Serratia liquefaciens* nas boias B4 e E; e por fim, *Tatumella* na boia B1 (Gráfico 4).

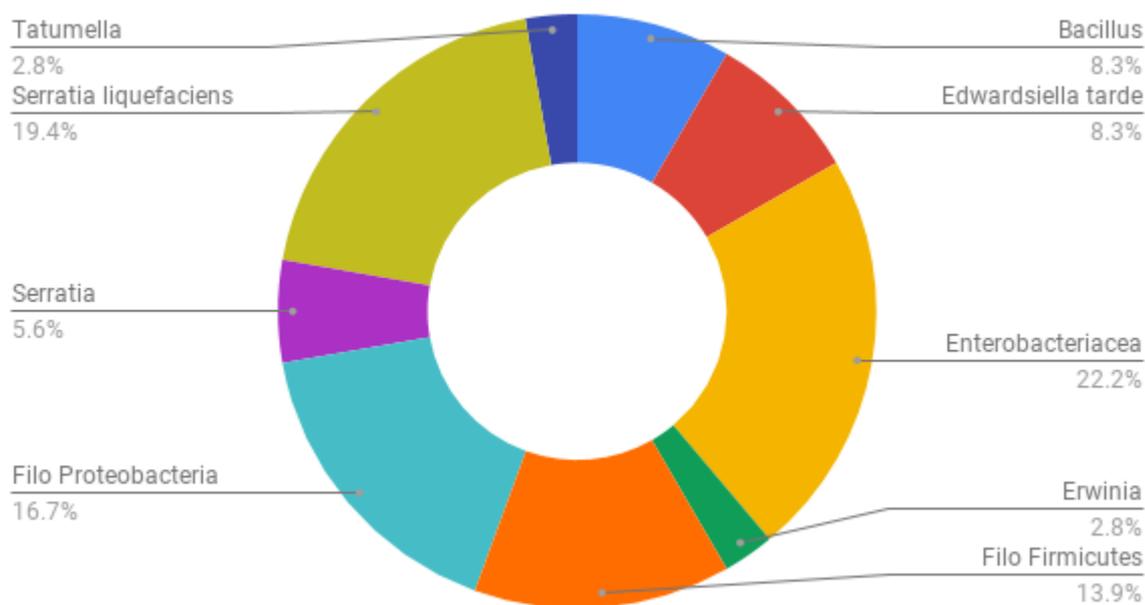
Gráfico 4 - Porcentagem dos grupos bacterianos cultiváveis identificados na MCSO de acordo com o ponto de coleta



Fonte: O Autor, 2018.

De acordo com o gráfico 5, a maior porcentagem das bactérias cultiváveis foi encontrada próximo as boias B1 e E, seguidos pelas boias B3 e B4. Pode-se explicar esse fato devido à proximidade do continente das boias B1 e E, bem como o regime de ventos e as correntes superficiais atuantes nessa região do Atlântico. As grandes cidades utilizam sistema de galerias pluviais, que podem sofrer falta de manutenção e serem acopladas à esgotos clandestinos, se tornando fonte de contaminação ao ambiente marinho (VIEIRA *et al.*, 2011).

Gráfico 5 - Porcentagem dos grupos bacterianos cultiváveis identificados na MCSO, em pontos próximos a boias oceanográficas no Atlântico e Equador.



Fonte: O Autor, 2020.

Os microrganismos sofrem influência do regime de ventos, bem como das correntes superficiais que atuam na região do Atlântico Equatorial, onde estas contribuem para a dispersão dessa microbiota vinda de regiões mais próximas do continente. Além disso, os testes realizados apontaram motilidade positiva para a maioria dos isolados, o que pode explicar o fato da maior porcentagem de estirpes serem pertencentes à família Enterobacteriaceae (33%), que é caracterizada por ser oriunda do trato intestinal de animais e seres humanos, serem encontradas à grandes distâncias da costa. Microrganismos pertencentes a essa família são utilizados como indicadores de qualidade de água, pois a presença destes pode impactar de forma direta e indireta os organismos que ali habitam, tornando importante a detecção rápida desses agentes infecciosos.

Além disso, sabe-se que além da proximidade com o continente, a circulação oceânica e a hidrodinâmica local também contribuem para a dispersão desses microrganismos. Logo, estudos mais aprofundados na área de oceanografia física são necessários para melhor compreender os processos envolvidos na dispersão da microbiota.

