



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ**  
**IFCE *CAMPUS* FORTALEZA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL**  
**MESTRADO ACADÊMICO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL**

**GARDILENE MONTEIRO DA SILVA**

**QUANTIFICAÇÃO DE METAIS PESADOS NA ÁGUA E EMISSÕES DE**  
**POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA APA DO ESTUÁRIO DO RIO CEARÁ**

**FORTALEZA**  
**2021**

GARDILENE MONTEIRO DA SILVA

QUANTIFICAÇÃO DE METAIS PESADOS NA ÁGUA E EMISSÕES DE POLUENTES  
ATMOSFÉRICOS NA APA DO ESTUÁRIO DO RIO CEARÁ

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Acadêmico em Tecnologia e Gestão Ambiental do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Ambiental (IFCE) – Campus Fortaleza, como requisito parcial para obtenção do título de Mestra em Tecnologia e Gestão Ambiental. Área de concentração: Monitoramento e Controle da Qualidade Ambiental.

Orientadora: Profa Dra. Rita Mickaela Barros de Andrade

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Silveira Serra

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Instituto Federal do Ceará - IFCE  
Sistema de Bibliotecas - SIBI  
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- M772q Monteiro da Silva, Gardilene.  
Quantificação de metais pesados na água e emissões de poluentes atmosféricos na APA do Estuário do Rio Ceará / Gardilene Monteiro da Silva. - 2021.  
98 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental, Campus Fortaleza, 2021.  
Orientação: Profa. Dra. Rita Mickaela Barros de Andrade.  
Coorientação: Prof. Dr. Daniel Silveira Serra.
1. Manguezal. 2. Poluição Ambiental. 3. Qualidade do Ar. I. Título.

CDD 628

---



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ  
Av. 13 de maio, 2081 , - Bairro Benfica - CEP 60040-531 - Fortaleza - CE - [www.ifce.edu.br](http://www.ifce.edu.br)

## AVALIAÇÃO

Processo: 23256.009318/2021-92

Interessado: Coordenadoria do Curso de Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental  
(PGTGA)

## FOLHA DE APROVAÇÃO

**GARDILENE MONTEIRO DA SILVA**

### QUANTIFICAÇÃO DE METAIS PESADOS NA ÁGUA E EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA APA DO ESTUÁRIO DO RIO CEARÁ

*Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - Campus Fortaleza,  
como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.  
Área de concentração: Monitoramento e Controle da Qualidade Ambiental.*

**Aprovada em: 28/10/2021**



Documento assinado eletronicamente por **Rita Mickaela Barros de Andrade, Professora do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 03/11/2021, às 13:24, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANTONIO CARLOS MAGALHÃES, Usuário Externo**, em 04/11/2021, às 09:49, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Najila Rejanne Alencar Juliao Cabral, Professora do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 11/11/2021, às 10:57, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade do documento pode ser conferida no site [https://sei.ifce.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ifce.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0) informando o código verificador **3083670** e o código CRC **4BBA5507**.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais, a minha irmã e ao John Dayton, que tanto admiro. Dedico-lhes o resultado do esforço realizado ao longo deste percurso. Em especial dedico ao Prof. Daniel Silveira Serra por todo o acompanhamento da minha trajetória acadêmica.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a Deus.

Gostaria também de agradecer aos meus pais, minha família, pelo apoio e incentivo em toda a minha trajetória; à minha orientadora, Profa. Rita Mickaela Barros de Andrade, pela confiança, presença e suporte no trabalho; ao meu coorientador, Daniel Silveira Serra pelo acompanhamento, orientação e conselhos; aos colegas do Laboratório de Biofísica da Respiração (LBR) do Mestrado Acadêmico em Ciências Físicas aplicada da Universidade Estadual do Ceará (UECE); ao professor Dr. Ronaldo Ferreira do Nascimento e a Doutoranda Antônia Mayza de Moraes França do Laboratório de análises de traços (LAT) do Departamento de Química Analítica e Físico Química da Universidade Federal do Ceará (UFC); aos Laboratórios de Tecnologia Ambiental (LATAM) e Tecnologia Química (LTQ) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE); ao Laboratório de Conversão Energética e Emissões Atmosféricas (LACEEMA) da Universidade Estadual do Ceará (UECE) e agradeço também a toda banca examinadora pelas críticas e sugestões sugeridas neste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

‘A compaixão para com os animais é das mais nobres virtudes da natureza humana.’

(Charles Robert Darwin)

## RESUMO

A APA do Estuário do Rio Ceará enfrenta problemas ambientais, como a presença de lixo no estuário e poluição das águas, provocada principalmente por esgotos industriais e domésticos. A poluição do ar também causa impacto ao ambiente e consequentemente a saúde pública. As principais emissões de poluentes decorrem das atividades antrópicas e as principais fontes de poluição urbana são de veículos automotivos e indústrias. O trabalho baseia-se na análise da água do Estuário do Rio Ceará por meio dos parâmetros físico-químicos, microbiológico e da quantificação dos metais pesados Cd, Cu, Mn, Pb e Ni em período chuvoso e seco. Foi realizado também a avaliação das emissões de poluentes atmosféricos nas principais vias que recobrem a APA do Estuário do Rio Ceará, nos períodos chuvoso e seco. As amostras de amônia, demanda química de oxigênio-DQO e condutividade foram preparadas em duplicata e adotou-se a metodologia de análise conforme Standard Methods APHA 2005. O teste microbiológico baseou-se no método presença/ausência com o Colilert (IDEXX's Quanti-Tray). Para as análises da quantificação dos metais foram realizadas em Espectrofotômetro de Absorção Atômica por Chama (FSAA), Perkin Elmer, modelo Aanalyst 1000. O método de quantificação usado para os metais é a padronização externa. Foi utilizado um medidor TEMTOP M2000-Elitech para as análises estáticas de  $MP_{2,5}$ ,  $MP_{10}$ ,  $CO_2$ ,  $HCHO$ , temperatura e umidade. Em conjunto a análise estática, para a determinação de  $O_3$ , utilizou-se um analisador contínuo de ozônio modelo 202 da 2B Technologies. Os resultados referentes às concentrações dos poluentes foram analisados por meio da concentração média, desvio padrão e valores máximos e mínimos do parâmetro em função dos dias analisados. Foram quantificados valores alto de DQO e amônia, e a existência da presença de coliformes totais e *E. coli*. Os metais Cd, Pb, Mn e Ni obtiveram valores acima do recomendado pela Resolução CONAMA n. 357/05, o Pb quantificou valores mais significativos em comparação aos metais em análise e o Cu foi detectado em apenas um ponto da análise, no período chuvoso o qual apresentou maior concentração de metais. A média dos poluentes atmosféricos  $O_3$ ,  $MP_{2,5}$ ,  $MP_{10}$ ,  $HCHO$  e  $CO_2$  está abaixo do estabelecido pelos órgãos ambientais tanto nacionais quanto internacionais. As concentrações de metais na água tiveram maior significância quando comparado a poluição atmosférica nas principais vias que recobrem a APA do Estuário do Rio Ceará. O aumento das concentrações de metais pode acarretar danos ao ecossistema, pois é possível visualizar as consequências de longo prazo, como a urbanização e ocupação intensa no Estuário do Rio Ceará.

**Palavras-chave:** Manguezal. Poluição Ambiental. Qualidade do Ar.

## ABSTRACT

The APA of the Ceará River Estuary faces environmental problems, such as the presence of garbage in the estuary and water pollution, mainly caused by industrial and domestic sewage. Air pollution also impacts the environment and consequently public health. The main pollutant emissions result from human activities, and the main sources of urban pollution are from automotive vehicles and industries. The work was based on the analysis of the water of the Ceará River Estuary through physical-chemical and microbiological parameters and quantification of heavy metals Cd, Cu, Mn, Pb, and Ni in rainy and dry seasons. The evaluation of atmospheric pollutant emissions was also carried out in the main roads that cover the APA of the Ceará River Estuary, in the rainy and dry seasons. Ammonia, chemical oxygen demand-COD and conductivity samples were prepared in duplicate and the analysis methodology was adopted according to Standard Methods APHA 2005. The microbiological test was based on the presence/absence method with the Colilert (IDEXX's Quanti-Tray). For the analysis of the quantification of metals, they were performed in a Flame Atomic Absorption Spectrophotometer (FAAS) Perkin Elmer, model Analyst 1000. The quantification method used for metals is external standardization. A TEMTOP M2000-Elitech meter was used for static analysis of  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $CO_2$ ,  $HCHO$ , temperature and humidity. With the static analysis, for the determination of  $O_3$ , a continuous ozone analyzer model 202 from 2B Technologies was used. The results regarding the concentrations of pollutants were analyzed using the mean concentration, standard deviation and maximum and minimum values of the parameter as a function of the days analyzed. High values of COD and ammonia were quantified, as well as the existence of the presence of total coliforms and *E. coli*. The metals Cd, Pb, Mn, and Ni obtained values above those recommended by CONAMA Resolution n. 357/05, Pb quantified more significant values compared to the metals analysis and Cu was detected at only one point of the analysis, in the rainy season, which showed the highest concentration of metals. The average of air pollutants  $O_3$ ,  $MP_{2.5}$ ,  $MP_{10}$ ,  $HCHO$  and  $CO_2$  is below that established by both national and international environmental agencies. The concentrations of metals in the water were more significant when compared to air pollution in the main roads that cover the APA of the Ceará River Estuary. The increase in metal concentrations can cause damage to the ecosystem, as it is possible to visualize the long-term consequences, such as urbanization and intense occupation in the Ceará River Estuary.

**Keywords:** Mangrove. Environmental Pollution. Air Quality.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Ampliação da APA do Estuário do Rio Ceará . . . . .                                                                                                                                                         | 22 |
| Figura 2 – Redefinição da APA do Estuário do Rio Ceará . . . . .                                                                                                                                                       | 23 |
| Figura 3 – Área de Proteção Ambiental do Estuário do Rio Ceará . . . . .                                                                                                                                               | 40 |
| Figura 4 – Pontos de coletas da amostragem de água na Área de Proteção Ambiental do Estuário do Rio Ceará . . . . .                                                                                                    | 42 |
| Figura 5 – Pontos da análise estática na Área de Proteção Ambiental do Estuário do Rio Ceará . . . . .                                                                                                                 | 44 |
| Figura 6 – Valores médios das concentrações de poluentes atmosféricos $O_3$ , $MP_{2,5}$ , $MP_{10}$ , $HCHO$ em $\mu g/m^3$ e $CO_2$ em $ppm$ no período chuvoso no entorno da APA do Estuário do Rio Ceará . . . . . | 57 |
| Figura 7 – Valores médios das concentrações de poluentes atmosféricos $O_3$ , $MP_{2,5}$ , $MP_{10}$ , $HCHO$ em $\mu g/m^3$ e $CO_2$ em $ppm$ no período seco no entorno da APA do Estuário do Rio Ceará . . . . .    | 58 |
| Figura 8 – Concentração média de $O_3$ nos pontos de coletas - período chuvoso . . . . .                                                                                                                               | 60 |
| Figura 9 – Concentração média de $O_3$ nos pontos de coletas - período seco . . . . .                                                                                                                                  | 60 |
| Figura 10 – Concentração média de $MP_{2,5}$ nos pontos de coletas - período chuvoso . . . . .                                                                                                                         | 62 |
| Figura 11 – Concentração média de $MP_{2,5}$ nos pontos de coletas - período seco . . . . .                                                                                                                            | 63 |
| Figura 12 – Concentração média de $MP_{10}$ nos pontos de coletas - período chuvoso . . . . .                                                                                                                          | 64 |
| Figura 13 – Concentração média de $MP_{10}$ nos pontos de coletas - período seco . . . . .                                                                                                                             | 65 |
| Figura 14 – Concentração média de $HCHO$ nos pontos de coletas - período chuvoso . . . . .                                                                                                                             | 66 |
| Figura 15 – Concentração média de $HCHO$ nos pontos de coletas - período seco . . . . .                                                                                                                                | 67 |
| Figura 16 – Concentração média de $CO_2$ nos pontos de coletas - período chuvoso . . . . .                                                                                                                             | 68 |
| Figura 17 – Concentração média de $CO_2$ nos pontos de coletas - período seco . . . . .                                                                                                                                | 69 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Limite de lançamento de efluente e de potabilidade da água . . . . .                                                           | 28 |
| Tabela 2 – Valores de referência máximo permissível (mg/L) para metais na água salobra. . . . .                                           | 42 |
| Tabela 3 – Valores dos parâmetros físico-químicos da água . . . . .                                                                       | 45 |
| Tabela 4 – Teste microbiológico da água . . . . .                                                                                         | 47 |
| Tabela 5 – Concentração de metal pesado na água do ponto de coleta 1 - período chuvoso . . . . .                                          | 49 |
| Tabela 6 – Concentração de metal pesado na água do ponto de coleta 1 - período seco . . . . .                                             | 50 |
| Tabela 7 – Concentração de metal pesado na água do ponto de coleta 2 - período chuvoso . . . . .                                          | 51 |
| Tabela 8 – Concentração de metal pesado na água do ponto de coleta 2 - período seco . . . . .                                             | 51 |
| Tabela 9 – Concentração de metal pesado na água do ponto de coleta 3 - período chuvoso . . . . .                                          | 52 |
| Tabela 10 – Concentração de metal pesado na água do ponto de coleta 3 - período seco . . . . .                                            | 53 |
| Tabela 11 – Temperatura e Unidade dos dias de coleta . . . . .                                                                            | 56 |
| Tabela 12 – Padrões de qualidade do ar para $MP_{2,5}$ , $MP_{10}$ , $O_3$ , $HCHO$ e $CO_2$ . . . . .                                    | 56 |
| Tabela 13 – Concentração média do $O_3$ , $MP_{2,5}$ , $MP_{10}$ , $HCHO$ em $\mu g/m^3$ e do $CO_2$ em $ppm$ - período chuvoso . . . . . | 57 |
| Tabela 14 – Concentração média de $O_3$ , $MP_{2,5}$ , $MP_{10}$ , $HCHO$ em $\mu g/m^3$ e $CO_2$ em $ppm$ - período seco . . . . .       | 58 |
| Tabela 15 – Concentração de $O_3$ - período chuvoso . . . . .                                                                             | 87 |
| Tabela 16 – Concentração de $MP_{2,5}$ - período chuvoso . . . . .                                                                        | 88 |
| Tabela 17 – Concentração de $MP_{10}$ - período chuvoso . . . . .                                                                         | 89 |
| Tabela 18 – Concentração de $HCHO$ - período chuvoso . . . . .                                                                            | 90 |
| Tabela 19 – Concentração de $CO_2$ - período chuvoso . . . . .                                                                            | 91 |
| Tabela 20 – Concentração de $O_3$ - período seco . . . . .                                                                                | 92 |
| Tabela 21 – Concentração de $MP_{2,5}$ - período seco . . . . .                                                                           | 93 |
| Tabela 22 – Concentração de $MP_{10}$ - período seco . . . . .                                                                            | 94 |
| Tabela 23 – Concentração de $HCHO$ - período seco . . . . .                                                                               | 95 |
| Tabela 24 – Concentração de $CO_2$ - período seco . . . . .                                                                               | 96 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|          |                                                                                  |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------|
| AA       | Absorção Atômica                                                                 |
| ABRAVA   | Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento |
| ANVISA   | Agência Nacional de Vigilância Sanitária                                         |
| APA      | Área de Proteção Ambiental                                                       |
| CETESB   | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo                                       |
| CONAMA   | Conselho Nacional do Meio Ambiente                                               |
| DQO      | Demanda Química de Oxigênio                                                      |
| EA       | Educação Ambiental                                                               |
| EEA      | Agência Ambiental Europeia                                                       |
| FSAA     | Espectrofotômetro de Absorção Atômica por Chama                                  |
| ICMBio   | Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade                          |
| IFCE     | Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará                     |
| LACEMA   | Laboratório de Conversão Energética e Emissão Atmosférica                        |
| LATAM    | Laboratório de Tecnologia Ambiental                                              |
| LBR      | Laboratório de Biofísica da Respiração                                           |
| LTQ      | Laboratório de Tecnologia Química                                                |
| MACFA    | Mestrado Acadêmico em Ciências Físicas Aplicadas                                 |
| Mercosul | Mercado Comum do Sul                                                             |
| OMS      | Organização Mundial de Saúde                                                     |
| ONGs     | Organizações Não Governamentais                                                  |
| PNGC     | Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro                                         |
| PC       | Período Chuvoso                                                                  |
| PS       | Período Seco                                                                     |

|        |                                                         |
|--------|---------------------------------------------------------|
| SEMA   | Secretaria Estadual do Meio Ambiente                    |
| SEMACE | Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará     |
| SNUC   | Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza |
| UC     | Unidade de Conservação                                  |
| UECE   | Universidade Estadual do Ceará                          |
| US-EPA | Agência Ambiental dos Estados Unidos                    |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|            |                                                                        |
|------------|------------------------------------------------------------------------|
| $Cd$       | Cádmio                                                                 |
| $CO$       | Monóxido de Carbono                                                    |
| $CO_2$     | Dióxido de Carbono                                                     |
| $Cu$       | Cobre                                                                  |
| $HCHO$     | Formaldeído                                                            |
| $HNO_3$    | Ácido Nítrico                                                          |
| $H_2SO_4$  | Ácido Sulfúrico                                                        |
| $Mn$       | Manganês                                                               |
| $NH_3$     | Amônia                                                                 |
| $Ni$       | Níquel                                                                 |
| $NO_2$     | Dióxido de Nitrogênio                                                  |
| $O^3$      | Ozônio                                                                 |
| $Pb$       | Chumbo                                                                 |
| $MP$       | Material particulado                                                   |
| $MP_{10}$  | Material particulado com diâmetro equivalente ou inferior a $10\mu m$  |
| $MP_{2,5}$ | Material particulado com diâmetro equivalente ou inferior a $2,5\mu m$ |
| $SO_2$     | Dióxido de Enxofre                                                     |
| $SO_4$     | Sulfato                                                                |

## SUMÁRIO

|         |                                                                    |    |
|---------|--------------------------------------------------------------------|----|
| 1       | INTRODUÇÃO . . . . .                                               | 16 |
| 2       | OBJETIVOS . . . . .                                                | 18 |
| 2.1     | Objetivo Geral . . . . .                                           | 18 |
| 2.2     | Objetivos Específicos . . . . .                                    | 18 |
| 3       | REVISÃO DA LITERATURA . . . . .                                    | 19 |
| 3.1     | Manguezais e impactos . . . . .                                    | 19 |
| 3.2     | Área de Proteção Ambiental do Estuário do Rio Ceará . . . . .      | 21 |
| 3.3     | Metais pesados em manguezais . . . . .                             | 26 |
| 3.3.1   | <i>Caracterização dos elementos metálicos em estudo</i> . . . . .  | 28 |
| 3.3.1.1 | <i>Cadmio-Cd</i> . . . . .                                         | 28 |
| 3.3.1.2 | <i>Cobre-Cu</i> . . . . .                                          | 29 |
| 3.3.1.3 | <i>Manganês-Mn</i> . . . . .                                       | 30 |
| 3.3.1.4 | <i>Chumbo-Pb</i> . . . . .                                         | 30 |
| 3.3.1.5 | <i>Níquel-Ni</i> . . . . .                                         | 31 |
| 3.4     | Parâmetros físico-químicos e microbiológico da água . . . . .      | 31 |
| 3.4.1   | <i>Demanda Química de Oxigênio-DQO</i> . . . . .                   | 31 |
| 3.4.2   | <i>Amônia</i> . . . . .                                            | 32 |
| 3.4.3   | <i>Condutividade elétrica</i> . . . . .                            | 33 |
| 3.4.4   | <i>Coliformes totais e Escherichia coli</i> . . . . .              | 33 |
| 3.5     | Poluição atmosférica . . . . .                                     | 34 |
| 3.5.1   | <i>Ozônio</i> . . . . .                                            | 35 |
| 3.5.2   | <i>Material particulado</i> . . . . .                              | 36 |
| 3.5.3   | <i>Dióxido de carbono</i> . . . . .                                | 37 |
| 3.5.4   | <i>Formaldeído</i> . . . . .                                       | 38 |
| 4       | MATERIAL E MÉTODOS . . . . .                                       | 40 |
| 4.1     | Área de estudo . . . . .                                           | 40 |
| 4.2     | Infraestrutura para desenvolvimento da pesquisa . . . . .          | 41 |
| 4.3     | Amostragem da água para a quantificação de metais . . . . .        | 41 |
| 4.3.1   | <i>Comparação com os valores de referência</i> . . . . .           | 42 |
| 4.4     | Parâmetros físico-químicos e microbiológico da água . . . . .      | 43 |
| 4.5     | Zonas de análises das emissões de poluentes atmosféricos . . . . . | 43 |
| 4.5.1   | <i>Análise de Aerodispersóides e Ozônio</i> . . . . .              | 44 |
| 5       | RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . . .                                   | 45 |

|       |                                                                                             |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1   | Parâmetros físico-químicos e microbiológico da água . . . . .                               | 45 |
| 5.2   | Parâmetros físico-químicos e microbiológico da água . . . . .                               | 45 |
| 5.3   | Concentração de metais na água . . . . .                                                    | 48 |
| 5.3.1 | <i>Comparação das concentrações de metais na água nos pontos de análises .</i>              | 54 |
| 5.3.2 | <i>Comparação das concentrações de metais na água nos períodos chuvoso e seco . . . . .</i> | 55 |
| 5.4   | Emissões de poluentes atmosféricos . . . . .                                                | 55 |
| 5.4.1 | <i>Análise estática — Período chuvoso . . . . .</i>                                         | 57 |
| 5.4.2 | <i>Análise estática - período seco . . . . .</i>                                            | 58 |
| 5.4.3 | <i>Concentração de ozônio - períodos chuvoso e seco . . . . .</i>                           | 58 |
| 5.4.4 | <i>Concentração de MP<sub>2,5</sub> - períodos chuvoso e seco . . . . .</i>                 | 61 |
| 5.5   | Comparação média — períodos chuvoso e seco . . . . .                                        | 69 |
| 6     | CONCLUSÃO . . . . .                                                                         | 71 |
|       | REFERÊNCIAS . . . . .                                                                       | 73 |
|       | ANEXO A – AUTORIZAÇÃO DE ESTUDO SEMA (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE) . . . . .                | 86 |
|       | ANEXO B – TABELAS DE CONCENTRAÇÕES DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS ANALISADOS . . . . .          | 87 |

## 1 INTRODUÇÃO

A Área de Proteção Ambiental do Estuário do Rio Ceará é uma unidade de conservação de uso sustentável, foi criada por meio do DECRETO n. 25.413, de 29 de março de 1999. Em 6 de junho de 2021 o projeto de Lei n. 67/2021 redefiniu os limites da APA do Estuário do Rio Ceará, transformado na Lei n. 17.535 de 23 de junho de 2021 com área total de 2.735 ha. Possui ecossistema de mata de tabuleiro, caatinga, cerrado e manguezal. O acesso se dá pela Av. Francisco Sá e em seguida pela Av. Ulisses Guimarães por meio da BR 222 no entroncamento com a CE-090, rodovia estadual (CEARÁ, 2018; CEARÁ, 2021).

Na APA do Estuário do Rio Ceará encontra-se a comunidade indígena Tapeba, localizada às margens do rio Ceará e caracterizada como uma população carente, onde a principal fonte de renda é viabilizada pela utilização de recursos naturais, basicamente de maneira extrativista e sazonal. Dentre as atividades produtivas que constituem a renda da comunidade, estão: a venda de frutas e mudas de plantas ornamentais, venda e a pesca artesanal não colonizada de crustáceos no manguezal (BARRETTO, 2018).

O ecossistema de manguezal possui importância significativa na absorção e estocagem de carbono na biomassa e no solo, contribuem para a redução da vulnerabilidade da zona costeira às mudanças climáticas, possibilita a retenção de sedimentos que compensa parcialmente a elevação do nível do mar e reduz processos erosivos. Os manguezais são ecossistemas vulneráveis a várias ameaças, como à perda e fragmentação da cobertura vegetal, à deterioração dos habitats aquáticos, à poluição e às mudanças na hidrodinâmica devido especialmente a ocupação, que promove a diminuição dos recursos ecológicos disponíveis para comunidades tradicionais e comércio local. Destacam-se as atividades de pesca artesanal, o extrativismo, a coleta de mariscos e o turismo (ICMBIO, 2018).

Na região da APA do Estuário do Rio Ceará há alguns problemas ambientais, como a presença de lixo no estuário e poluição das águas, provocada principalmente por esgotos industriais e domésticos, que pode ocasionar problemas para a população local e diminuição da pesca, comprometendo o meio de sobrevivência. Portanto, a poluição do rio Ceará afeta diretamente a comunidade que, devido à má utilização, ocasiona consequências sócio-ambientais (MORAES; PORTELA; COSTA, 2015).

Efluentes industriais e domésticos provocam contaminação por metais pesados. Martins et al. (2011) descrevem que existem metais essenciais à vida, presentes na natureza em concentrações que asseguram a manutenção e sobrevivência das espécies. No entanto, alguns metais não possuem nenhuma função conhecida ao ciclo biológico dos organismos, tóxicos quando extrapolam as concentrações normais encontradas.

A poluição do ar também causa impacto ao ambiente e consequentemente a saúde pública

e individual, sendo um importante fator de risco para o aumento da morbidade e mortalidade. As principais emissões de poluentes decorrem da atividade antrópicas e as principais fontes de poluição urbana são de veículos automotivos e indústrias (MICHAEL; BALMES, 2014; SANTOS1A; ARBEX et al., 2021).

O trabalho baseia-se na análise da água do Estuário do Rio Ceará por meio dos parâmetros físico-químicos, microbiológico e da quantificação dos metais pesados Cd, Cu, Mn, Pb e Ni em período chuvoso e seco. Foi realizado também a avaliação das emissões de poluentes atmosféricos nas principais vias que recobrem a APA do Estuário do Rio Ceará, nos períodos chuvoso e seco. São necessários estudos que visem avaliar o nível de contaminação presente no meio e os prováveis impactos a população, ocasionados por metais pesados advindos de esgotos industriais e domésticos, e da pavimentação construída as margens do manguezal da APA do Estuário do Rio Ceará.

## 2 OBJETIVOS

Os objetivos baseiam-se em avaliar contaminações no estuário do rio Ceará, por intermédio da análise da água e das emissões de poluentes atmosféricos nas principais vias que recobrem a APA do Estuário do Rio Ceará.

### 2.1 Objetivo Geral

Investigar os níveis de contaminações físico-químicos, microbiológicos, metais pesados e de poluentes atmosféricos na APA do Estuário do Rio Ceará.

### 2.2 Objetivos Específicos

- a) Quantificar as concentrações dos metais Cd, Cu, Mn, Pb e Ni na água do estuário do Rio Ceará;
- b) Analisar os parâmetros físico-químicos (DQO, amônia e condutividade elétrica) e microbiológico (presença ou ausência de coliformes totais e *Escherichia coli*) na água do estuário do Rio Ceará;
- c) Pesquisar os níveis de poluentes atmosféricos por análise estática de  $O_3$ ,  $MP_{2,5}$ ,  $MP_{10}$ ,  $CO_2$  e  $HCHO$  no perímetro das principais vias da APA do Estuário do Rio Ceará.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

As etapas de condução da revisão da literatura se baseou em tópicos que abordam os manguezais e impactos, a Área de Proteção Ambiental do Estuário do Rio Ceará-Rio Maranguapinho, metais pesados em manguezais, parâmetros físico-químicos e microbiológico da água e as emissões de poluentes atmosféricos.

#### 3.1 Manguezais e impactos

O ecossistema de manguezal pode ser definido como comunidades florestais com espaço compartilhado de populações de plantas, animais e micro-organismos, os fatores bióticos interagem com os abióticos. Já o termo mangue emprega o grupo florístico de árvores tropicais diversos, apesar de pertencerem a famílias botânicas distintas sem relação taxonômica compartilham características fisiológicas semelhantes, com adaptações que permitem que as espécies sobrevivam em águas salobras ou salgadas, com disponibilidade baixa de oxigênio e substrato consistente (ICMBIO, 2018).

A extensão de área costeira no estado do Ceará é de 578 km, possui grande diversidade de ecossistemas, com predominância de praias arenosas e extensos cordões de dunas cortados por planícies fluviomarinhas cobertos por manguezais (CEARÁ, 1997). A preservação da biodiversidade traz grandes benefícios, tanto para a vida marinha quanto para comunidade costeira, a relação do homem e a natureza de forma sustentável gera harmonia e permanência (SAMPAIO; FREITAS; BARRELLA, 2019).

Existe estreita relação entre o valor ecológico e a sobrevivência de comunidades no entorno dos manguezais, pois esse ecossistema apresenta valor socioambiental, como a pesca e o aproveitamento de produtos extraídos para comunidades que dependem do meio para sobreviver. No entanto, os manguezais possuem elevada fragilidade frente à intervenção humana desenfreada, por isso a importância da exploração sustentável (LOUREIRO; OLIVEIRA, 2019; PAULA; LIMA; MAIA, 2016).

A taxa de degradação do ecossistema de manguezal é de 1% a 2% ao ano, o Brasil perdeu nos últimos 25 anos cerca de 50 mil hectares de manguezais (SOUZA et al., 2013; FAO, 2007; DUKE et al., 2007). Para oliveira (2019) o manguezal foi alvo da especulação imobiliária, devido o aumento populacional nos centros urbanos, que proporciona instalações de indústrias e implantações de projetos de carcinicultura, provocando prejuízos nas estruturas primordiais dos estuários, principalmente nas regiões litorâneas.

O crescimento da população em faixas litorâneas afeta diretamente os manguezais e ocasiona danos e dificuldades na manutenção das características naturais do ambiente. O manguezal torna-se visado e estão mais recorrentes impactos ambientais por meio da exploração desenfreada

dos recursos pesqueiros, do desmatamento, do assoreamento, da erosão, do aterramento, da contaminação por substâncias químicas e dos resíduos sólidos urbanos (GOMES, 2001; PAULA; LIMA; MAIA, 2016).

Conforme o ICMBio (2018) cerca de 25% dos manguezais em todo o Brasil tenha sido destruído desde o começo do século XX. O nível mais elevado são nas regiões Nordeste e sudeste do Brasil, pois apresentam um grande nível de fragmentação, estimativas recentes sugerem que cerca de 40% da extensão contínua de manguezal tenha sido suprimido.

Com isso torna-se necessário a conservação mais eficiente em áreas de manguezais. O Brasil possui 120 unidades de conservação com manguezais no interior (55 federais, 46 estaduais e 19 municipais, dessas 83% são de uso sustentável e 17% de proteção integral) que cobrem uma área de 1.211.444 hectares, o que representa 87% de todo ecossistema no Brasil (ICMBIO, 2018).

Quanto ao estado do Ceará, o mesmo possui cerca de 23.000 hectares de manguezais e partes vêm sendo submetidos a inúmeros impactos ambientais, 60,3% correspondem a desmatamento, 27,6% a aterro, 6,9% a exploração mineral e 5,2% a deposição de lixo. Isso provoca a redução e o desaparecimento de parte desses ecossistemas, que por falta de manutenção provoca um desequilíbrio ecológico e consequentemente a má qualidade de vida da população que dependem diretamente dos manguezais para sua subsistência (MIRANDA; SOUSA, 1998; JØRGENSEN, 2015).

Torna-se necessário planejamento ambiental para prevenção contra impactos e problemas ambientais, decorrentes do desordenamento predominante da ocupação territorial, já que a ocupação planejada tem a função de beneficiar a população através de medidas preventivas e mitigadoras a preservação ambiental (CORREIA et al., 2019).

Acerca das legislações protetivas aos manguezais, o CONAMA aprovou em 2002 a Resolução n. 303 que, no artigo 2, definiu manguezal como “ecossistema litorâneo ocorrendo em terrenos baixos, sujeitos à ação das marés, formado por vasas lodosas recentes ou arenosas. Está associada a vegetação natural conhecida como mangue, com influência fluviomarinho, típica de solos limosos de regiões estuarinas e com dispersão descontínua ao longo da costa brasileira, entre os estados do Amapá e Santa Catarina”. A resolução previa uma faixa de proteção mínima de 300 metros em áreas de restinga do litoral e sobre toda a extensão dos manguezais, a norma também estabelecia faixas menores ao redor de lagos e nascentes (ICMBIO, 2018; BRASIL, 2020).

Posteriormente a Resolução CONAMA n. 303/2002 foi revogada com base em parecer jurídico do Ministério do Meio Ambiente, já que a norma se tornou incompatível com as legislações ambientais aprovadas posteriormente, em especial ao novo Código Florestal. A Lei 12. 651/2012, que revogou o Código Florestal de 1965, considerou o manguezal como APP em toda a sua extensão, tanto em zonas rurais como urbanas, mantendo o disposto no Código Florestal de 1965 (BRASIL, 2020).

A Lei da Mata Atlântica (Lei n. 11.428, de 22 de dezembro de 2006), dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, dentre outras providências. O artigo 2 considera integrante do Bioma Mata Atlântica as formações florestais nativas e os ecossistemas associados, como os manguezais, as vegetações de restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encaves florestais do Nordeste (BRASIL, 2006).

No Plano de Ação Nacional para a Conservação das Espécies Ameaçadas e de Importância Socioeconômica do Ecossistema Manguezal (PAN Manguezal), temos: o Sistema Nacional de Unidades de Conservação-SNUC (Lei n. 9.985/2000), com destaque para as diversas categorias de Unidades de Conservação-UCs; algumas das resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente-CONAMA como órgão consultivo e deliberativo da Política Nacional de Meio Ambiente-PNMA (Lei n. 6.938/1981) e o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro-PNGC (Lei n. 7.661/1988) (ICMBIO, 2018; ICMBIO, 2015).

O ICMBio desenvolve políticas públicas para a conservação dos manguezais, em destaque têm-se os sítios Ramsar, possui reconhecimento internacional na conservação de zonas úmidas para a preservação de aves migratórias. A implementação do Projeto Manguezais do Brasil é outra política pública, com propósito de melhorar a capacidade do Brasil em promover a conservação e o uso sustentável dos recursos em ecossistemas de manguezais tanto de áreas protegidas do SNUC quanto de áreas de preservação permanente. O monitoramento dos manguezais ocorre por análise de imagens de satélite desde 2008 pela equipe do Centro de Sensoriamento Remoto do Ibama (CSR/Ibama) (ICMBIO, 2018).

As UCs possuem uma área de Mangues protegidos de 1.009.000 hectares, sendo que 198 mil *ha* é em UC de proteção integral e 811 mil *ha* em UC de uso sustentável. Nas esferas federativas há uma área de 193 mil *ha* de mangues protegidos por UC de proteção integral. A esfera estadual recobre 528 mil *ha* de mangues. As Áreas de Proteção Ambiental (APA) enquadram mais de 578 mil *ha* de mangues, enquanto as Reservas Extrativistas possuem 226 mil *ha* (ICMBIO, 2018).

### **3.2 Área de Proteção Ambiental do Estuário do Rio Ceará**

As Áreas de proteção Ambiental (APA) são unidades de uso sustentável, que permitem a utilização parcial dos recursos naturais com o necessário planejamento e a fiscalização para o uso desses recursos, pois o manejo desordenado pode ocasionar impactos ambientais (BRASIL, 2000). Entre os impactos temos: alteração da dinâmica natural do ambiente através de ocupações desordenadas de residências, comércios, pesca e extrativismo. É necessário a análise ecossistêmica para diagnosticar as limitações e fragilidades referentes à ocupação humana (LIMA et al., 2019).

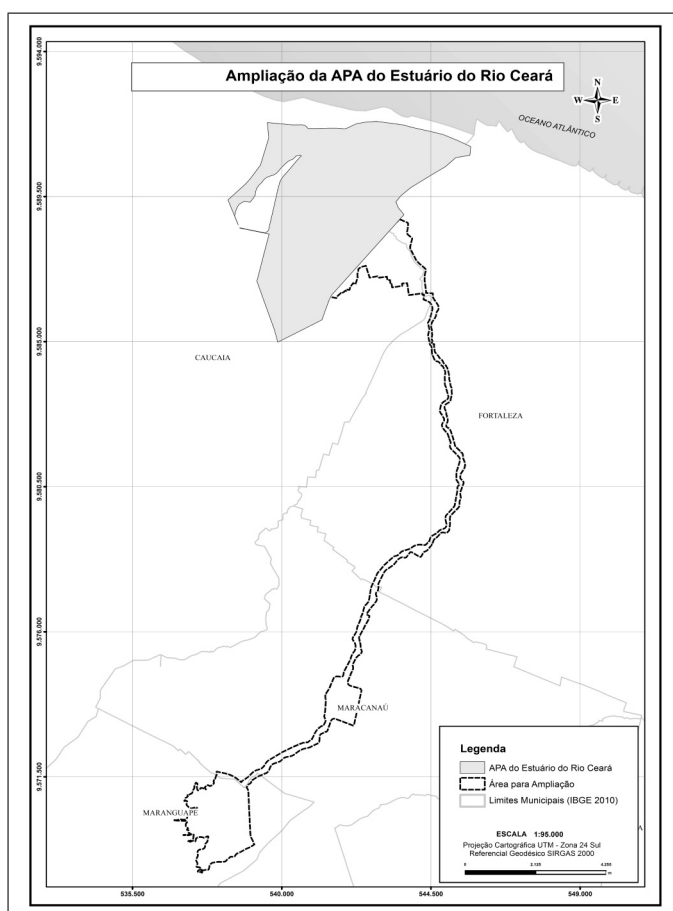
No Brasil, a maioria dos manguezais está em unidades de conservação. Há manguezais protegidos por unidades de proteção integral e por unidades de conservação de uso sustentável. As áreas de manguezais protegidos por unidades de proteção integral possui um total de 198.747,5

mil *ha* e os manguezais protegidos por unidades de conservação de uso sustentável com 811.630,5 *ha* (ICMBIO, 2018).