Ademais, é relevante a contribuição da microbiota presente na microcamada superficial oceânica e bioaerossóis marinhos nos processos climáticos e ciclos biogeoquímicos que ocorrem no nosso planeta, no entanto ainda há poucos estudos referentes a esse tema no Brasil.

6.3.2 Bioaerossóis Marinhos

Dos bioaerossóis marinhos, foram isoladas 20 estirpes, coletadas nas boias B1, B2, B3, B4 e E; no entanto, não houve crescimento nas amostras das boias B2 e B3. Foram caracterizados representantes dos filos Firmicutes e Proteobacteria; família Enterobacteriaceae; gêneros *Bacillus* e *Serratia liquefaciens*, conforme descrito abaixo (Tabela 2).

Tabela 2 - Caracterização bioquímica dos isolados bacterianos dos bioaerossóis marinhos em 2 boias ao longo do Oceano Atlântico Equatorial e em um ponto próximo a linha do Equador.

ORIGEM	ESTIRPE	PERFIS FENOTÍPICOS		
		CATALASE	MOTILIDADE	OXIDASE
B1	Filo Proteobacteria	+	-	-
	Filo Proteobacteria	+	Sem Crescimento	+
	Enterobacteriaceae	+	-	-
	Enterobacteriaceae	+	+	-
	Filo Firmicutes	-	+	-
	Filo Firmicutes	+	+	-
B4	<i>Serratia liquefaciens</i>	+	+	-
	Filo Firmicutes	+	+	-
	Filo Firmicutes	+	Sem Crescimento	-
	<i>Serratia liquefaciens</i>	+	+	-
	Filo Proteobacteria	+	Sem Crescimento	-
	Enterobacteriaceae	-	+	-
	Filo Proteobacteria	+	Sem Crescimento	-
	<i>Bacillus</i>	+	Sem Crescimento	-
	Filo Firmicutes	+	Sem Crescimento	-

Continua...

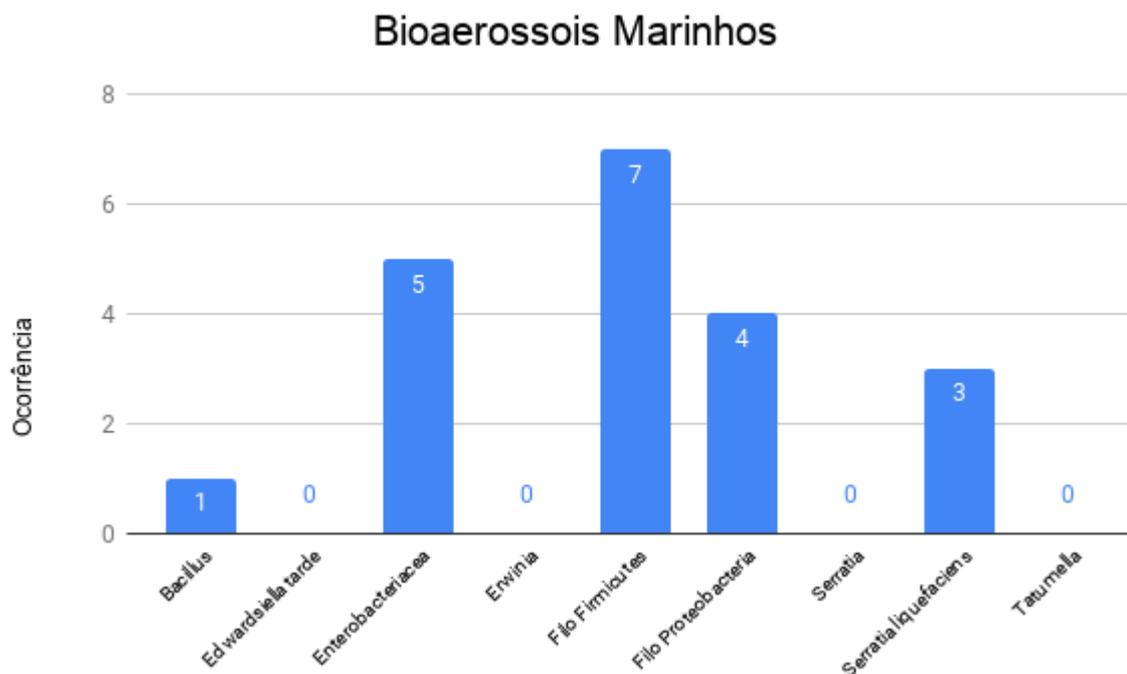
ORIGEM	ESTIRPE	PERFIS FENOTÍPICOS		
		CATALASE	MOTILIDADE	OXIDASE
B4	Filo Firmicutes	+	Sem Crescimento	-
E	Filo Firmicutes	+	Sem Crescimento	-
	<i>Serratia liquefaciens</i>	+	Sem Crescimento	-
	Enterobacteriaceae	+	+	-
	Enterobacteriaceae	+	+	-

Fonte: O Autor, 2020.

Os ventos de superfície provocam a formação de espumas e, conseqüentemente a geração de gotas de spray marinho, que transportam microrganismos e sais para a atmosfera (MAYOL *et al.*, 2014). A tabela 2 nos mostra que, de 20 isolados, 18 apresentaram resultado positivo para a prova de catalase e quanto à mobilidade, dos isolados que apresentaram crescimento (11), 9 apresentaram mobilidade positiva.

O gráfico abaixo, nos mostra a ocorrência dos isolados identificados nas amostras de bioaerossóis marinhos, onde podemos observar com clareza, os grupos bacterianos identificados (Gráfico 6):

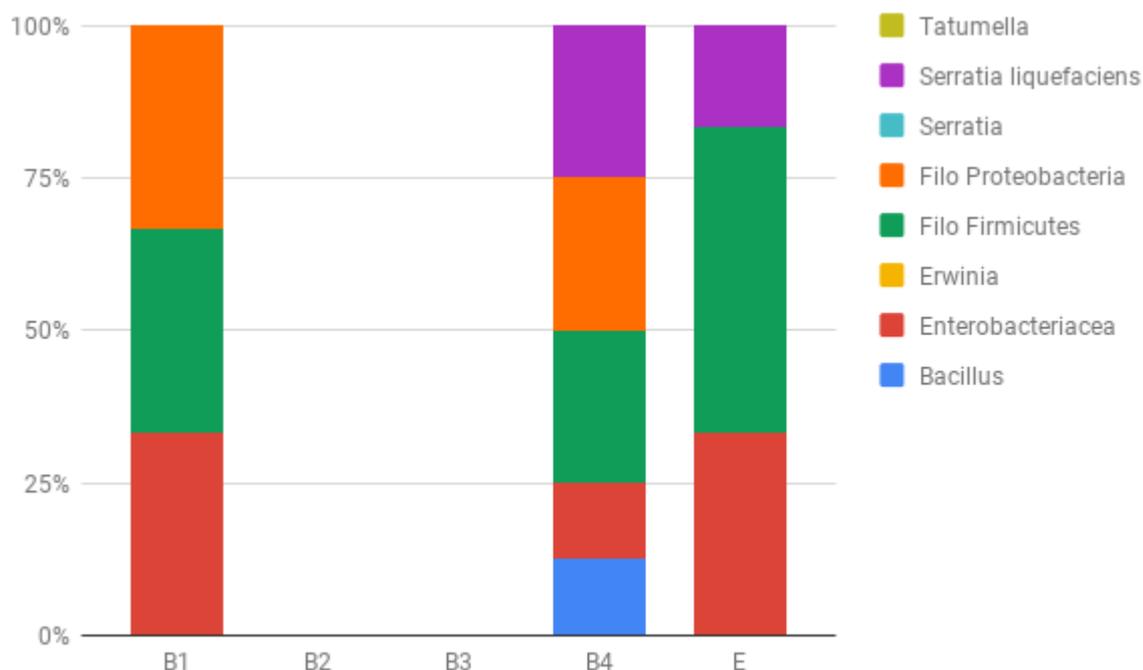
Gráfico 6 - Ocorrência dos grupos bacterianos cultiváveis identificados dos bioaerossóis marinhos coletados e pontos próximos a boias oceanográficas no Atlântico e Equador.



Fonte: O Autor, 2020.

Das 20 estirpes isoladas, 7 são pertencentes ao Filo Firmicutes, 5 à família Enterobacteriaceae, 4 ao Filo Proteobacteria, 3 à espécie *Serratia liquefaciens* e, por fim, 1 pertencente ao gênero *Bacillus*. Processos de mistura, como ventos e turbulência transportam esses microrganismos para a atmosfera e os ventos carregam estes por grandes distâncias, podendo permanecer longos períodos na atmosfera (SANTL-TEMKIV *et al.*, 2020). No entanto, a distribuição da microbiota observada também varia de acordo com o ponto de coleta, como observado no Gráfico 7.