Originalmente, a APA do Estuário do Rio Ceará foi criada pelo Decreto n. 25.413, de 29 de março de 1999. Abrangia inicialmente uma área equivalente a 2.744,89 *ha*, conforme consta textualmente no Decreto de criação, está situada na limítrofe entre Fortaleza e Caucaia, é administrada pelo órgão público estadual (CEARÁ, 2010).

Em 2018, houve uma ampliação da APA do Estuário do Rio Ceará, a Lei estadual n. 16.607, 18 de julho de 2008 redefiniu os limites da APA com o Decreto Estadual n. 32.761 de 16 de julho de 2018. A área foi ampliada em 1.147,55 *ha* e conferiu um total de 3.892,44 *ha*. A ampliação teve por objetivo garantir a preservação ambiental do afluente rio Maranguapinho, considerado como a principal via para recarga hídrica do estuário do rio Ceará. A APA foi denominada APA do Estuário do Rio Ceará - Rio Maranguapinho (CEARÁ, 2018). Na figura 1 está apresentada a demarcação da área da APA do Estuário do Rio Ceará anteriormente e a área de ampliação realizada.

Figura 1 – Ampliação da APA do Estuário do Rio Ceará



Ceará, 2018

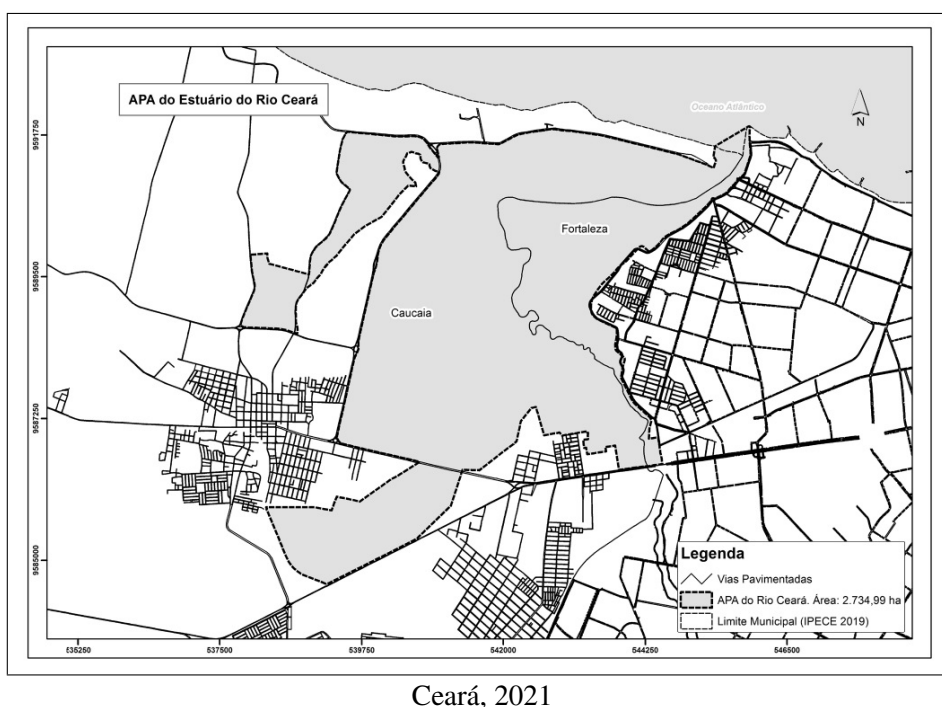
Diante da área total de 3.892,44 *ha*, dividida em 4 municípios (Caucaia, Fortaleza,

Maracanaú e Maranguape) e num contexto de grande pressão urbana, com ecossistemas de complexidades e especificidades locais, foi percebida a necessidade de instituir uma Unidade de Conservação voltada somente ao Rio Maranguapinho. Nesse contexto, foi expedido o Decreto Estadual n. 34.023, de 5 de abril de 2021, criando a Área de Proteção Ambiental do Rio Maranguapinho, compreendida nos municípios de Fortaleza, Maracanaú e Maranguape, no Estado do Ceará, com uma área total de 1.780 *ha* e perímetro de 68,07 *km* (CEARÁ, 2021).

A criação da APA do Rio Maranguapinho visa fortalecer o gerenciamento de cada território, tendo uma atuação mais incisiva sobre o Rio Maranguapinho. Assim são duas áreas protegidas justapostas: a APA do Estuário do Rio Ceará com 2.735 *ha*, em Fortaleza e Caucaia; e a APA do Rio Maranguapinho, compreendida nos municípios de Fortaleza, Maracanaú e Maranguape, no Estado do Ceará, com uma área total de 1.780 *ha* (CEARÁ, 2021).

Na APA do estuário do Rio Ceará houve uma nova ampliação do tamanho da poligonal, já que o Decreto n. 25.413 de 1999 continha uma divergência em relação ao tamanho real da UC em relação aos arquivos cartográficos de georreferenciamento presentes no memorial descritivo, com 380 *ha* a menos. Assim a Assembleia Legislativa do Ceará aprovou, no dia 6 de junho, o projeto de lei n. 67/2021 que redefiniu os limites da APA do Estuário do Rio Ceará, transformado na Lei n. 17.535 de 23 de junho de 2021 (CEARÁ, 2021). A figura 2 apresenta a nova demarcação da área da APA do Estuário do Rio Ceará.

Figura 2 – Redefinição da APA do Estuário do Rio Ceará



Ceará, 2021

Os bairros que detêm a maior concentração urbana da APA do Estuário do Rio Ceará, são: Parque Leblon, Iparana, Barra do Ceará e Vila Velha. Nos bairros apresentam problemas

nas condições de infraestrutura, saúde e educação, que refletem o processo desigual e injusto de produção do espaço. As principais atividades desenvolvidas nos municípios estão nos setores de agropecuária, administração pública, serviços, comércio, construção civil, serviços industriais de utilidade pública e no extrativismo mineral (MENEZES; SOUZA; GRANGEIRO, 2017).

A APA do Estuário do Rio Ceará possui biodiversidade com valor ecológico, social, econômico, histórico cultural e valorização das comunidades indígenas. O estuário do Rio Ceará está localizado em ambiente costeiro, de ligação livre com o mar, abrange área de cerca de 500 *ha* de manguezal. Há pressão demográfica devido o uso diversificado dos seus recursos naturais que causa fragilidade ao equilíbrio ecológico em permanente estado de risco. Torna-se necessário um sistema de gerenciamento de mecanismos articulados em busca de conciliação do desenvolvimento econômico e social, com base na capacidade de suporte do ambiente para assegurar a preservação dos valores e recursos naturais (CEARÁ, 2010).

Os problemas na APA do Estuário do Rio Ceará são decorrentes principalmente da ação antrópica, devido à crescente ocupação desordenada e irregular às margens do rio Ceará, desflorestamento da mata ciliar, degradação do manguezal, a pesca predatória e o assoreamento do rio. A ocupação da APA em estudo localiza-se predominantemente no baixo curso do rio Ceará, nas áreas de estuário e em alguns trechos das margens do rio. A população que vive às margens do rio Ceará encontra-se em condição de insalubridade, por residirem em área de salinas, com falta de saneamento básico adequado (MORAES; PORTELA; COSTA, 2015).

Outro impacto que ocorre na referida APA é a falta de saneamento básico. A poluição dos rios Ceará e Maranguapinho interfere na comunidade local, pois dependem da pesca de peixes, crustáceos, da exploração dos recursos naturais e irregular ocasionada por diversos desgastes, como o despejo de resíduos sólidos e esgotos clandestinos lançados pelas residências e indústrias próximas. A condução é efetuada pelos canais pluviais que conduzem os dejetos para o próprio rio Ceará e/ou seu principal afluente, o Rio Maranguapinho (LIMA et al., 2019; MELO; SAMPAIO; VIEIRA, 1990).

No estudo de Moraes, Portela e Costa (2015) os autores verificaram o desmatamento na área de manguezal do Estuário do Ceará, devido à ocupação desordenada que ocorre tanto à margem direita do rio Ceará, em Fortaleza, especialmente nos bairros, Barra do Ceará, Vila Velha e Goiabeiras. O turismo também consiste numa atividade em crescimento e cada vez mais necessário o implemento de infraestrutura. Na APA do Estuário do Rio Ceará há passeios de barcos pelas áreas de manguezais, incluindo-se o Parque Botânico do Ceará, com área de 190 *ha* de fauna e flora conservados, o parque recebe visitação do público.

A diversidade biológica dos manguezais da APA do Estuário do Rio Ceará é ampla e significativa em número de espécies endêmicas, o estuário do rio Ceará visa suprir as necessidades nutritivas e/ou reprodutivas, e de abrigo temporário ou definitivo. As plantas e animais são tolerantes a condições adversas dos manguezais devido às variações constantes na salinidade, densidade, temperatura da água e as mudanças das marés, assim exige uma extrema habili-

dade característica adaptativa a todos os organismos típicos desse ecossistema (ANDRADE; ALMEIDA, 2012).

Os autores Moraes, Portela e Costa (2015), Maia et al. (2019) descrevem os principais impactos ambientais na APA do Estuário do Rio Ceará, são eles: ocupação desordenada e irregular às margens dos rios Ceará e Maranguapinho, desflorestamento da mata ciliar, degradação do manguezal, pesca predatória e o assoreamento dos rios.

De acordo com Gomes (2020) as categorias de impactos identificados no manguezal do rio Ceará são: construções urbanas em área de manguezal, lançamento de esgoto doméstico, queimadas e desmatamento da vegetação. Esses impactos são decorrentes devido à concentração urbana com sérios problemas de infraestrutura e saneamento básico. Existem ainda consertos barcos pesqueiros as margens do rio, onde os materiais utilizados como tintas, solventes, óleos, dentre outros produtos são lançados diretamente no rio, o que ajuda a potencializar os impactos.

As atividades turísticas na região da APA do Estuário do Rio Ceará são mais acentuadas na área do estuário, é realizado por Organizações Não Governamentais (ONGs) e empresas privadas que promovem passeio de barco pelo rio. O Parque Botânico do Ceará é outro atrativo para a visitação do público, com uma área de 190 *ha* de fauna e flora conservados, trilhas ecológicas que proporciona ao visitante contato direto com a natureza (MORAES; PORTELA; COSTA, 2015).

Inserida nos limites da APA do Estuário do Rio Ceará existe a comunidade indígena dos Tapebas, que sobrevive diretamente da utilização de seus recursos naturais. As comunidades de Iparana e Parque Leblon em Caucaia, e as da Barra do Ceará e Vila Velha em Fortaleza, também exercem atividades na área (CEARÁ, 2010).

A comunidade indígena Tapeba reside em grupo de tamanho, padrão de assentamento, densidade e localização distintos. As atividades de fonte de renda dos Tapeba consiste na negociação de frutas, fabricação de carvão vegetal, coletando mudas de plantas de valor ornamental e vendendo animais silvestres. A pesca artesanal não colonizada de moluscos e crustáceos no manguezal constitui uma das atividades produtivas (BARRETTO, 2018).

A população indígena possui hábitos peculiares e vivem em conflito com a industrialização, que gera acúmulo de resíduos industriais e residenciais. O caminhão de coleta não tem acesso a todos os setores da comunidade, isso faz com que os indígenas levem os lixos para o ponto de coleta determinado, que por vários motivos não acontecem (ISA, 2015).

A luta dos Tapeba pelo reconhecimento de seu território tradicional durou mais de 30 anos. O processo demarcatório da Terra Indígena iniciou em 1985 e a primeira identificação da área foi feita em 1986, após houve uma série de entraves jurídicos e de problemas administrativos que impossibilitaram a regularização do terreno (BRASIL, 2017).

Com a portaria n. 458 de setembro de 2017, enfim, foi declarado a posse permanente do povo Tapeba à terra indígena que leva o mesmo nome da etnia. A área, de 5.294 *ha*, está

localizada no município de Caucaia, próximo à Fortaleza. Os indígenas que habitam a região agora têm segurança jurídica em relação à titularidade e à posse da terra.

### 3.3 Metais pesados em manguezais

A caracterização de metal pesado está associado a substância tóxica, geralmente proveniente de um descarte inadequado por um rejeito no meio ambiente. As principais propriedades químicas dos metais estão relacionadas a sua massa específica elevada, maior ou igual ao valor de referência que, em função de cada publicação varia entre 3,5 e 7,0 g/cm<sup>3</sup>. Possui massa atômica elevada tendo o sódio como referência de um total igual a 23 e número atômico maior que 20, considerado elevado. Alguns autores consideram que qualquer categoria de metal pode ser um metal pesado, enquanto outros incluem apenas os metais de transição (LIMA; MERÇON, 2011).

A toxicologia dos metais e o descarte na natureza estão associados a impactos ambientais e contaminação humana. O conceito para descrever a atual compreensão dos metais pesados necessita de uma articulação multi-interdisciplinar. O termo toxicologia evidencia efeitos nocivos das interações das substâncias com os seres vivos, nesse contexto os metais pesados podem expor um efeito toxicológico específico sobre determinado ser vivo associado a sua biodisponibilidade (VALLS; LORENZO, 2002; MORAES; SZNELWAR; FERNICOLA, 1991).

A biodisponibilidade é um padrão de associação com a espécie do elemento químico, o acúmulo de metais nos organismos depende da fração de metais biodisponíveis no meio. A forma química de como o metal é encontrado no ecossistema interfere na maior ou menor absorção por parte da biota (LIMA; MERÇON, 2011). Para Semedo (2014), os metais essenciais mais comuns ao organismo são: cobre, cromo, níquel, cobalto, e os metais não essenciais são: mercúrio, chumbo, arsênio e o cádmio.

Quanto aos metais essenciais, os autores Valls e Lorenzo (2002) argumentam que eles desempenham funções no metabolismo do organismo, pois suas propriedades demonstram-se fundamentais na manutenção da estrutura tridimensional de biomoléculas. As quantidades necessárias são mínimas e alguns apresentam função biológica irrelevante, podendo causar danos ao metabolismo.

Os metais essenciais podem estar presentes em baixas quantidades no ambiente, necessário à vida animal e vegetal em concentrações traço. No organismo, esses elementos podem participar de processos fisiológicos, como é o caso do Cu e Zn, no entanto, quando em níveis elevados tornam-se prejudiciais. Elementos traço como o mercúrio, cádmio, chumbo e o arsênio são considerados não essenciais devido à sua alta toxicidade, eles interferem em reações enzimáticas através da mudança de conformação das enzimas, não participam de processos metabólicos, além de apresentarem efeito cumulativo no organismo (JOIRIS; HOLSBEEK; OTCHERE, 2000; PEREIRA et al., 2002).

Sobre a influência da concentração de um metal essencial no desenvolvimento de um ser vivo, os autores Lima e Merçon (2011), Onder e Dursun (2006) descrevem que inicialmente o crescente acúmulo acarreta melhoria no desenvolvimento do organismo, que passa de deficiente para ótimo. Entretanto, se houver o aumento não ideal do metal, este exerce uma ação tóxica. Há um limite de concentração, acima desse valor o metal é letal. Para o metal não essencial ao organismo há uma faixa tolerante, acima de determinados limites, ele se torna tóxico. Pode-se constatar que até metais essenciais são considerados tóxicos em quantidades elevadas.

De maneira geral, os metais pesados existentes no ambiente são provenientes dos fertilizantes, dos pesticidas, dos resíduos urbanos e industriais, da mineração e do refinamento de metais. As atividades industriais é a principal fonte de contaminação de metais pesados, principalmente pela liberação dos rejeitos diretamente na natureza. Na forma de vapor os metais são liberados pela combustão do carvão mineral e petróleo, dentre esses estão o Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Ti e Zn, que podem ser também adsorvido ao material particulado emitido na atmosfera (SANTI; FILHO, 2004; MILANEZ, 2007).

As principais fontes de contaminação de manguezais por metais são provenientes de rejeitos de minas e resíduos industriais, a fauna apresenta-se vulnerável pelo estresse fisiológico com redução da reprodutividade (HOGARTH, 2015).

Nilin et al. (2007) argumentam que o distrito industrial de Maracanaú é uma fonte secundária de poluição para o rio Ceará, por partes das empresas não possuírem estações de tratamento de efluentes, os rejeitos industriais podem estar sendo despejados diretamente ou indiretamente no leito do rio Maranguapinho, efluente do Rio Ceará. Nos rios Maranguapinho e Ceará, foram detectados várias categorias de contaminantes, como os metais: chumbo, cromo, cádmio e mercúrio, que possui uma estreita relação entre a existência desses metais e os despejos de lixo industrial.

Os metais pesados presentes em alimentos estão dentre as várias substâncias que podem provocar problemas de intoxicação humana. É provável a bioacumulação em animais aquáticos, mesmo quando estes contaminantes se encontram em concentrações baixas na água, tornando o alimento muitas vezes impróprio para o consumo humano (MACHADO et al., 2002).

Há legislação brasileira que estabelece limites para o descarte de efluentes e de potabilidade de água para consumo humano, de modo a garantir a qualidade ambiental e conter a contaminação por metais pesados na água e alimentos. Os efeitos tóxicos diferem em relação ao tipo do metal, assim, a legislação faz menção apenas à concentração total de cada um. A lei se aplica somente a metais normalmente encontrados em águas naturais ou residuárias que podem acarretar riscos à saúde e ao meio ambiente.

A Resolução CONAMA n. 357 de 2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o enquadramento, estabelecendo as condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2005). Já a Portaria n. 518 de 2004 estabelece o Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde. A tabela 1 referencia o

padrão de lançamento de efluente e o padrão de potabilidade da água dos 5 metais em estudo (BRASIL, 2004).

Tabela 1 – Limite de lançamento de efluente e de potabilidade da água

| Metal                    | Lançamento de efluente - MMA | Potabilidade de água - MS |
|--------------------------|------------------------------|---------------------------|
|                          | Valor máximo                 | Padrão de potabilidade    |
| Cd <sub>total</sub>      | 0,2 mg/L                     | 0,005 mg/L                |
| Mn <sub>dissolvido</sub> | 1,0 mg/L                     | *                         |
| Cu <sub>dissolvido</sub> | 1,0 mg/L                     | 2,0 mg/l                  |
| Pb <sub>total</sub>      | 0,5 mg/L                     | 0,1 mg/l                  |
| Ni <sub>total</sub>      | 2,0 mg/L                     | *                         |

\* Não existe valor estabelecido.

Fonte – Brasil (2005), Brasil (2004)

Verifica-se na tabela 1 que os metais com menores concentrações limites para o despejo são o Cd e Pb e também possuem menores padrões de potabilidade.

É importante a realização de estudos que visem a análise de possíveis poluentes em estuários. Barros et al. (2021) realizaram a caracterização e biodisponibilidade de metais no mangue da Foz do Rio Meirim, Maceió-AL. Nas análises mostraram a presença dos metais: Cu, Zn, Pb, Cd, Fe, Mn e Cr, porém todos foram detectados em concentrações nos limites aceitáveis para a comunidade biótica aos índices de TEL e PEL, na resolução CONAMA n. 344/2004 e ao índice EPA.