Gráfico 7 - Porcentagem dos grupos bacterianos cultiváveis identificados nos bioaerossóis marinhos de acordo com o ponto de coleta no Atlântico e Equador



Fonte: O Autor, 2020

Uma única estirpe do gênero *Bacillus* foi encontrada na boia B1; Família Enterobacteriaceae nas boias B1, B4 e E; Filo Firmicutes nas boias B1, B4 e E; Filo Proteobacteria nas boias B1 e B4 e por fim, *Serratia liquefaciens* nas boias B4 e E. Não houve crescimento nas amostras das boias B2 e B3. De acordo com o gráfico, pode-se observar que a maior parte dos isolados foram coletados nas boias B4, E e B1, respectivamente. Microbiota cultivável encontrada é composta por bactérias que apresentam relevante potencial patogênico, como as da família Enterobacteriaceae, que por não serem consideradas habitantes de ambientes marinhos, são associadas com poluição vinda do continente (MUNN, 2004).

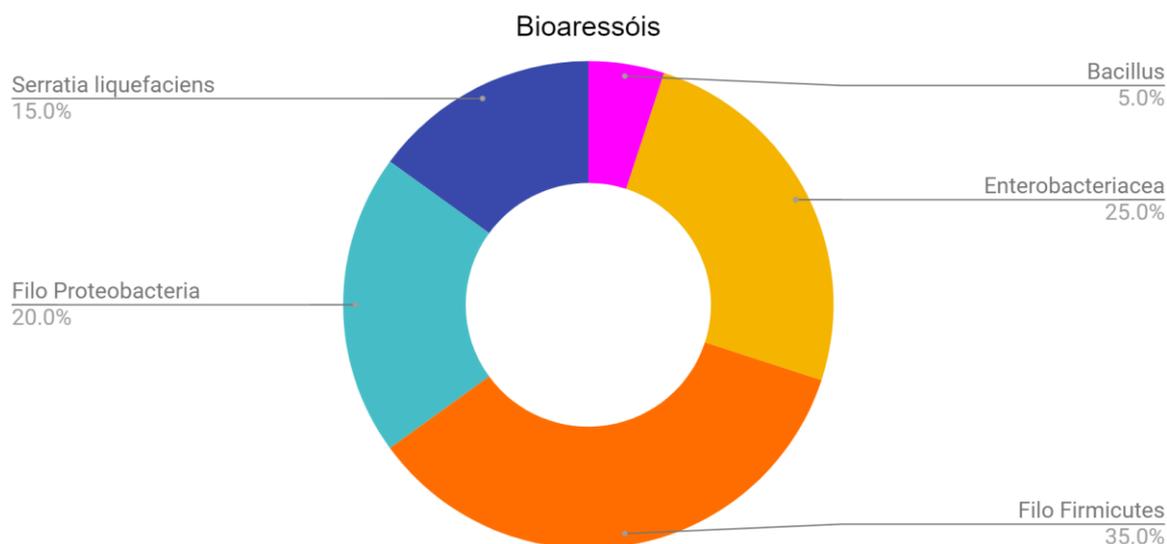
Diferentemente de alguns estudos em que o gênero *Bacillus* aparece em abundância (CHO; HWANG, 2011; AGOGUÉ *et al.*, 2005), encontrou-se nas amostras do Atlântico Equatorial, apenas uma estirpe pertencente a esse gênero. Isso pode ser explicado devido ao fato de que bactérias gram-negativas são mais comuns em bioaerossóis de origem marinha (CHO; HWANG, 2011).

O filo Firmicutes foi o mais abundante nas estirpes isoladas dos bioaerossóis marinhos (35%), como ilustrado no Gráfico 8. Seifried *et al.* (2015) em sua pesquisa sobre

distribuição espacial das populações bacterianas em amostras de bioaerossol marinho durante um cruzeiro do Mar do Norte ao Mar Báltico, identificou representantes do filo Firmicutes em 8,3% dos isolados. Já na pesquisa de Urbano *et al.* (2011), dos isolados bacterianos coletados na costa dos Estados Unidos, a maior parte dos isolados foram pertencentes ao Filo Firmicutes e Proteobacteria, convergindo com os resultados obtidos nesta pesquisa, onde estirpes pertencentes ao Filo Proteobacteria representam 20% dos isolados.