No estudo realizado por Peres (2012) foram quantificados teores de metais no sedimento do Estuário do rio Jaguaribe (CE), a concentração dos metais Cu e Pb tiveram a tendência de aumento superficial, de duas a três vezes em relação à base dos perfis. O aumento de concentração provavelmente indica a existência de novas fontes e provavelmente, a influência antrópica intensificada mais recentemente.

### 3.3.1 Caracterização dos elementos metálicos em estudo

Foram apresentadas as principais características e níveis de toxicidade dos metais cádmio-Cd, cobre-Cu, Manganês-Mn, chumbo-Pb e o Níquel-Ni.

#### 3.3.1.1 Cádmio-Cd

O cádmio é um metal de número atômico 48 e massa 112,4 u, possui cor branca, brilhante, maleável, e escasso na crosta terrestre. A forma de ocorrência na natureza é de sulfeto, geralmente como impureza em minérios de zinco, chumbo e cobre. É usado na produção de baterias, em galvanoplastia, na produção de pigmentos, na formação de ligas metálicas, cerâmicas, em reagentes fotográficos e em reatores nucleares. Quanto aos sais de cádmio, eles são empregados como inseticidas e anti-helmínticos (FILHO, 2016).

A contaminação do organismo com Cd provoca acumulação dessa substância nos rins e no fígado, que causa sérios problemas de saúde, como anemia, hipertensão, enfisema pulmonar, câncer, proteinúria e osteoporose (INABA et al., 2005).

Quanto maior a acidez maior a disponibilidade de cádmio em solos e sedimentos, o qual entra na cadeia alimentar pela matéria orgânica. O pH é um fator determinante para a disponibilidade do metal em solos e sedimentos, assim, quanto maior a acidez maior a disponibilidade. Esse elemento sofre uma bioacumulação em plantas aquáticas, invertebrados, peixes e mamíferos. Concentrações elevadas, de 2 a 30 mg/kg de cádmio por peso úmido, são encontradas em moluscos e crustáceos (SEMEDO, 2014).

O alimento é a principal fonte de exposição ao cádmio, como: carnes, peixes, ovos e laticínios. Nos órgãos internos, pâncreas, testículos, glândulas salivares e coração, especialmente fígado e rins, podem conter concentrações elevadas de Cd, que mesmo sob baixas concentrações é tóxico. Níveis tóxicos deste elemento pode levar à desnaturação de proteínas e ao ‘stress’ oxidativo, ocasionando danos nas membranas, que reduz a atividade enzimática e ainda causa outras mudanças metabólicas (OGA; CAMARGO; BATISTUZZO, 2008; GUIMARÃES et al., 2008; JÄRUP, 2003).

#### 3.3.1.2 Cobre-Cu

O cobre possui número atômico 29 e massa atômica 63,6 u. Metal maleável, dúctil, de coloração avermelhada e bom condutor térmico elétrico. Ele pode ser utilizado em ligas metálicas, produção de condutores elétricos e insumos agrícolas. Na forma metálica, o Cu é relativamente solúvel em água, sal e em soluções ligeiramente ácidas, que pode também ser dissolvido em ácido nítrico e ácido sulfúrico bem como em soluções básicas de hidróxido de amônio, carbonato de amônio e cianeto, e na presença de oxigênio. Os minérios de cobre são a calcosite ( $Cu_2S$ ) e a calcopirite ( $CuFeS_2$ ) (FILHO, 2016; PEDROZO et al., 2001).

O cobre é um elemento essencial para as plantas e animais em pequenas quantidades. Quanto a função biológica segundo Anvisa (2019), Johnson (2018), o metal constitui uma dezena de enzimas importantes no metabolismo humano como a superóxido dismutase, envolvida no controle de radicais livres. A toxicidade de cobre adquirida pode resultar da ingestão ou absorção em excesso pelo organismo, chamado hipercupremia. Essa contaminação pode ocasionar quadros de epilepsia, melanomas, artrite reumatoide, doenças psiquiátricas, gastroenterite autolimitada com náuseas, vômito e diarreia. A necessidade de Cu no organismo é 2560  $\mu g/dia$  para crianças e 6935  $\mu g/dia$  para adultos.

Dentre os alimentos que contém cobre cita-se as nozes, legumes secos, cereais, frutos secos, peixe e tecidos animais. Cinco miligramas por dia excedem as necessidades do organismo (FILHO, 2016; SEMEDO, 2014).

### 3.3.1.3 Manganês-Mn

O Mn possui número atômico 25 e massa atômica 23,55 *u*, sendo o 12º elemento mais abundante da crosta terrestre, com cor cinzento-prateado, duro e quebradiço. Seus principais minérios são a pirolusita ( $MnO_2$ ) e a rodocrosita ( $MnCO_3$ ), que podem ser utilizadas na fabricação de ligas metálicas, fabricação de baterias e reagentes químicos (FILHO, 2016).

Esse elemento é considerado um metal essencial para as plantas e animais, porém suas funções específicas são pouco conhecidas. De maneira geral, participa de reações enzimáticas e da atividade da vitamina B1 em quantidades mínimas. Quanto ao valor de referência para criança, é recomendável 1,5 mg/dia e adulto de 2,3 mg/dia (ANVISA, 2019).

O Mn é um metal abundante e presente naturalmente em rochas e sedimentos, é justificada a sua presença (OLIVEIRA et al., 2019). Elevadas concentrações de Mn pode causar danos neurodegenerativos progressivos, resultando em sintomas semelhantes aos da doença de Parkinson, altera a função cardiovascular, causa distúrbios psicológicos, problemas de memória, e insônia em animais e humanos (JIANG; ZHENG, 2005; FILHO, 2016).

### 3.3.1.4 Chumbo-Pb

O chumbo é um metal de número atômico 82 e massa atômica 207,2 *u*, ele possui cor branco-azulado, maleável e mau condutor de eletricidade. É usado na construção de baterias, em munições, em proteções contra raios-X, em pigmentos e em ligas metálicas. Sua principal fonte mineral é a galena (PbS), mas também pode ser encontrado em minerais de zinco, prata, cobre e urânio. O Pb Possui características tóxicas, que prejudicam espécies terrestres e marinhas. Plantas e animais podem bioacumular o chumbo em tecidos animais. A bioacumulação pode atingir valores compreendidos entre 200 à 500 mg, principalmente em trabalhadores que são vítimas de intoxicação ocupacional (ATSDR, 2007; ROCHA, 2009).

A exposição humana ao chumbo pode afetar os sistemas neurológico, hematológico, gastrointestinal, cardiovascular e renal. Essa substância está associada à incidência de retardo no desenvolvimento mental em crianças, à anemia e ao aumento na pressão sanguínea em adultos (ANVISA, 2019).

O chumbo é liberado no ambiente por atividade antrópica, principalmente por fábricas e atividades de construção. É encontrado na atmosfera na forma de partículas eliminadas com relativa rapidez por deposição seca e úmida. As partículas que possuem menor diâmetro podem ser transportadas a longas distâncias. A principal exposição ao chumbo resulta do consumo alimentar (LEVIN et al., 2008).

Na corrente sanguínea, cerca de 90% do chumbo presente circula agregado as hemácias. A deposição do chumbo nos eritrócitos e tecidos moles são os grandes responsáveis pelos efeitos tóxicos. A contaminação pode causar o aumento da pressão sanguínea, danos aos rins, abortos, danos ao cérebro e câncer (ATSDR, 2007; ROCHA, 2009).

Em alguns países, incluindo o Brasil, a principal fonte de poluição ambiental proveniente de áreas não urbanas é a queima de biomassa (canaviais, pastagens, savana e florestas). Emissões naturais, como as de tempestades de poeira em grandes áreas desérticas, as de incêndios acidentais e as emissões de óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) de raios, podem contribuir secundariamente para a geração de poluentes atmosféricos. (ORGANIZATION et al., 2020).

#### 3.3.1.5 *Níquel-Ni*

O Ni em níveis traços é um nutriente essencial para diversas espécies de animais, microrganismos e também para as plantas, porém o excesso desse metal pode provocar sintomas de toxicidade e efeitos nocivos para o meio ambiente (VINCZE et al., 2018; KARA I.; YILMAZER, 2017).

A liberação excessiva de níquel dos setores industriais provoca um aumento considerável nas concentrações do metal nos ambientes aquáticos e nos solos. De maneira natural o Ni pode ser liberado por meio da degradação de rochas e lixiviação (RAVAL N. P.; SHAH, 2016).

A concentração máxima de Ni permitida em lançamentos de efluentes industriais estabelecida pela Resolução CONAMA n. 430 de maio de 2011 é de 2,0 mg/L (BRASIL, 2011). Os efeitos desse metal em concentrações altas na água potável incluem: anemia, diarreia, encefalopatia, hepatite e dano renal, desconforto gastrointestinal, pulmonar fibrose, edema renal, dermatite de pele e disfunção do sistema nervoso. Devido a esses efeitos prejudiciais, é importante ter medidas na remoção de Ni de águas residuais contaminadas antes da descarga para o meio ambiente (MANGALESHWARAN L., 2015).

### 3.4 Parâmetros físico-químicos e microbiológico da água

A água é um elemento essencial para todos os seres vivos, promove a manutenção da vida e propicia as várias atividades humanas. A Resolução do CONAMA n. 357/2005 determina parâmetros físicos, químicos e biológicos específicos para a qualidade da água e respectivos usos (BRASIL, 2005).

#### 3.4.1 *Demanda Química de Oxigênio-DQO*

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação da matéria orgânica através de um agente químico (RIO GRANDE DO SUL, 2017). A DQO é amplamente utilizada para caracterizar a fração orgânica de esgoto ou corpo d'água, indicando indiretamente o teor de matéria presente (COSTA, 2008a).

Costa (2008b) descreve que o decréscimo dos teores de oxigênio dissolvido é o principal efeito ecológico da poluição orgânica em um curso d'água.

Os parâmetros gerais são referências da qualidade ambiental e controla a carga de poluente em recursos hídricos. A Resolução CONSEMA n. 355/2017 tem o DQO como um

dos parâmetros mais expeditos para determinar a supressão de oxigênio dissolvido das águas residuárias. O procedimento padrão atual para a determinação da DQO, é o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, que se baseia especificamente na utilização do dicromato de potássio como agente oxidante, com diferentes formas de procedimento e de detecção (BAIRB R. B., 2017).

O método da DQO por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater é o mais recomendado, pelo tempo de duração de cerca de 130 minutos (considerado rápido) e permite maior tempo para conservação da amostra (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997).

### 3.4.2 Amônia

A amônia ( $NH_3$ ) é um gás básico muito comum encontrado na atmosfera, pode reagir com o ácido nítrico ( $HNO_3$ ) e formar partículas finas na atmosfera, as quais têm efeitos negativos à saúde humana. Tanto a molécula de  $HNO_3$  como sua forma iônica podem retornar ao solo via processos de deposição seca e úmida (ROCHA, 2021).

A presença da amônia nos corpos d'água pode resultar no produto da degradação de compostos orgânicos e inorgânicos do solo e da água, resultado da excreção da biota, redução do nitrogênio gasoso da água por microorganismos ou por trocas gasosas com a atmosfera. Nos esgotos sanitários a amônia é um componente comum, devido às descargas de efluentes domésticos e industriais, da hidrólise da ureia e da degradação biológica de aminoácidos e outros compostos orgânicos nitrogenados. Dissolvido em solução a amônia pode se apresentar sob as formas ionizada ( $NH_4^+$ ) ou não-ionizada ( $NH_3$ ) (REIS; MENDONÇA, 2009).

Essas categorias da amônia são permutáveis e a soma de suas concentrações constitui a amônia total ou nitrogênio amoniacal total, termo encontrado na Resolução CONAMA n. 357/2005 (REIS; MENDONÇA, 2009; BRASIL, 2005).

A Resolução CONAMA n. 357, de março de 2005 estabelece os padrões para os compostos de amônia em água doce, salobra e salgada. O teor de amônia limite para a classe de água salobra é de 0,70 mg/L. Os padrões estabelecidos pela Resolução 357/2005 para os compostos de amônia em corpos de água e efluentes, sinaliza avanços em relação aos antigos padrões e às suas eventuais limitações (BRASIL, 2005).

Concentrações altas de amônia pode tornar um problema para o equilíbrio de estuário, pois este íon é um dos principais nutrientes utilizados pelos vegetais e consequentemente pode desencadear o processo de eutrofização (COSTA, 2008b). Outro problema é o acúmulo da amônia no sangue e tecidos de peixes, além disso, a interação da amônia com outros fatores ambientais podem influenciar na taxa de conversão alimentar e reduzir o ganho de peso e crescimento dos animais. Em concentrações mais elevadas pode provocar toxicidades subletal e letal (GORLACH-LIRA et al., 2013; B RAMESH M, 2013).

Os autores Barbieri et al. (2014) descrevem que a presença de amônia pode evidenciar

possíveis contaminações por matéria orgânica provenientes de efluentes. No estudo de Quinelato et al. (2021) foi identificado valores acima do máximo permitido na legislação para a amônia no estuário do rio Caraíva-Bahia, que junto a outros parâmetros podem identificar a qualidade da água superficial e sua compatibilidade.

### 3.4.3 Condutividade elétrica

Um dos fatores que influencia a condutividade elétrica nos corpos de água é a formação geológica da área em questão. A água tende a ter um grau relativamente constante de condutividade que, quando estabelecido pode ser usado para comparação com medidas regulares, do mesmo ponto, de condutividade. Mudanças significativas podem ser indicadores que processos de poluição estão ocorrendo com a descarga de material na água (EMBRAPA, 2020).

A capacidade da água permitir a passagem elétrica condiz a sua condutividade elétrica, afetada pela presença de sólidos dissolvidos como ânions de cloreto, nitrato, sulfato e fosfato, e também cátions de sódio, magnésio, cálcio, ferro e alumínio. A condutividade tende a acompanhar proporcionalmente a salinidade e temperatura da água (OHREL RONALD L., 2006).

Nos ambientes aquáticos em regiões tropicais os valores de condutividade elétrica estão relacionados com as características geoquímicas da região e com as condições climáticas que interferem na concentração iônica, que também pode ser influenciada pelo estado trófico, principalmente em ambientes que sofrem com influência antrópica. É possível detectar fontes poluidoras nos ecossistemas aquáticos e indicar a qualidade da água através de valores de condutividade. O Sistema Internacional utiliza as unidades de miliSiemens por cm (mS/cm) ou microSiemens por cm (uS/cm) para a condutividade elétrica (ESTEVES, 2011).

### 3.4.4 Coliformes totais e *Escherichia coli*

Os coliformes totais correspondem às bactérias presentes no trato intestinal e também podem ser encontrados em pastagens, solos e outros locais do organismo. Já a *Escherichia coli* ou *E.coli* é considerada um coliforme fecal, pois está associado às bactérias do trato intestinal. A *E.coli* é utilizada como indicador por ser específica de fezes humanas e outros animais de sangue quente (COSTA, 2008b).

Estes microorganismos não são patogênicos, mas sua presença indica a potencialidade da água transmitir doenças, pois há a possibilidade de existência de outros organismos patogênicos (COSTA, 2008b).

Os microrganismos patogênicos oriundos de fontes externas são em maioria provenientes de efluentes lançados no corpo hídrico e afeta diretamente os usos destinados da água (OHREL RONALD L., 2014). É necessário quantificar a presença dos coliformes totais para verificar se os corpos hídricos têm contaminação de fezes animais e se possuem potencialidade de transmitir doenças por veiculação hídrica (MASSOUD, 2012).

No estudo de Oliveira et al. (2020) foi identificado a presença de coliformes totais em 75% das amostras do peixe *Tambaqui curumim*, o que pode indicar contaminação da água onde esses peixes habitam.

### 3.5 Poluição atmosférica

A demanda atual por produção de alimentos, consumo desenfreado, uso de combustíveis fósseis, desmatamento, aumento da população e outras sequências de fatores favoreceram a elevação da temperatura, regime de chuvas alterado, derretimento das geleiras, os níveis dos oceanos em constante elevação, entre outros (THE GUARDIAN, 2016).

Cerca de 97% dos estudos sobre clima indicam que a maior razão do aumento da temperatura média global é a emissão de gases de efeito estufa (GEE), os principais gases são: dióxido de Carbono ( $CO_2$ ), metano ( $CH_4$ ) e óxido nitroso ( $N_2O$ ). A emissão do  $CO_2$  é decorrente de atividades antrópicas, como a exploração de combustíveis fósseis: carvão, petróleo e gás natural, utilizado para gerar energia, o desmatamento também favorece a liberação de  $CO_2$  (ICLEI, 2016).

Os Inventários de GEE são documentos de mapeamento, relato e monitoramento das fontes de emissões. A elaboração do Inventário de Emissão de GEE e as atualizações devem ocorrer periodicamente, pois são importantes para entender a origem e as contribuições de emissões no município, em quais setores estas ocorrem e quais suas características. Também estabelecem metas e estratégias locais de redução e orientação de investimento, ações específicas e políticas possíveis para estimular uma economia mais eficiente, resiliente, justa e sustentável (FORTALEZA, 2020).

Nos centros urbanos há tendência de intensificação dos índices de poluentes atmosféricos. Dentre os poluentes atmosféricos emitidos, os mais significativos são o dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), monóxido de carbono ( $CO$ ), óxidos de nitrogênio ( $NO_2$ ), ozônio ( $O_3$ ), ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), sulfato ( $SO_4$ ) e materiais particulados (MP). Esses compostos químicos e resíduos tóxicos são responsáveis por possíveis efeitos mutagênicos, o que causa risco a saúde humana, como: doenças respiratórias, câncer de pulmão e disfunções cardiovasculares. Os efeitos desses poluentes dependem do período de exposição, clima, estado nutricional, predisposição, idade e impacto de outros poluentes (BRAGA; PEREIRA; SALDIVA, 2002; CASTRO; SISENANDO, 2017).

Os poluentes atmosféricos são formas de matéria em quantidade, concentração e tempo significativo para tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e proveito da propriedade ou às atividades normais da comunidade (BRASIL, 2018).

Em termos legais existem preocupações de se estabelecer limites para a concentração de poluentes. As Diretrizes Globais de Qualidade do Ar (AQG) da Organização Mundial da

Saúde (OMS) fornecem evidências dos danos que a poluição do ar causa à saúde, até mesmo em concentrações mais baixas do que se acreditava. Por esse motivo as diretrizes foram atualizadas e recomendam novos valores-guia de qualidade do ar para proteger a saúde humana, reduzir os níveis dos principais poluentes atmosféricos, alguns dos quais também contribuem para a mudança do clima (WHO, 2021).

Desde a atualização global da OMS em 2005 houve um crescimento acentuado das evidências que mostram como a poluição do ar afeta diferentes aspectos da saúde. Após uma revisão sistemática das evidências acumuladas vários dos valores-guia da AQG reduziram, como o  $MP_{10}$  e o  $MP_{2,5}$ , alertando que exceder os novos níveis das diretrizes de qualidade do ar traz riscos significativos para a saúde (WHO, 2021).

Existem os limites estabelecidos pelo padrão federal do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Resolução 491/2018 (BRASIL, 2018). Em São Paulo, o Decreto Estadual n. 59.113 de 23/04/2013 (SÃO PAULO, 2013), determina os limites vigentes no estado, ambos estabelecem 3 metas intermediárias (MI) ou padrões intermediários (PI), até que estabeleça os padrões finais (PF) baseado nas diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS) (WHO, 2021). A ideia é que a poluição atmosférica seja reduzida gradativa e progressiva, passando da MI-1 (ou PI-1) até atingir os padrões finais.

Na legislação Internacional, há os limites estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS) (WHO, 2021), pela Agência Ambiental Europeia (EEA, 2020) e os limites da Agência Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA, 2017).

Foi quantificado e comparado com limites estabelecidos pelos órgãos citados acima, os poluentes atmosféricos: ozônio ( $O_3$ ), material particulado  $MP_{2,5}$  e  $MP_{10}$ , dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e formaldeído ( $HCHO$ ) nas principais vias da APA do Estuário do Rio Ceará. A APA possui acesso pelas Av. Francisco Sá e Ulisses Guimarães, também pela BR-222 e Mister Hall no entroncamento com a CE-090 (MORAES; PORTELA; COSTA, 2015).

### 3.5.1 Ozônio

O ozônio ( $O_3$ ) é um gás incolor, inodoro e reativo. Possui origem natural nas camadas superiores da atmosfera. A principal função do  $O_3$  é absorver as radiações solares, as quais ativam a reação de óxidos de nitrogênio com hidrocarbonetos (BRAGA et al., 2005).

O  $O_3$  na troposfera é um poluente secundário e oxidante fotoquímico que causa problema de qualidade do ar. Na presença de radiação solar o  $O_3$  é formado a partir de reações químicas entre gases emitidos por fontes naturais e antropogênicas, como óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis. Em concentrações altas pode causar impactos prejudiciais à saúde humana, como a irritação do sistema respiratório, diminuindo a capacidade pulmonar que agrava problemas de asma e doenças pulmonares crônicas (ESPOSITO, 2008).

O  $O_3$  encontra-se entre os poluentes atmosféricos mais frequentes em ambientes urbanos,

assim como o dióxido de enxofre, o óxido de nitrogênio. Esses poluentes são os mais prejudiciais para as plantas, o  $O_3$  causa clorose e necrose, e afeta o crescimento vegetal (JÚNIOR; RAIMUNDO; AMORIM, 2014; ESPOSITO, 2008).

No entorno da indústria siderúrgica Companhia Siderúrgica do Pecém, zona portuária do litoral do Nordeste brasileiro, foi verificado a concentração de  $O_3$  máxima média obtida no dia para o período de referência de 8 h de  $38,7 \mu g/m^3$  e de  $52,6 \mu g/m^3$ . Valores aceitáveis nas imediações de ambas as estações com base na Resolução CONAMA n. 491/2018 que prevê de  $140 \mu g/m^3$  como padrão da qualidade do ar intermediário, valor a ser alcançado em etapas até  $100 \mu g/m^3$  como padrão da qualidade do ar final. Valor guia definido pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 2005 (COSTA; COSTA, 2021).

### 3.5.2 *Material particulado*

As partículas de material particulado (MP) são compostas por pequenas partículas, tanto sólidas quanto líquidas, que estão temporariamente suspensas no ar. O MP é classificado conforme o seu diâmetro aerodinâmico. O PTS é composto por partículas grossas, finas e ultrafinas. Partículas de  $MP_{10}$  apresentam diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a  $10 \mu m$ , já as partículas de  $MP_{2,5}$  apresentam diâmetro equivalente inferior a  $2,5 \mu m$ , as partículas respiráveis estão abaixo de  $2,5 \mu m$  (MANAHAN, 2017; WIERZBICKA et al., 2014).

Em 2018 foi publicado a Resolução CONAMA n. 491 de 21 de novembro, a resolução dispõe dos padrões de qualidade do ar, como as Partículas Totais em Suspensão (PTS), Material Particulado  $MP_{10}$ , Material Particulado  $MP_{2,5}$  e ozônio ( $O_3$ ). As partículas de PTS são de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de  $50 \mu$ , a resolução reafirma que o  $MP_{10}$  possui diâmetro aerodinâmico equivalente à corte de  $10 \mu$  e o  $MP_{2,5}$  diâmetro de  $2,5 \mu$  (BRASIL, 2018).

A intensificação do MP provoca impactos no clima, os efeitos são divididos em duas classes: efeitos diretos e indiretos. Os efeitos diretos são resultantes do espalhamento e absorção da radiação solar e os efeitos indiretos ocorrem quando o MP age como núcleo de condensação de nuvens (YNOUE et al., 2017). As principais fontes emissoras de MP são: a resuspensão do solo, queima de biomassa, processos industriais e emissões de veículos automotores (VALLERO, 2014).

A concentração do MP depende das condições meteorológicas, como os ventos, chuvas e instabilidade do ar que atuam efetivamente na qualidade do mesmo. A direção e a velocidade dos ventos propiciam o transporte e a dispersão dos poluentes atmosféricos, a redução dos ventos gera um aumento nas concentrações de MP. Já a precipitação atua na remoção das partículas presentes na atmosfera promovendo a transferência dos poluentes, pois uma parcela significativa desses é incorporada à água da chuva. Além disso, o solo úmido evita a suspensão das partículas para a atmosfera (TORRES; MARTINS, 2005).

É comum a presença de  $MP_{10}$  próximo a rodovias e a indústrias, já o  $MP_{2,5}$  e  $MP_{1,0}$  são encontradas principalmente em fumaças e neblinas (KAMPA; CASTANAS, 2008). Alguns estudos caracterizam as possíveis fontes de emissão do MP e outros poluentes atmosféricos, os autores Gioia et al. (2010) identificaram maiores níveis de MP emitidos por emissões veiculares na cidade de São Paulo, caracterizando como uma das principais fontes de emissões desses poluentes.

O tamanho das partículas determina o tempo que permanecem suspensas na atmosfera para exposição humana, o seu diâmetro também está relacionado com a deposição aos diferentes níveis do sistema respiratório, podendo chegar até ao nível alveolar e provocar danos como irritação, inflamação e até câncer de pulmão. As partículas de  $MP_{10}$  são denominadas partículas inaláveis, o  $MP_{2,5}$  e o  $MP_{1,0}$  são as partículas respiráveis. O MP em concentrações elevadas, formam uma névoa que restringe a visibilidade e apresentam potenciais impactos ambientais incluindo efeitos no clima (MANAHAN, 2017; WIERZBICKA et al., 2014; GOYAL; KUMAR, 2013).

O  $MP_{10}$  e o  $MP_{2,5}$  possuem origens de processos mecânicos, como a liberação de poeira pelo uso do solo, do sal marinho, das cinzas de combustão e das emissões biogênicas naturais. Já as partículas  $< MP_{2,5}$  podem ser geradas por processos de combustão empregados no setor industrial, da frota veicular, além dos processos de formações secundárias provenientes de reações atmosféricas (QUEIROZ; JACOMINO; MENEZES, 2007).

O risco de mortalidade por doenças cardiopulmonares aumentam em 6% e o risco de mortalidade por câncer de pulmão em 8% com o aumento da concentração de MP em  $10\mu g^3$  (IANISTCKI et al., 2009).

### 3.5.3 Dióxido de carbono

O aumento da emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE's) possui efeito no aumento da temperatura em escala global. Os GEE's em destaque são: vapor d'água, dióxido de carbono ( $CO_2$ ), metano ( $CH_4$ ) e óxido nitroso ( $N_2O$ ). O  $CO_2$  é um dos principais gases que absorvem a radiação infravermelha (JUNGES et al., 2020).

O dióxido de carbono ( $CO_2$ ) é o mais comum dos Gases de Efeito Estufa (GEE), é liberado principalmente pela extração e queima de combustíveis fósseis e pelo desmatamento. Das emissões por atividades antrópicas, o  $CO_2$  corresponde 76% e pode permanecer de cinquenta a duzentos anos na atmosfera (ICLEI, 2016; LACERDA et al., 2020).

Essas emissões de  $CO_2$  teve um aumento de quase 50% na concentração entre os anos de 1813 a 2019, de 280 ppm para 411 ppm. As emissões por atividades antrópicas mais significativas são: queima de combustível fóssil, seguido de mudanças no uso da terra e a indústria. A intensificação da concentração de  $CO_2$  atmosférico no decorrer do século passado devido às emissões de combustíveis fósseis, tanto em quantidade quanto em ritmo, é significativo quando comparado a todos os ritmos naturais conhecidos do planeta, incluindo aqueles que a

sociedade moderna foi exposta (RUBINO et al., 2013; BERLATO; CORDEIRO, 2018).

As emissões de combustíveis fósseis continuam a ter consequências imprevistas para o planeta, devido às mudanças climáticas e seus impactos, o que inclui o  $CO_2$  e seus efeitos junto as projeções de emissões por modelos de avaliação integradas. São necessárias observações regionais de longo prazo e modelagem para restringir mais ainda as concentrações globais de  $CO_2$  (KARNAUSKAS; MILLER; SCHAPIRO, 2020).

Todos os setores industriais são responsáveis por uma parcela de emissão dos GEE, O setor de transporte é o principal responsável pelo aumento dessas emissões, principalmente do  $CO_2$ . No município de Fortaleza Ceará, o setor de transporte em 2018, foi responsável por 67% do total de emissões inventariadas. Este setor é responsável pela emissão de 2.687.561 t $CO_2$ e, das quais 79% provêm do transporte terrestre e 21% do transporte aéreo (C40 CITIES, 2020). Quando comparado ao ano de 2016 o setor de transporte teve contribuição de emissões de GEE significativo no mesmo município, com total de 1.933.975 t $CO_2$ e, o que resulta em um índice de 0,741 t $CO_2$ e/hab/ano, valor abaixo da média global de 7 t $CO_2$ e/hab/ano (TOOL, 2019).

O dióxido de carbono equivalente ( $CO_2$ e) é a medição da concentração dos gases na atmosfera, assim os gases de efeito estufa são convertidos para o cálculo padronizado (ICLEI, 2016).

No organismo humano o aumento de  $CO_2$  causa uma variedade de substâncias neuroquímicas, representadas por respostas respiratórias e vasculares. De 7 a 10% da concentração de  $CO_2$  causa aumento da pulsação, respiração e aumento da pressão arterial, dor de cabeça, tontura, falta de ar, irritação no nariz, palpitação, desmaios e dores musculares. Em taxas baixas a moderadas de 5 a 35% altera o ritmo respiratório, frequência cardíaca e pressão sanguínea. Em concentrações mais elevadas os sintomas são os mesmos da concentração moderada e pode ocorrer a hiperventilação antes de uma depressão cardíaca. O acúmulo de  $CO_2$  causa acidificação da mucosa nasal (CONLEE et al., 2005).

Foi realizado um monitoramento da qualidade do ar nos estacionamentos abertos e fechados de dois shoppings em Fortaleza – CE, no primeiro estacionamento a média de  $CO_2$  foi 0,12 ppm e no segundo estacionamento a média foi 0,4 ppm (XERES; SILVA, 2021).

### 3.5.4 Formaldeído

O formaldeído ( $HCHO$ ) é também conhecido por aldeído fórmico ou metanal, é o composto mais simples da família dos aldeídos. Em temperatura ambiente é um gás incolor e irritante, apresenta um odor sufocante, pungente e característico, é detectável a baixas concentrações. É produzido ao nível mundial em grande escala por oxidação catalítica do metanol. Os principais processos de oxidação do metanol recorrem a catalisadores metálicos, como a prata e cobre, ou óxidos de metais (KLAASSEN; AMDUR, 1996; CLARKE, 2004; WHO, 2002).

O principal uso do  $HCHO$  é na produção de resinas com ureia, fenol e melamina e de

resinas de poliacetal. As resinas a base de formaldeído são usadas na fabricação de painéis, móveis e outros produtos de madeira, na produção de materiais de moldagem, como matéria-prima para revestimentos de superfície e em adubos. Pode ser usando também na indústria têxtil, couro, borracha e cimento, como agente desinfetante e conservante, entre outros usos. É comercializado normalmente na forma de soluções aquosas em concentrações entre 30-50% por peso (SÃO PAULO, 2017).

O *HCHO* também pode estar presente em produtos de cosméticos, papéis com brilho e fotografias a cores. Assim, diariamente o organismo pode ser exposto a níveis baixos de formaldeído (KAMINSKI; KAPLAN; HOLSAPPLE, 2008).

As fontes de emissão de formaldeído são: emissões veiculares, materiais de construção, carpetes, tintas, vernizes, alimentos, fumaça de cigarro e a utilização de formol como desinfetante. A exposição por inalação é principal via de exposição humana, os vapores são irritantes para o nariz, garganta e olhos, mesmo em baixas concentrações. A exposição acima de  $60 \text{ mg/m}^3$  é considerada alta e pode causar dispneia, salivação excessiva, espasmos musculares, coma e chegar a morte. Em contato dérmico o composto é absorvido pela pele e mucosas, sendo rapidamente metabolizado, assim a maioria dos efeitos observados, como atrofia e necrose, é restrita ao local de contato (SÃO PAULO, 2017).

O *HCHO* é um responsável pela “Síndrome do Edifício Doente”, caracterizada por ambientes fechados quando não possui ventilação adequada, interferindo na qualidade do ar e a saúde humana. Esta contaminação pode ocasionar reações como ardência nos olhos e tosse, crises de asma e rinite (LONGINO, 2015).

A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica o formaldeído como um composto cancerígeno para humanos com base em evidência de câncer de nasofaringe em trabalhadores expostos por via inalatória (BRASIL, 2021).

Concentração elevada de *HCHO* em água causa uma rápida absorção nos tratos respiratórios e gastrointestinal. Pode ainda ser oxidado para formar formiato e exalado como gás carbônico ou incorporado às formas biológicas. O *HCHO* é um metabólito humano produzido em pequenas quantidades a partir do metanol por meio da ação da enzima álcool desidrogenase (SALTHAMMER; MENTESE; MARUTZKY, 2010).

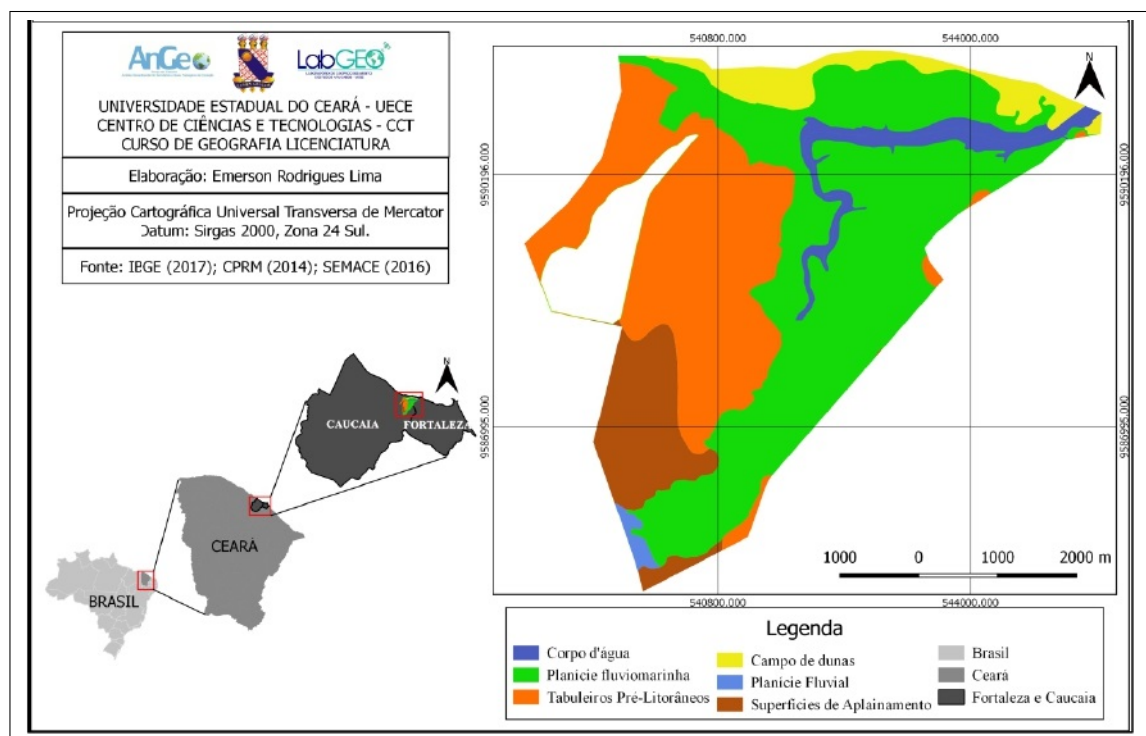
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção, apresenta-se a área de estudo, o método empregado na obtenção das amostras de água e de ar. Posteriormente refere-se as estimativas das análises dos dados obtidos em comparação com os valores de referência.

### 4.1 Área de estudo

O mapa da Figura 3 destaca os sistemas ambientais da APA do Estuário do Rio Ceará. A maior extensão remete-se a planície fluvio-marinho (resultante da combinação de processos de acumulação fluvial e marinha), onde comporta o ecossistema de manguezal que serve de abrigo e refúgio para diversas espécies de animais e vegetais. A referida APA é uma unidade de conservação de uso sustentável.

Figura 3 – Área de Proteção Ambiental do Estuário do Rio Ceará



Fonte: Lima et al. (2019)

A Área de Proteção Ambiental do Estuário do Rio Ceará, possui localização na divisa dos municípios de Fortaleza e Caucaia, criada pelo Decreto Estadual n. 25.413/1999 e ampliada com a Lei Estadual n. 17.535/2021 com 2.735 ha. houve a ampliação do tamanho da poligonal da referida APA, pois o Decreto n. 25.413/1999 continha uma divergência em relação ao tamanho real da UC (CEARÁ, 2010; CEARÁ, 2021).

## 4.2 Infraestrutura para desenvolvimento da pesquisa

A quantificação dos metais pelo método do Espectrofotômetro de Absorção Atômica por Chama foi desenvolvida no Laboratório de Análises de Traços (LAT) do Departamento de Química Analítica e Físico Química da Universidade Federal do Ceará (UFC). Os parâmetros físico-químicos e microbiológico da água foram analisadas no Laboratório de Tecnologia Ambiental (LATAM) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Para as coletas dos poluentes atmosféricos foi utilizado a estrutura física e tecnológica dos Laboratórios de Biofísica da Respiração (LBR), Laboratório de Conversão Energética e Emissões Atmosféricas (LACEEMA), ambos pertencentes a Universidade Estadual do Ceará (UECE) e o Laboratório de Tecnologia Química (LTQ) do IFCE.