A espécie *Serratia liquefaciens* apareceu em 15% dos isolados (Gráfico 8), e é caracterizada por habitar diferentes ambientes, como sedimento, água, entre outros, além de ser patógeno de animais e seres humanos (MADIGAN *et al.*, 2010; MENEZES, 2004). Essa espécie teve grande abundância tanto nas amostras da microcamada superficial oceânica, quanto nos bioaerossóis marinhos, já que possui alta capacidade de adaptação em ambientes diversos.

Gráfico 8 - Porcentagem dos grupos bacterianos cultiváveis identificados nas amostras de bioaerossóis marinhos em pontos próximos a boias oceanográficas no Atlântico e Equador



Fonte: Autor, 2020

CONCLUSÃO

De acordo com as características morfotintoriais, a maioria das bactérias isoladas da MCSO e bioaerossóis marinhos foi caracterizada como Gram-negativa (71%), convergindo com a literatura, que aponta que em ambientes marinhos as Gram-negativas são mais abundantes.

As bactérias cultiváveis mais frequentemente encontradas nas amostras de MCSO e bioaerossóis marinhos foram as pertencentes à família Enterobacteriaceae, filos Firmicutes e Proteobacteria e a espécie *Serratia liquefaciens*. A presença abundante de estirpes pertencentes a esses grupos taxonômicos nas amostras coletadas em boias distantes do continente sugere que, resíduos antropogênicos continentais estão se deslocando com o auxílio dos ventos e das correntes superficiais.

Em pontos mais próximos ao continente, a frequência de isolamento de estirpes pertencentes a família Enterobacteriaceae foi maior, indicando a influência do continente como fonte de contaminantes biológicos.

As variáveis oceanográficas, como ventos, correntes superficiais e temperatura, bem como a entrada de resíduos continentais, influenciam diretamente na comunidade bacteriana presente na microcamada superficial oceânica e bioaerossóis marinhos na região do Atlântico Equatorial.

No mais, é importante ressaltar que a circulação oceânica local, aliada a hidrodinâmica atuante na região das boias, dentre outros parâmetros físicos que não foram analisados neste trabalho, é fundamental para compreender e analisar de forma mais precisa, como de fato ocorre essa dispersão de microrganismos.

REFERÊNCIAS

- AGOGUÉ, H. *et al.* Comparison of samplers for the biological characterization of the sea surface microlayer. **Limnology and Oceanography: Methods**. v. 2, p. 213-225, 2004.
- AGOGUÉ, H., JOUX, F., OBERNOSTERER, I., & LEBARON, P. Resistance of marine bacterioneuston to solar radiation. **Applied and Environmental Microbiology**. p. 5282-5289, 2005.
- ALLER, J.Y. *et al.* The sea surface microlayer as a source of viral and bacterial enrichment in marine aerosols. **Aerosol Science**. v. 36, p. 801-812, 2005.
- ALVES, C.A. Química entre a microcamada superficial oceânica e os aerossóis marinhos. **Química Nova**. v. 37, n. 8, p. 1382-1400, 2014.
- AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 329 p.
- CASTELLO, J. P.; KRUG, L. C. **Introdução às Ciências do Mar**. Pelotas, RS: Ed. Textos, 2015, 602 p.
- CHO, B.C.; HWANG, C.Y. Prokaryotic abundance and 16S rRNA gene sequences detected in marine aerosols on the East Sea (Korea). **FEMS Microbiology Ecology**. v. 76, p. 327-341, 2011.
- CUNLIFFE, M.; MURRELL, J. C. The sea-surface microlayer is a gelatinous biofilm. **The ISME Journal**. v. 3, p. 1001-1003, 2009.
- DOBLIN, M. A.; SEBILLE, E. Drift in ocean currents impacts intergenerational microbial exposure to temperature. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. v. 113, n. 20, p. 5700-5705, 2016.
- GARRISON, T. **Fundamentos da Oceanografia**. 2. ed. São Paulo: Cenage Learning, 2016. 480 p.
- HARDY, J. T. The sea surface microlayer: biology, chemistry and anthropogenic enrichment. **Progress in Oceanography**. v. 11, p. 307-328, 1982.
- KONEMAN, E. *et al.* **Color Atlas and textbook of Diagnostic Microbiology**. 6th. ed. Washington: Lippincott Williams & Wilkins, 2006. 1535p.
- LEEUW, G. *et al.* Ocean-Atmosphere interactions of particles. **Research Gate**. p. 171-227, 2014.
- MACHADO, A. M. B. **Variabilidade climática regional da circulação oceânica no oceano Atlântico Equatorial Ocidental**. 2019. 116 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Oceanografia) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís.