## 4.3 Amostragem da água para a quantificação de metais

As coletas foram realizadas em três pontos específicos ao longo do manguezal no rio Ceará, no período chuvoso (janeiro de 2021) e no período seco (agosto de 2021). A Figura 4 demarca os pontos de estudo na APA do Estuário do Rio Ceará.

O ponto de coleta 1 localiza-se nas coordenadas -3.700513, -38.632253, as margens da CE-090, Caucaia-CE. O ponto 2 encontra-se na região mais central na APA, possui coordenadas -3.701105, -38.622462, Caucaia-CE. O ponto 3 fica nas proximidades da praia Barra do Ceará, com coordenadas -3.702086, -38.590718, Fortaleza-CE.

Em cada ponto específico foram coletadas 5 amostras de água ( $n = 5/cada$ ), para cálculo da média da concentração dos 5 metais em estudo. A coleta foi obtida por sucção com mangueira de silicone com profundidade de 0-15 cm a uma distância cerca de 10 m transferidas para frascos plásticos descontaminados e identificadas por etiqueta (250 mL) (SILVA, 2011). O transporte até o laboratório foi conduzido em caixas térmicas com gelo picado.

As amostras foram filtradas com papel de filtro (Whatman de 25-30  $\mu m$ ) e acidificadas a 0,2% com  $HNO_3$ , para evitar a formação de hidróxidos e conservadas na geleira. Para efetuar as análises, as amostras foram filtradas com membranas celulósicas de 0,45  $\mu m$  com bomba de vácuo.

As análises foram realizadas em Espectrofotômetro de Absorção Atômica por Chama (FSAA), Perkin Elmer, modelo Aanalyst 1000. Foram construídas curvas de calibração para cada metal a partir de seus padrões puros. O método de quantificação usado para os metais é a padronização externa.

As amostras de água foram submetidas ao método de mineralização por via úmida com ácido nítrico ( $HNO_3$  65%) com leitura por espectrofotometria de absorção atômica e avaliado alguns parâmetros físico-químicos e microbiológicos, foi também analisado poluentes atmosféricos nas principais vias que recobrem a APA.



#### 4.4 Parâmetros físico-químicos e microbiológico da água

Para os parâmetros físico-químicos e microbiológico da água foi realizado a análise somente do período seco, por não ter sido possível realizar as análises do período chuvoso, devido as dificuldades enfrentadas durante a pandemia do (COVID-19).

As coletas foram realizadas nos três pontos específicos já citados acima, no período seco (agosto de 2021). Em cada ponto específico foram coletadas 2 amostras de água ( $n = 2/cada$ ).

As variáveis químicas determinadas para análise da qualidade da água foram: amônia ( $mg/L$ ), demanda química de oxigênio DQO ( $mg/L$ ), condutividade ( $mS/cm$ ), coliformes totais e *Escherichia coli*. As amostras foram preparadas em duplicata e adotou-se para amônia, DQO e condutividade as metodologias de análises conforme Standard Methods (APHA, 2005).

O teste microbiológico baseou-se no método presença/ausência com o Colilert (IDEXX's Quanti-Tray), que avaliou qualitativamente a presença ou ausência de bactérias indicadoras de Coliformes Totais e *E.coli*. Procedeu-se o teste confirmativo de fluorescência de uma luz UV de 365 nm de 6 watts (IDEXX, 2017).

#### 4.5 Zonas de análises das emissões de poluentes atmosféricos

As coletas foram efetuadas no período chuvoso (abril e maio de 2021) e no período seco (setembro de 2021), de forma estática (5 minutos para cada ponto), distribuídos entre 21 pontos no ciclo de três dias consecutivos (terça-feira, quarta-feira e quinta-feira). Foram considerados esses dias por serem dias típicos quando comparados a segunda-feira e sexta-feira. A coleta foi iniciada as 12 h (meio-dia).

A extensão total do perímetro foi de 22 km entre as vias que recobrem a APA do Estuário do Rio Ceara, dividido em 21 espaços com distância de 100 m entre cada ponto, Figura 5. Foi escolhido esse espaçamento entre os pontos por não possuir diferença significativa entre a média das amostras coletadas em um espaço menor. Em cada ponto, foi realizado a análise estática, as medidas foram coletadas por um intervalo de 5 minutos em cada ponto.

O início das análises foi na Avenida Mister Hall, Fortaleza - CE, coordenadas -3.740998, -38.601264 (ponto 1), o término do percurso foi no Bairro Quintinho Cunha, Fortaleza - CE, coordenadas -3.739646, -38.599186 (Ponto 21). O tempo total do percurso foi em torno de 2h e 30min.

Os pontos 1 e 2 encontram-se na Avenida Mister Hall, BR-222, em Fortaleza-CE. Os pontos 3, 4, 5 e 6 ficam na CE-085, Caucaia-CE. Na CE-090 (Caucaia-CE) situaram-se os pontos 7, 8, 9 e 10, no ponto de coleta 9 encontra-se a entrada do Parque Botânico do Ceará. Já na Avenida Ulisses Guimarães, Caucaia-CE, os pontos de coletas foram 11, 12, 13 e 14. O ponto 15 localiza-se na Avenida José Lima Verde, na Barra do Ceará, próximo à ponte José Rodrigues, que interliga as Avenidas Ulisses Guimarães e Leste oeste. Do ponto 16 ao 21 as coletas foram



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção do trabalho estão apresentados os resultados e a discussão do estudo na APA do Estuário do Rio Ceará agrupados em 4 etapas: na água por meio dos parâmetros físico-químicos (DQO-Demanda Química de Oxigênio, Amônia e Condutividade elétrica), microbiológicas de coliformes totais e *E.coli* (presença ou ausência) e metais pesados; e no ar por emissões de poluentes atmosféricos.

### 5.1 Parâmetros físico-químicos e microbiológico da água

Foram discutidos os resultados dos parâmetros físico-químicos da DQO, Amônia e Condutividade elétrica; da análise microbiológica de coliformes totais e *E.coli* (presença ou ausência).

As amostras foram coletadas em agosto de 2021, em período seco. Não houve comparativos entre os períodos seco e chuvoso, devido à impossibilidade de análise no período chuvoso por motivos da Pandemia do (COVID-19).

### 5.2 Parâmetros físico-químicos e microbiológico da água

A tabela 3 apresenta os resultados da DQO, amônia e condutividade elétrica.

Tabela 3 – Valores dos parâmetros físico-químicos da água

| Parâmetro             | Pontos |      |      | Referência |
|-----------------------|--------|------|------|------------|
|                       | P1     | P2   | P3   |            |
| DQO (mg/L)            | 254    | 281  | 234  | *          |
| Amônia (mg/L)         | 1,85   | 0,78 | 0,27 | 0,70       |
| Condutividade (mS/cm) | 8,76   | 17,7 | 17,6 | *          |

\* Não existe valor estabelecido.

Fonte – elaborada pela autora.

Para a DQO foi quantificado 254 mg/L no ponto 1, 281 mg/L no ponto 2 e o ponto 3 com 234 mg/L. A DQO é um indicativo de poluição urbana (SPERLING, 2005), não houve discrepância significativa para os valores de DQO em relação aos pontos avaliados.

A alta DQO no ponto 2, tabela 3, seguido dos pontos 1 e 3, com média de 256 mg/L, indica um valor elevado de matéria orgânica presente no meio quando comparado ao trabalho de Chagas, Lima e Felici (2020), com média de 49 mg/L no córrego São Jorge, localizado no município de Tarabai-SP. já o estudo de Fiuza, Lehugeur e Queiroz (2010), a média foi de 300 mg/L para o baixo curso do rio Pacoti-CE. Ambos os trabalhos mencionam a presença de atividades pecuaristas, esgotos residencias e industriais.

A maior concentração de DQO foi encontrada no ponto central em estudo (ponto 2), no corpo do estuário, provavelmente pela concentração de residências nas proximidades e ausência de saneamento básico.

A importância de determinar a DQO é a possibilidade de indicar o teor de matéria orgânica no corpo d'água, que caracteriza o grau de poluição do meio correlacionado com a interferência humana, que vem modificando os recursos hídricos e tornando-se necessário o monitoramento e identificação de mudanças negativas (SPERLING, 2005).

Na quantificação da amônia foi utilizado como referência máximo permissível de 0,70 mg/L na água pela Resolução CONAMA n. 357/05 em águas salobras e salinas. O ponto 1 obteve 1,85 mg/L de amônia na água, já no ponto 2 o valor foi de 0,78 mg/L e no ponto 3 foi 0,27 mg/L. Percebe-se que nos pontos 1 e 2 os valores foram superiores ao da referência (0,70 mg/L) e o ponto 3 apresentou concentração no limite permitido. O valor máximo quantificado de amônia foi no ponto 1 e o mínimo no ponto 3.

Os valores quantificados de amônia nesse estudo foram superiores aos valores obtidos no estuário do rio São Paulo, Baía de Todos os Santos (PINHEIRO, 2019), com mínimo de 0,025 mg/L e máximo de 0,27 mg/L.

A média da concentração de amônia nos três pontos foi de 0,97 mg/L, acima do valor permitido pelo CONAMA. Fator explicado possivelmente em função do uso e ocupação da região, como afirmam Miranda et al. (2016).

Na Laguna de Iguape no município de Aquiraz-CE, os autores Silveira et al. (2009) identificaram concentrações de amônia com valor mínimo de 0,07 mg/L e máximo de 2,25 mg/L, o valor máximo foi justificado devido o carreamento de efluentes doméstico para o corpo lagunar.

A condutividade elétrica é definida pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam ou ionizam em ânions e cátions e facilitam a corrente elétrica na água. Valores altos de condutividade indicam modificações na composição da água, principalmente na sua concentração mineral (ESTEVES, 2011).

Para o comportamento da condutividade elétrica da água, os valores médios variaram entre 8,76 mS/cm a 17,7 mS/cm. O ponto 1 obteve valor de 8,76 mS/cm, já o ponto 2 foi de 17,7 mS/cm e o ponto 3 com valor de 17,6 mS/cm. A Resolução CONAMA n. 357/05 não estabelecem padrões relativos à condutividade elétrica e amônia. Por isso, não há como estabelecer padrões do ponto de vista da condutividade elétrica da água no Estuário do Rio Ceará. Em laboratório a água destilada serve como padrão e apresenta condutividade de 0,0005 a 0,003 mS/cm (EMBRAPA, 2020).

A presença de alta condutividade elétrica em águas é caracterizada como um fator indicador de possível poluição (SÃO PAULO, 2015). Para Chagas, Lima e Felici (2020) em áreas que possuem aumento recorrente da condutividade necessita de estudos de modo a confirmar se há ou não a poluição desse curso por agentes externos e quais são eles, assim é

possível intervir o seu equilíbrio natural.

Os valores mais altos de condutividade estão próximos à foz e têm relação direta com a salinidade encontrada. A condutividade na água não representa risco à saúde humana, porém em mudanças significativas em um curso podem ser indicadores que ocorrem processos de poluição decorrente da descarga de material, principalmente por efluentes industriais que liberam altos teores de íons dissolvidos (SANTOS., 2013; EMBRAPA, 2020).

Jesus (2015) realizou estudos nos estuários do rio Una/Una e o rio Jequitinhonha/Belmonte-Bahia e obteve valor máximo de 21,20 mS/cm e mínimo 0,05 mS/cm em período seco e valor máximo de 24,00 mS/cm e mínimo 0,04 mS/cm para o chuvoso. Ao comparar com os valores obtidos na água do Estuário do Rio Ceará, o valor mínimo encontra-se inferior e o máximo superior.

Os altos índices de condutividade são ocasionados por fontes não pontuais como efluentes de áreas residenciais e urbanas, águas de drenagem de sistemas de irrigação e escoamento superficial de áreas agrícolas, principalmente em regiões semi-áridas, onde a evapotranspiração excessiva causa o acúmulo de sais (EMBRAPA, 2020).

Apesar de os teores de DQO e condutividade elétrica não serem estabelecidos na resolução para a classificação dos corpos hídricos, é de suma importância a sua caracterização e demonstração de algum desequilíbrio aquático, como a densidade e o estado de saturação de minerais carbonáticos (CHAGAS; LIMA; FELICI, 2020).

O teste microbiológico na tabela 4 descreve a análise qualitativa de Coliformes totais e *E.coli*. Foi constatado a presença de Coliformes e *E.coli* em todos os pontos de análises.

Tabela 4 – Teste microbiológico da água

| Parâmetro         | Pontos   |          |          |
|-------------------|----------|----------|----------|
|                   | P1       | P2       | P3       |
| Coliformes totais | Presente | Presente | Presente |
| <i>E. coli</i>    | Presente | Presente | Presente |

Fonte – elaborada pela autora.

A presença de coliformes totais e *E.coli* nos pontos de análises 1, 2 e 3 pode ser justificado pela deficiência de saneamento básico na região. O esgotamento sanitário e coleta de lixo ineficiente das áreas urbanas influenciam diretamente na qualidade da água, as principais fontes de contaminação dos rios ocorre pelo lançamento de efluentes domésticos e industriais (CONCEIÇÃO et al., 2020; NAMUGIZE J. N., 2018).

Em ambientes aquáticos a presença de microorganismos no meio possibilita modificações químicas e ecológicas (FEDERATION; ASSOCIATION et al., 2017).

### 5.3 Concentração de metais na água

As Tabelas 5, 7, 9, 6, 8 e 10 mencionam as análises descritivas das concentrações de metais pesados na água em período chuvoso e seco, respectivamente, por meio do Espectrofotômetro de Absorção Atômica por Chama, nos pontos de coletas 1, 2 e 3 da APA do Estuário do Rio Ceará.

Para a avaliação das concentrações de metais foram utilizados como valores de referência máximo permissível (mg/L) na água pela Resolução CONAMA n. 357/05. Cádmio-Cd (0,040 mg/L), cobre-Cu (0,0078 mg/L), chumbo-Pb (0,210 mg/L), níquel-Ni (0,074 mg/L) e o manganês-Mn (0,100 mg/L).

As concentrações dos metais na água, avaliados neste estudo apresentaram níveis significativos para algumas categorias de metais, com diferenças de concentrações nos respectivos pontos de análises nos períodos chuvoso e seco. Foi apresentado também níveis aceitáveis para alguns metais quando comparado ao recomendado pela Resolução CONAMA n. 357/05. Os parâmetros físico-químicos em ecossistemas estuarinos são sensíveis às transições de marés, a sazonalidade da região e à influência da água doce do rio e salgada do mar (BARBOSA et al., 2015).

As concentrações de metais em águas superficiais acima dos valores de referência estabelecidos pela resolução ambiental brasileira CONAMA n. 357/05 (BRASIL, 2005), pode ser evidenciada por pressões antrópicas que a área em estudo pode estar submetida, com degradação e possível perda de biodiversidade. Para Schnack et al. (2018), concentrações elevadas de metais em manguezais conseguem modificar a composição genética em populações como também reduzir o tamanho populacional.

O aumento das concentrações de metais na APA do Estuário do Rio Ceará pode acarretar danos ao ecossistema. De acordo com Silva et al. (2019) níveis significativos de metais pesados podem refletir nas teias tróficas, possibilitando a transferência a níveis tróficos superiores, inclusive ao homem.

Ruiz (2020) enfatiza a preocupação ambiental de concentração de metais acima do recomendado na legislação em água de estuário, pois há animais que participam de cadeias que fazem parte da alimentação humana, como peixes e crustáceos. Os metais possuem persistências nos organismos, que acarreta a bioacumulação na população da espécie e biomagnificação na cadeia trófica, pois absorvem seus metais essenciais e não essenciais.

Dessa forma os resultados obtidos neste trabalho podem ser utilizados em comparativo a avaliações continuadas desenvolvidas na área.

O ponto de estudo 1 localiza-se nas coordenadas -3.700513, -38.632253, as margens da CE-090, Caucaia-CE, com fluxo moderado de carros que circulam a CE. A área de estudo possui predominância de espécies arbustiva de manguezal.

A partir dos 5 metais analisados (Cd, Cu, Mn, Pb, Ni) no ponto de estudo 1, Tabela 5, o Cd, o Cu e o Ni apresentaram valores médios abaixo da referência.

O Cd apresentou valor abaixo do recomendado pela resolução em referência em todas as amostras analisadas. No ponto P1.1 o Cu (0,009 mg/L) ultrapassou o valor médio da referência (0,0078 mg/L), porém a média geral foi abaixo do permitido. O Ni obteve valor acima da referência nos pontos P1.1 (0,075 mg/L) e P1.5 (0,076 mg/L), mas a média geral se enquadrou no limite permitido na resolução.

Tabela 5 – Concentração de metal pesado na água do ponto de coleta 1 - período chuvoso

| Ponto 1                 | Concentração de metal (mg/L) |               |              |              |              |
|-------------------------|------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
|                         | Cd                           | Cu            | Mn           | Pb           | Ni           |
| P1.1                    | 0,027                        | 0,009         | 0,230        | 0,700        | 0,075        |
| P1.2                    | 0,022                        | 0,000         | 0,216        | 0,630        | 0,074        |
| P1.3                    | 0,023                        | 0,000         | 0,206        | 0,580        | 0,050        |
| P1.4                    | 0,017                        | 0,000         | 0,181        | 0,640        | 0,062        |
| P1.5                    | 0,021                        | 0,000         | 0,172        | 0,680        | 0,076        |
| <b>Média</b>            | <b>0,022</b>                 | <b>0,002</b>  | <b>0,201</b> | <b>0,646</b> | <b>0,067</b> |
| <b>CONAMA n° 357/05</b> | <b>0,040</b>                 | <b>0,0078</b> | <b>0,100</b> | <b>0,210</b> | <b>0,074</b> |

Fonte – elaborada pela autora.

A concentração de Pb e Mn foram acima dos valores de referência para todas as amostras analisadas, com média do Pb de 0,646 mg/L e do Mn com 0,201 mg/L.

Durante o período chuvoso no ponto de coleta 1, foram detectados valores abaixo do limite recomendado pela Resolução CONAMA n. 357/05 para os metais Cd, Cu e Ni nas amostras de água do local. Já no período seco, Tabela 6, não foram detectados concentrações para esses metais. Fernandes (2015) explica que maiores concentrações de metais no período chuvoso está associado ao aumento do processo de erosão, que possibilita o carreamento desses elementos para os corpos de água.

O Cu foi o metal que apresentou concentração mais baixa no ponto 1 e não foi detectado presença nos pontos 2 e 3 no período chuvoso, no período seco não houve concentração nos 3 pontos em estudo. De acordo com Nagajyoti, Lee e Sreekanth (2010) o Cu está presente naturalmente em rochas, água e solo. Em concentrações moderadas na água é considerado um micronutriente importante para os organismos vivos, porém em níveis elevados pode se tornar tóxico, principalmente para plantas aquáticas.

Apesar de o Ni obter média abaixo do recomendado na Resolução CONAMA n. 357/05, em alguns subpontos a concentração foi superior, como os subpontos P1.1 com valor de 0,075 mg/L e o P1.5 com 0,076 mg/L no período chuvoso.

No período chuvoso o Pb e o Mn obtiveram valores acima do recomendado pela Resolução CONAMA n. 357/05, o Pb com média de 0,646 mg/L, o recomendado são níveis de até

Tabela 6 – Concentração de metal pesado na água do ponto de coleta 1 - período seco

| Ponto 1                 | Concentração de metal (mg/L) |               |              |              |              |
|-------------------------|------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
|                         | Cd                           | Cu            | Mn           | Pb           | Ni           |
| P1.1                    | 0,000                        | 0,000         | 0,179        | 0,000        | 0,000        |
| P1.2                    | 0,000                        | 0,000         | 0,176        | 0,000        | 0,000        |
| P1.3                    | 0,000                        | 0,000         | 0,187        | 0,000        | 0,000        |
| P1.4                    | 0,000                        | 0,000         | 0,148        | 0,000        | 0,000        |
| P1.5                    | 0,000                        | 0,000         | 0,175        | 0,000        | 0,000        |
| <b>Média</b>            | <b>0,000</b>                 | <b>0,000</b>  | <b>0,173</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> |
| <b>CONAMA n° 357/05</b> | <b>0,040</b>                 | <b>0,0078</b> | <b>0,100</b> | <b>0,210</b> | <b>0,074</b> |

Fonte – elaborada pela autora.

0,210 mg/L, no período seco não foi identificado valores de concentração para o Pb. Nos estudos de Oliveira et al. (2019) foram encontradas concentrações significativas de Pb na análise da água do complexo estuarino de Paranaguá, Paraná.

O Pb é um elemento considerado tóxico aos organismos aquáticos. Para Azevedo, Chasin et al. (2003) os níveis elevados de Pb conforme a resolução sugere possível contaminação de origem antrópica. O Pb tem a característica de ficar retido no solo, porém os fatores como quantidade e categoria de matéria orgânica e o pH podem influir no seu transporte para as águas.

O Mn em período chuvoso e seco, quantificou média respectivamente de 0,201 e 0,173 mg/L, o recomendado na resolução são níveis de até 0,100 mg/L. O Mn pode bioacumular em indivíduos saudáveis devido sua alta incidência na água e no solo, seu excesso pode estar envolvido em doenças neurodegenerativas. A poluição dos sistemas aquáticos por metais pesados ocorrem naturalmente em níveis de parte por milhão e vem sendo reconhecida como um problema que pode representar riscos à saúde humana e ao meio ambiente (CARNAÚBA, 2014).

A localização do ponto em estudo 2 encontra-se na região mais centralizada da APA do Estuário do Rio Ceará, com coordenadas -3.701105, -38.622462, no local fica a barraca Recanto do Mangue, que possui valores atrativos para atividades turísticas e visitas. O ecossistema da área é típico de manguezal, com vegetação de mangue, crustáceos, peixes e pássaros.

A Tabela 7 apresenta as concentrações de metais no período chuvoso. As concentrações dos metais Cd, Pb e Ni ultrapassaram o limite determinado pela resolução.

O Pb não têm função biológica conhecida (SOARES et al., 2020), para Singh et al. (2011), Jaishankar et al. (2014) há preocupações com a contaminação ambiental por metais tóxicos, como o Pb que causa efeitos tóxicos, mutagênicos e cancerígenos nos seres humanos e em outros seres vivos.

O Cd apresentou valor acima do recomendado pela resolução em referência para todas as amostras, com média de 0,067 mg/L. A concentração de Pb foi acima do valor de referência para

Tabela 7 – Concentração de metal pesado na água do ponto de coleta 2 - período chuvoso

| Ponto 2                 | Concentração de metal (mg/L) |               |              |              |              |
|-------------------------|------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
|                         | Cd                           | Cu            | Mn           | Pb           | Ni           |
| P2.1                    | 0,066                        | 0,000         | 0,072        | 1,460        | 0,232        |
| P2.2                    | 0,066                        | 0,000         | 0,068        | 1,420        | 0,225        |
| P2.3                    | 0,067                        | 0,000         | 0,068        | 1,410        | 0,242        |
| P2.4                    | 0,067                        | 0,000         | 0,074        | 1,370        | 0,233        |
| P2.5                    | 0,069                        | 0,000         | 0,064        | 1,400        | 0,233        |
| <b>Média</b>            | <b>0,067</b>                 | <b>0,000</b>  | <b>0,069</b> | <b>1,412</b> | <b>0,233</b> |
| <b>CONAMA n° 357/05</b> | <b>0,040</b>                 | <b>0,0078</b> | <b>0,100</b> | <b>0,210</b> | <b>0,074</b> |

Fonte – elaborada pela autora.

todas as amostras analisadas, com média de 1,412 mg/L. O Ni também obteve valor acima da referência em todas as amostras, com média geral de 0,233 mg/L.

O Mn apresentou valor médio abaixo da referência, com média de 0,069 mg/L. Não foi detectado a presença de Cu pelo método utilizado no ponto de análise 2.

A tabela 8 apresenta as concentrações de metais no ponto de análise 2 em período seco, a concentração do metal Pb ultrapassou o limite recomendado pela Resolução CONAMA n. 357/05, com média de 0,418 mg/L. O Mn apresentou valor no limite recomendado pela referência para todas as amostras, com média de 0,080 mg/L. Não foi detectado a presença dos metais Cd, Cu e Ni no ponto de análise 2.

Tabela 8 – Concentração de metal pesado na água do ponto de coleta 2 - período seco

| Ponto 2                 | Concentração de metal (mg/L) |               |              |              |              |
|-------------------------|------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
|                         | Cd                           | Cu            | Mn           | Pb           | Ni           |
| P2.1                    | 0,000                        | 0,000         | 0,082        | 0,400        | 0,000        |
| P2.2                    | 0,000                        | 0,000         | 0,092        | 0,390        | 0,000        |
| P2.3                    | 0,000                        | 0,000         | 0,090        | 0,430        | 0,000        |
| P2.4                    | 0,000                        | 0,000         | 0,054        | 0,440        | 0,000        |
| P2.5                    | 0,000                        | 0,000         | 0,083        | 0,430        | 0,000        |
| <b>Média</b>            | <b>0,000</b>                 | <b>0,000</b>  | <b>0,080</b> | <b>0,418</b> | <b>0,000</b> |
| <b>CONAMA n° 357/05</b> | <b>0,040</b>                 | <b>0,0078</b> | <b>0,100</b> | <b>0,210</b> | <b>0,074</b> |

Fonte – elaborada pela autora.

Em período seco não foram quantificados valores para o Cd e Ni. O Pb obteve média de 0,418 mg/L, acima do valor recomendado na resolução.

O Cd obteve média de 0,067 mg/L, para o Ni, o valor médio foi 0,067 mg/L e o valor médio do Pb obtido foi 0,067 mg/L. Metais como Cd e Pb podem ser extremamente tóxicos

quando ultrapassam concentrações naturais e são persistentes no meio aquático (HINOJOSA-GARRO; OSTEN; DZUL-CAAMAL, 2020; LIMA; MEURER, 2014).

O estudo de Silva (2020) analisou a presença de contaminantes CPE (contaminantes de preocupação emergente), ácido acetilsalicílico (AAS), bisfenol-A (BPA), cafeína (CAF) e  $\alpha$ -etinilestradiol (EE2) em amostras de água dos rios de estuários Ceará, Cocó e rio Pacoti. Ao comparar as frequências de detecção de maneira geral nos rios ao longo do período amostral, o autor pôde afirmar que o estuário do rio Ceará é o mais impactado. Esses dados corroboram com os níveis excedentes de metais observados nesse estudo conforme os valores permitidos na Resolução CONAMA n. 357/05.

O ponto 3 localiza-se nas proximidades da praia Barra do ceará, porção inicial da APA do Estuário do Rio Ceará, onde as águas do rio Ceará deságuam no mar, possui coordenadas -3.702086, -38.590718, Fortaleza-CE. Encontra-se a margem da avenida Ulisses Guimarães, com acesso pela ponte José Martins Rodrigues, que conduz a ligação física entre o litoral de Fortaleza e de Caucaia, antes separados pelo leito do Rio Ceará. O local possui grande fluxo de veículos automotores na avenida, atividades turísticas, pesca e pequenas embarcações, por ser próximo à praia. É possível visualizar as consequências de longo prazo, como a urbanização intensa e a ocupação das margens, como resultantes da intervenção antrópica da paisagem na Barra do Ceará.

Para os autores Araújo et al. (2008) o crescimento populacional da Barra do Ceará e a ocupação das dunas nas proximidades da foz do rio Ceará têm contribuído para o aumento dos impactos ambientais na área.

A tabela 9 apresenta médias variadas a partir dos 5 metais analisados no ponto 3, período chuvoso. A concentração média dos metais Cd, Pb e Ni apresentaram valores maiores que os de referência, enquanto níveis de Cu não foi detectado pelo método. O Mn apresentou valor médio abaixo da referência, com média de 0,029 mg/L.

Tabela 9 – Concentração de metal pesado na água do ponto de coleta 3 - período chuvoso

| Ponto 3                 | Concentração de metal (mg/L) |               |              |              |              |
|-------------------------|------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
|                         | Cd                           | Cu            | Mn           | Pb           | Ni           |
| P3.1                    | 0,080                        | 0,000         | 0,030        | 0,170        | 0,270        |
| P3.2                    | 0,085                        | 0,000         | 0,028        | 0,200        | 0,300        |
| P3.3                    | 0,080                        | 0,000         | 0,025        | 0,700        | 0,280        |
| P3.4                    | 0,083                        | 0,000         | 0,030        | 1,570        | 0,302        |
| P3.5                    | 0,081                        | 0,000         | 0,031        | 1,540        | 0,275        |
| <b>Média</b>            | <b>0,082</b>                 | <b>0,000</b>  | <b>0,029</b> | <b>0,836</b> | <b>0,285</b> |
| <b>CONAMA n° 357/05</b> | <b>0,040</b>                 | <b>0,0078</b> | <b>0,100</b> | <b>0,210</b> | <b>0,074</b> |

Fonte – elaborada pela autora.

O média do Cd foi de 0,082 mg/L, valor acima do recomendado pela resolução em

referência (0,040 mg/L). A concentração de Pb foi significativa ao valor de referência para todas as amostras analisadas, com média de 0,836 mg/L. A média do Ni foi 0,285 mg/L, também obteve média e valores acima da referência.

A Tabela 10 descreve os valores de metais obtidos no ponto de estudo 3 para o período seco. A concentração média do metal Pb apresentou valor acima do recomendado pela resolução, enquanto os níveis de Mn apresentaram valor médio abaixo, com média de 0,028 mg/L. Os metais Cd, Cu e Ni não foram detectados pelo método.

Tabela 10 – Concentração de metal pesado na água do ponto de coleta 3 - período seco

| Ponto 3                 | Concentração de metal (mg/L) |               |              |              |              |
|-------------------------|------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
|                         | Cd                           | Cu            | Mn           | Pb           | Ni           |
| P3.1                    | 0,000                        | 0,000         | 0,035        | 0,530        | 0,000        |
| P3.2                    | 0,000                        | 0,000         | 0,025        | 0,260        | 0,000        |
| P3.3                    | 0,000                        | 0,000         | 0,025        | 0,550        | 0,000        |
| P3.4                    | 0,000                        | 0,000         | 0,027        | 0,480        | 0,000        |
| P3.5                    | 0,000                        | 0,000         | 0,026        | 0,500        | 0,000        |
| <b>Média</b>            | <b>0,000</b>                 | <b>0,000</b>  | <b>0,028</b> | <b>0,464</b> | <b>0,000</b> |
| <b>CONAMA n° 357/05</b> | <b>0,040</b>                 | <b>0,0078</b> | <b>0,100</b> | <b>0,210</b> | <b>0,074</b> |

Fonte – elaborado pela autora.

A concentração de metal na água avaliado no período seco apresenta nível aceitável para o metal Mn nos pontos 2 e 3, com média respectivamente de 0,080 mg/L e 0,028 mg/L, no ponto 1 o Mn teve média acima do limite estabelecido na Resolução CONAMA n. 357/05. A concentração do Pb nos pontos 2 e 3 obteve nível significativo, com média respectivamente de 0,418 mg/L e 0,464 mg/L. Não foi detectado a presença dos metais Cd, Cu e Ni na água.

Em comparação aos dois períodos, no período chuvoso foram detectados valores médios acima do recomendado pela Resolução para os metais Cd, Ni e Pb, já no período seco foi detectado somente valor médio acima do recomendado pela Resolução para o Pb. Os valores médios do Pb obtidos foram de 0,836 e 0,464 mg/L para os períodos chuvoso e seco, respectivamente. Conforme Souza et al. (2018) o Cd e o Pb são metais não essenciais e sem função biológica, prejudiciais para o metabolismo dos seres vivos até em concentrações mínimas.

Este estudo não avaliou bioindicadores, porém os animais estão em contato com a água e concentrações altas em água interfere na biodisponibilidade nos animais aquáticos (SOUZA et al., 2018). Os autores Lu et al. (2017), Zidour et al. (2019) acrescentam que níveis excessivos de metais no ambiente podem bioacumular nos seres vivos e atingir valores altos, podendo causar alterações no organismo e consequentemente ser transferido a níveis tróficos posteriores.

### 5.3.1 Comparação das concentrações de metais na água nos pontos de análises

Ao comparar os 3 pontos de análises nos períodos chuvoso e seco, observa-se que no ponto 1, os metais Cd e Ni apresentaram médias menores quando comparados aos pontos 2 e 3 no período chuvoso, porém no período seco os pontos 1 e 2 não quantificaram valores para o Cd e o Ni. As significativas concentrações de metais no período chuvoso pode ser inferido devido à ocorrência de maior precipitação, que indica que esses metais podem estar sendo transportados no particulado fino em suspensão na água (MAGALHÃES et al., 2016).

Já o Mn apresentou valor médio maior no ponto 1 nos períodos chuvoso e seco, quando comparado aos pontos 2 e 3, que apresentaram valores abaixo do recomendado pelo CONAMA. A exceção foi o Cu, que apresentou valor médio de 0,002 mg/L no ponto 1 no período chuvoso, enquanto nos pontos 2 e 3 não foram detectados concentrações para ambos os períodos. Apesar do ponto 1 possuir média de concentração do Cu de 0,002 mg/L, o valor se encontra no padrão recomendado pela resolução.

No ponto 2 os metais Cd e Ni apresentaram valores médios menores quando comparados ao ponto 3 no período chuvoso, no período seco não houve concentrações para ambos os metais. Para o Ni foi registrado valor máximo de 0,285 mg/L no ponto 3 e valor mínimo de 0,067 mg/L no ponto 1 e não foi identificado valores de Ni no período seco em todos os pontos de análises. Os autores Salgado, Rosa e Azevedo (2018) descrevem que o Ni pode estar presente em águas residuais de indústrias químicas, produção de metal ou mineração. O valor máximo de Ni obtido no ponto 3, deve-se provavelmente aos esgotos lançados próximo ao local.

O valor médio da concentração do Pb no ponto 2, período chuvoso, foi superior quando comparado ao ponto 3. O Pb foi o metal que apresentou maior nível de significância de concentração quando comparado aos metais Cd, Ni, Cu e o Pb. A maior concentração do Pb foi no ponto 2, com média de 1,412 mg/L. Soares et al. (2020) relatam em seu estudo concentrações de Pb que variam de 0,500 a 0,820 mg/L na Baía de Paranaguá no litoral do Paraná, já neste estudo a concentração mínima detectada foi 0,646 mg/L e a máxima 1,412 mg/L, indicando valores bem superiores. É observado o crescimento de atividades antrópicas na APA do Estuário do Rio Ceará, tornando-se necessário medidas de políticas públicas para o manejo das atividades de saneamento e Educação Ambiental na área.

Conforme os resultados obtidos, nota-se a relação da concentração de metais com a industrialização e expansão urbana potencializada pelos poluentes indesejáveis no meio aquático, além da expansão industrial, a região está submetida a outras formas de pressão ambiental, como esgoto doméstico, efluentes industriais e lixo nas margens do estuário. Azevedo et al. (2019) ressaltam a necessidade de estudos sobre a determinação e quantificação de metais pesados em ambientes aquáticos.

### 5.3.2 Comparação das concentrações de metais na água nos períodos chuvoso e seco

O ponto 1 foi o que menos quantificou metais em ambos os períodos de coletas. Essa observação pode ser justificada por a área não receber diretamente as águas do rio Maranguapinho. Nilin (2012) descreve que o principal carreador de poluentes para o rio Ceará e consequentemente para seu estuário é o rio Maranguapinho, que é considerado o principal afluente do rio Ceará. O rio Maranguapinho recebe os efluentes oriundos do polo industrial da cidade de Maracanaú, o município abriga cerca de 100 empresas de várias atividades. Na região também existe o despejo de esgoto doméstico das comunidades ribeirinhas, resultado da ocupação desordenada e ausência de políticas públicas.

Somente o ponto 1 obteve valores médios de Mn acima do recomendado na resolução, esse metal é geralmente produzido por indústrias químicas. Em pequenas quantidades nos ecossistemas aquáticos é um elemento essencial ao crescimento das plantas e animais, além de apresentar a capacidade de desempenhar um relevante processo na ciclagem dos metais pesados (JESUS, 2011; RAMOS, 2011). No entanto, o consumo ou a exposição de Mn elevada pode causar toxicidade. No ser humano o metal é absorvido no intestino delgado, a maior parte se acumula no fígado, de onde é direcionado para os demais órgãos do corpo (PAGANINI; MANZINI; PLICAS, 2015).

Os pontos 2 e 3 em ambos os períodos de coletas foram os que mais quantificaram metais acima dos valores estabelecidos na Resolução CONAMA n. 357/05, para o Cd, Pb e Ni. O Pb foi o que obteve valores mais significativos em todos os pontos e nos períodos chuvoso e seco, com maiores concentrações no período chuvoso. O Pb pode ser retido pelo solo e os fatores quanto a quantidade e categoria de matéria orgânica podem influir no seu transporte para as águas (AZEVEDO; CHASIN et al., 2003). Desse modo geral as chuvas podem facilitar o transporte de metais, em consequência aumenta a concentração na água.

## 5.4 Emissões de poluentes atmosféricos

O perímetro de coleta foi de 22 km nas vias que recobrem a APA do Estuário do Rio Ceará, divididos em 21 pontos. Em cada ponto as medições foram feitas em um intervalo de 5 minutos, com distância de 1 km entre os pontos de coletas, com início do percurso as 12:00, por ser considerado o horário de pico. Foram coletadas em cada ponto as concentrações de  $O_3$ ,  $MP_{2,5}$ ,  $MP_{10}$ ,  $HCHO$  e  $CO_2$ .

Os pontos 1 e 2 encontram-se na Avenida Mister Hall, BR-222, em Fortaleza-CE. Os pontos 3, 4, 5 e 6 ficam na CE-085, Caucaia-CE. Na CE-090 (Caucaia-CE) situam-se os pontos 7, 8, 9 e 10, o ponto de coleta 9 encontra-se a entrada do Parque Botânico do Ceará. Já na Avenida Ulisses Guimarães, Caucaia-CE, os pontos de coletas foram 11, 12, 13 e 14. O ponto 15 localiza-se na Avenida José Lima Verde, na Barra do Ceará, próximo à ponte José Rodrigues, que interliga as Avenidas Ulisses Guimarães e Leste Oeste. Do ponto 16 ao 21 as coletas foram realizadas nos Bairros Vila Velha (pontos 16 ao 19) e Quintinho Cunha (pontos 20 e 21).