- MADIGAN, M. T. *et al.* **Microbiologia de Brock**. 12. es. Porto Alegre. Artmed, 1160 p, 2010.
- MADIGAN, M. T. *et al.* **Microbiologia de Brock**. 14. ed., Porto Alegre: Artmed, 960 p, 2016.
- MARKS, R. *et al.* Bacteria and fungi in air over the Gulf of Gdansk and Baltic Sea. **Aerosol Science**. v. 32, p. 237-250, 2001.
- MAYOL, E. *et al.* Resolving the abundance and air-sea fluxes of airborne microorganisms in the North Atlantic Ocean. **Frontiers in microbiology**. v. 5, p. 1-9, 2014.
- MENEZES, E. A. *et al.* Frequência de *Serratia* sp em Infecções Urinárias de pacientes internados na Santa Casa de Misericórdia em Fortaleza. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**. Uberaba. v. 37, n. 1, p. 70-71, 2004.
- MUNN, C.B. **Marine microbiology: ecology and applications**. 1. ed. New York: Taylor and Francis Publishers, 2004. 282p.
- OBERNOSTERER, I. *et al.* Biochemical characteristics and bacterial community structure of the sea surface microlayer in the South Pacific Ocean. **Biogeosciences**. v.5, p. 693-705, 2008.
- PASQUARELLA, C.; PITZURRA, O.; SAVINO, A. The index of microbial air contamination. **Journal of hospital infection**. v. 46, n. 4, p. 241-256, 2000.
- PHOMA, S. *et al.* Agulhas Current properties shape microbial community diversity and potential functionality. **Scientific Reports**. p. 1-12, 2018.
- RABELO, J. S. **Abundância e diversidade bacteriana na microcamada superficial e bioaerossóis marinhos na orla oceânica de Fortaleza**, 2017. 80f. Monografia apresentada ao Curso de graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2017.
- REINTHALER, T.; SINTES, E.; HERNDL, G.J. Dissolved organic matter and bacterial production and respiration in the sea-surface microlayer of the open Atlantic and the western Mediterranean Sea. **Limnology and Oceanography**. v. 53, n. 1, p. 122-136, 2008.
- ŠANT-TEMKIV, T. *et al.* Bioaerosol field measurements: Challenges and perspectives in outdoor studies. **Aerosol Science and Technology**. v. 54, n. 5, p. 520-546, 2020.
- SANTOS, D. R. **Bioprospecção e avaliação do potencial biotecnológico de bactérias degradadoras de agrotóxicos isoladas do rio Pacoti- Ce**, 2013. 57f. Monografia apresentada ao Curso de graduação em Ciências Ambientais 69 do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2013.
- SEIFRIED, J. S.; WICHELS, A.; GERDTS, G. Spatial distribution of marine airborne bacterial communities. **Microbiology Open**. v. 4, p. 475-490, 2015.

SOARES, J.B.; CASIMIRO, A.R.; AGUIAR, M.B. **Microbiologia Básica**. Fortaleza, Edições UFC. 1987. 175p.

STALEY, J. T. *et al.* **Bergey's Manual of Systematic Bacteriology: The Proteobacteria**. 2nd ed. New York: Springer, 2005. v. 2, part B, 1388p.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 8. ed. Artmed, 2005.

URBANO, R. *et al.* Detection and phylogenetic analysis of coastal bioaerosols using culture dependent and independent techniques. **Biogeosciences**. v. 8, p. 301-309, 2011.

VIEIRA, R.H.S.F. *et al.* Galerias pluviais como fonte de poluição de origem fecal para as praias de Fortaleza-Ceará. **Arquivo de Ciências do Mar**. v. 44, n. 2, p. 5-12, 2011.

WANG *et al.* Abundance and Distribution of *Synechococcus* spp. and Cyanophages in the Chesapeake Bay. **American Society for Microbiology**. v. 77, n. 21, p. 7459-7468, 2011.

FU, X. *et al.* Purification and Characterization of Catalase from Marine Bacterium *Acinetobacter* sp. YS0810. **BioMed Research International**. v.2014, p. 1-7, 2014.