A Tabela 11 apresenta as temperaturas e umidades durante as coletas do ozônio ( $O_3$ ), Material Particulado  $MP_{10}$  e  $MP_{2,5}$ , formaldeído ( $HCHO$ ) e gás carbônico ( $CO_2$ ) nos períodos chuvoso e seco. A temperatura diária durante o período chuvoso apresentou baixa amplitude, com média de  $25^\circ C$ , variando entre  $24^\circ C$  à  $26^\circ C$ . No período seco a temperatura teve média de  $29^\circ C$ , com mínimo de  $28^\circ C$  e máximo de  $30^\circ C$ . Quanto a umidade relativa registrada, no período chuvoso variou entre 82,6% e 94,2%, sendo observado um incremento nas últimas coletas. No período seco o valor mínimo da umidade foi de 62,3% e o máximo foi de 69,9%.

Tabela 11 – Temperatura e Umidade dos dias de coleta

|                                            | Período chuvoso |       |       | Período seco |       |       |
|--------------------------------------------|-----------------|-------|-------|--------------|-------|-------|
|                                            | Dia 1           | Dia 2 | Dia 3 | Dia 1        | Dia 2 | Dia 3 |
| <b>Temperatura (<math>^\circ C</math>)</b> | 26              | 25    | 24    | 28           | 30    | 30    |
| <b>Umidade (%)</b>                         | 82,6            | 88,7  | 94,2  | 69,9         | 62,3  | 62,3  |

Fonte – Elaborada pela autora.

Os órgãos ambientais, tanto nacionais, quanto internacionais, buscam estabelecer limites para o controle da poluição do ar. Para as concentrações médias de  $O_3$ ,  $MP_{2,5}$  e  $MP_{10}$ , os valores obtidos foram comparados com os padrões estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) Resolução 491/2018 (BRASIL, 2018), Decreto Estadual n. 59.113 de 23/04/2013 (SÃO PAULO, 2013), Organização Mundial de Saúde (OMS) (WHO, 2021), Agência Ambiental Europeia (EEA, 2020) e pelos limites da Agência Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA, 2017), Tabela 12.

As concentrações médias de  $HCHO$  foram comparados com os padrões estabelecidos pelas diretrizes da Organização Mundial de Saúde (OMS) (WHO, 2021). O  $CO_2$  foi comparado com o limite estabelecido pela Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA) (ABRAVA, 2003), Tabela 12.

Tabela 12 – Padrões de qualidade do ar para  $MP_{2,5}$ ,  $MP_{10}$ ,  $O_3$ ,  $HCHO$  e  $CO_2$ 

| Padrões de Qualidade do ar | $MP_{2,5}$ ( $\mu g/m^3$ ) |       | $MP_{10}$ ( $\mu g/m^3$ ) |       | $O_3$ ( $\mu g/m^3$ ) | $HCHO$ ( $\mu g/m^3$ ) | $CO_2$ (ppm) |
|----------------------------|----------------------------|-------|---------------------------|-------|-----------------------|------------------------|--------------|
|                            | 24 horas                   | Anual | 24 horas                  | Anual | 8 horas               | 30 min                 | -            |
| CONAMA                     | PI-1                       | 60    | 20                        | 120   | 40                    | 140                    | -            |
|                            | PI-2                       | 50    | 17                        | 100   | 35                    | 130                    | -            |
|                            | PI-3                       | 37    | 15                        | 75    | 30                    | 120                    | -            |
| CETESB                     | MI-1                       | 60    | 20                        | 120   | 40                    | 140                    | -            |
|                            | MI-2                       | 50    | 17                        | 100   | 35                    | 130                    | -            |
|                            | MI-3                       | 37    | 15                        | 75    | 30                    | 120                    | -            |
| OMS                        | 15                         | 5     | 45                        | 15    | 100                   | 100                    | -            |
| EEA                        | -                          | 25    | 50                        | 40    | 120                   | -                      | -            |
| US-EPA                     | 35                         | 12    | 150                       | -     | 145                   | -                      | -            |
| ABRAVA                     | -                          | -     | -                         | -     | -                     | -                      | 500          |

- Não existe valor estabelecido.

Fonte – Elaborada pela autora

As concentrações médias de  $HCHO$  foram comparados com os padrões estabelecidos

pelas diretrizes da Organização Mundial de Saúde (OMS) (WHO, 2021). O  $CO_2$  foi comparado com o limite estabelecido pela Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA) (ABRAVA, 2003), Tabela 12.

#### 5.4.1 Análise estática — Período chuvoso

A Tabela 13 descreve as médias de concentrações do  $O_3$ ,  $MP_{2,5}$ ,  $MP_{10}$ ,  $HCHO$  e  $CO_2$ , no período chuvoso.

Tabela 13 – Concentração média do  $O_3$ ,  $MP_{2,5}$ ,  $MP_{10}$ ,  $HCHO$  em  $\mu g/m^3$  e do  $CO_2$  em  $ppm$  - período chuvoso

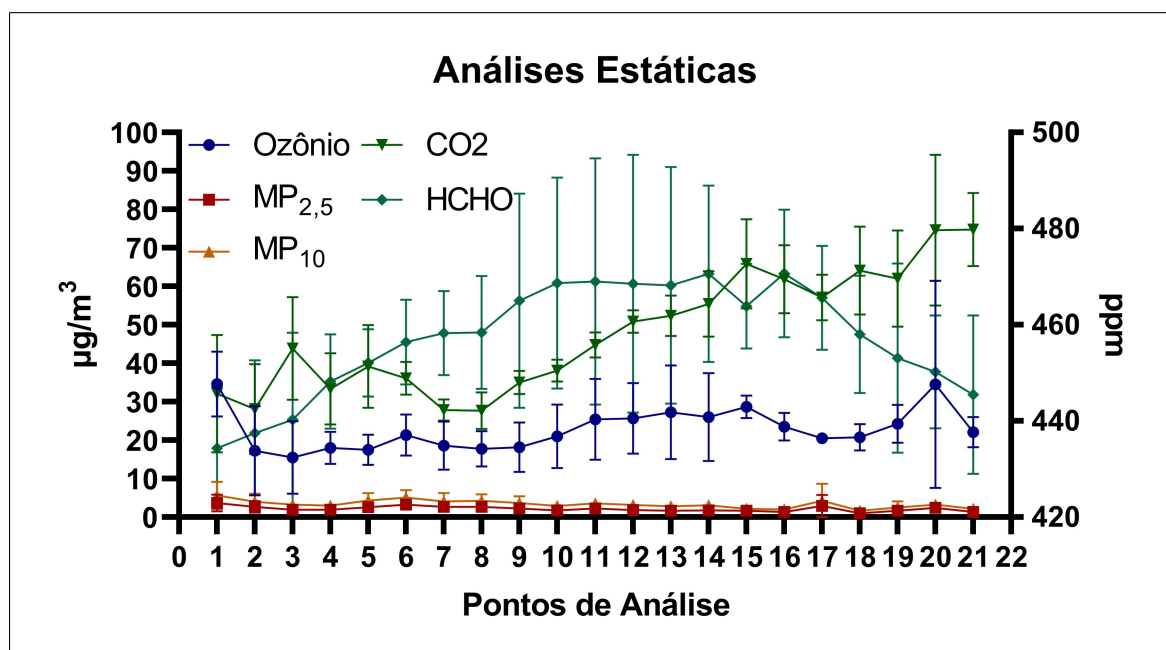
|            | Média  | Desv  | Vmáx  | Vmín  |
|------------|--------|-------|-------|-------|
| $O_3$      | 22,82  | 5,36  | 65,5  | 6,06  |
| $MP_{2,5}$ | 2,19   | 0,67  | 6,20  | 0,80  |
| $MP_{10}$  | 3,41   | 1,02  | 9,40  | 1,20  |
| $HCHO$     | 46,61  | 14,18 | 98,40 | 1,00  |
| $CO_2$     | 458,30 | 12,33 | 497,8 | 437,8 |

Desv = Dêsvio padrão; Vmax = Valores máximos; Vmin = Valores mínimos.

Fonte – elaborado pela autora.

O gráfico da Figura 6, apresenta os valores médios do  $O_3$ ,  $MP_{10}$ ,  $MP_{2,5}$ ,  $HCHO$  e  $CO_2$  referentes aos resultados das análises estáticas efetuadas nos dias 3, 4 e 5 de maio de 2021 no período chuvoso, respectivamente terça-feira, quarta-feira e quinta-feira, esses dias foram escolhidos por não serem considerados dias atípicos.

Figura 6 – Valores médios das concentrações de poluentes atmosféricos  $O_3$ ,  $MP_{2,5}$ ,  $MP_{10}$ ,  $HCHO$  em  $\mu g/m^3$  e  $CO_2$  em  $ppm$  no período chuvoso no entorno da APA do Estuário do Rio Ceará



Fonte: elaborada pela autora.

### 5.4.2 Análise estática - período seco

A Tabela 14 descreve as médias de concentrações do  $O_3$ ,  $MP_{2,5}$ ,  $MP_{10}$ ,  $HCHO$  e  $CO_2$ , no período seco.

Tabela 14 – Concentração média de  $O_3$ ,  $MP_{2,5}$ ,  $MP_{10}$ ,  $HCHO$  em  $\mu g/m^3$  e  $CO_2$  em  $ppm$  - período seco

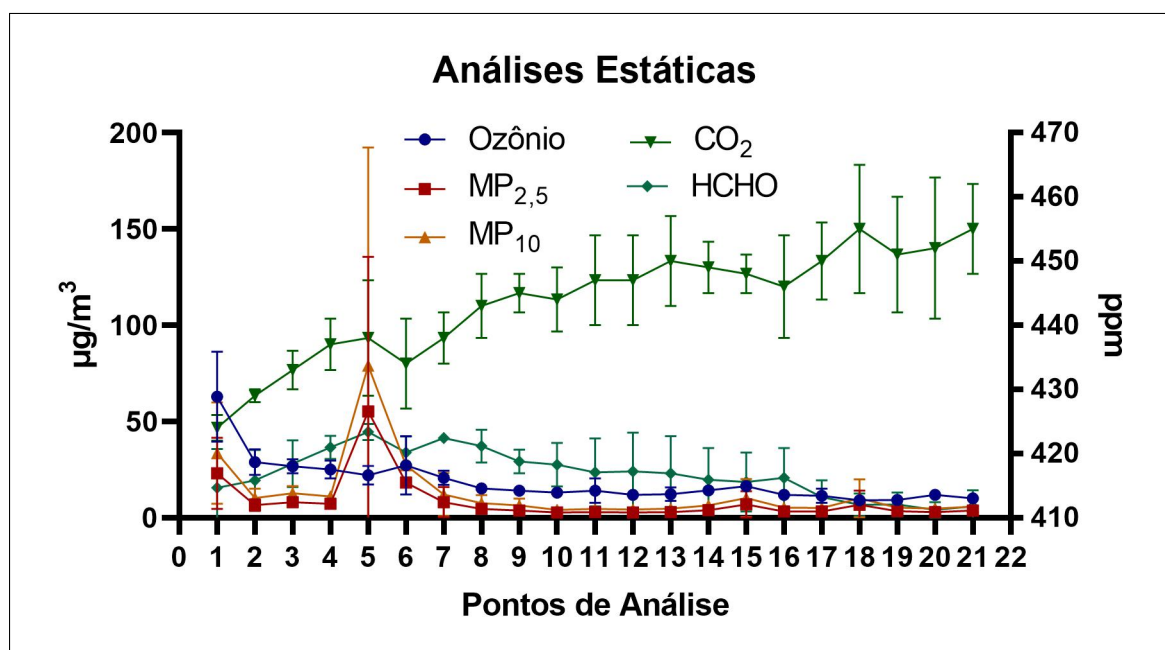
|            | Média  | Desv  | Vmáx   | Vmín |
|------------|--------|-------|--------|------|
| $O_3$      | 18,51  | 11,94 | 77,10  | 8,10 |
| $MP_{2,5}$ | 8,58   | 11,90 | 147,80 | 1,20 |
| $MP_{10}$  | 12,86  | 16,92 | 209,60 | 2,20 |
| $HCHO$     | 22,53  | 12,06 | 47,20  | 1,00 |
| $CO_2$     | 444,11 | 7,75  | 464,60 | 429  |

Desv = Dêsvio padrão; Vmax = Valores máximos; Vmin = Valores mínimos.

Fonte – elaborado pela autora.

O gráfico da Figura 7 refere-se aos Valores médios das concentrações de poluentes atmosféricos  $O_3$ ,  $MP_{2,5}$ ,  $MP_{10}$ ,  $HCHO$  em  $\mu g/m^3$  e  $CO_2$  em  $ppm$  no período seco no entorno da APA do Estuário do Rio Ceará.

Figura 7 – Valores médios das concentrações de poluentes atmosféricos  $O_3$ ,  $MP_{2,5}$ ,  $MP_{10}$ ,  $HCHO$  em  $\mu g/m^3$  e  $CO_2$  em  $ppm$  no período seco no entorno da APA do Estuário do Rio Ceará



Fonte: elaborada pela autora.

### 5.4.3 Concentração de ozônio - períodos chuvoso e seco

A concentração média de  $O_3$  no período chuvoso foi de  $22,82 \pm 5,36 \mu g/m^3$ , o valor máximo foi de  $65,5 \mu g/m^3$  e o valor mínimo de  $6,06 \mu g/m^3$ , Tabela 6. No período seco, Tabela 7, a média do  $O_3$  foi de  $18,51 \pm 18,51 \mu g/m^3$ .

As médias de  $O_3$  obtidas no entorno da APA do Estuário do Rio Ceará foram inferiores quando comparadas a avaliação da qualidade do ar realizada na cidade de São Gonçalo do Amarante sob influência do complexo industrial do Pecém/Ceará. A concentração média de  $O_3$  no complexo industrial para as coletas entre 9 da manhã e 5 da tarde foi de  $79,2 \mu g/m^3$ , com valor mínimo de  $55,2 \mu g/m^3$  e máximo de  $122,8 \mu g/m^3$ . É notório a influência da poluição atmosférica em polo industrial (JÚNIOR et al., 2020).

No gráfico da Figura 6 é possível observar que as maiores concentrações de  $O_3$  no período chuvoso foram obtidas nos pontos 1 e 20, com médias de  $34,64 \pm 8,44 \mu g/m^3$  e  $34,55 \pm 26,90 \mu g/m^3$ , respectivamente. O valor máximo do ponto 1 foi  $43,08 \mu g/m^3$  e o mínimo  $26,20 \mu g/m^3$ . No ponto 20 o valor máximo foi de  $66,50 \mu g/m^3$  e o mínimo  $16,76 \mu g/m^3$ .

As maiores concentrações de  $O_3$  obtidas nos pontos 1 e 20 do período chuvoso, pode ser justificado por esses pontos estarem localizados em avenidas movimentadas. O ponto 1 encontra-se ao fim da Avenida Mister Hall, Fortaleza e o ponto 20 no bairro Quintinho Cunha, próximo à Avenida Mister Hall.

Do ponto 10 ao ponto 19, as concentrações de  $O_3$  variaram de  $20,56$  a  $28,71 \mu g/m^3$ . As menores contribuições médias ocorreram do ponto 2 ao 9, o valor mínimo foi no ponto 3, com média de  $15,51 \pm 9,42 \mu g/m^3$ .

No gráfico presente na Figura 7 é possível observar que a concentração mais significativa de  $O_3$  no período seco foi no ponto 1, com média de  $62,91 \pm 23,40 \mu g/m^3$ . O valor máximo foi  $77,10 \mu g/m^3$  e o mínimo foi  $35,90 \mu g/m^3$ . Essa média foi caracterizada como a maior concentração de  $O_3$  encontrada entre os períodos chuvoso e seco.

A média  $62,91 \mu g/m^3$  de  $O_3$  foi obtida no período seco as 12 horas, com temperaturas entre  $28^\circ C$  a  $30^\circ C$ . Nos estudos de Tohid et al. (2019), Lin et al. (2018), os valores mais elevados de  $O_3$  foram observados do meio-dia ao fim da tarde, devido a maior incidência de radiação solar, concordado pelas reações fotoquímicas combinadas com os perfis de emissão diurna em áreas urbanas.

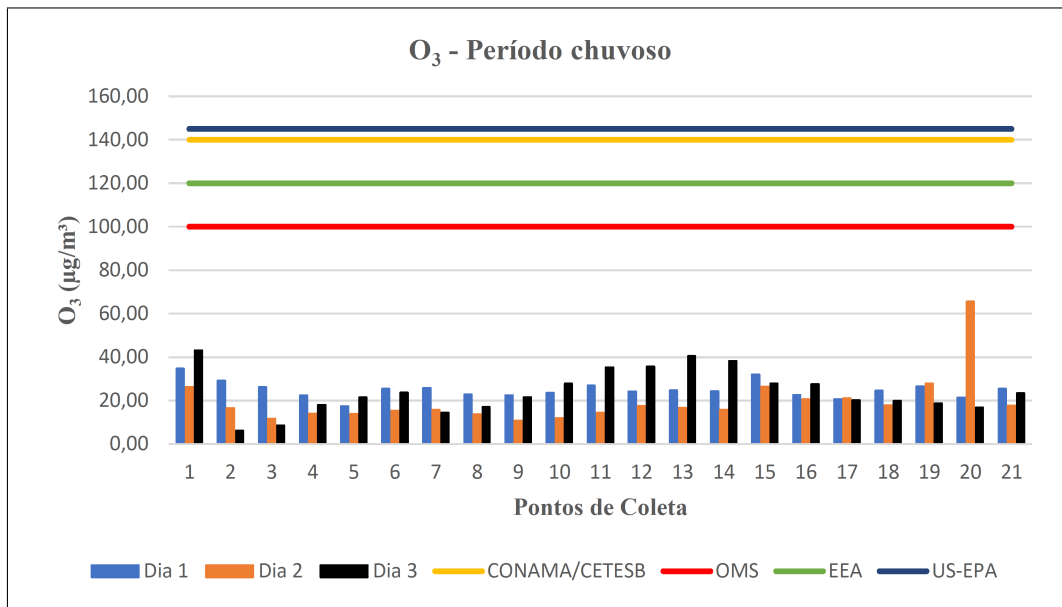
As medições do monitoramento de  $O_3$  realizado por Ferreira (2016) na região central do município de São Gonçalo do Amarante/CE de outubro e dezembro de 2015, obtiveram médias de  $79,2 \mu g/m^3$  para 8 h no período de 09 h às 17 horas e de  $60,4 \mu g/m^3$  para 24 horas, valores similares encontrados nesse estudo.

No período seco, os pontos 3, 4, 5 e 6, obtiveram médias similares e em concentrações razoáveis de  $O_3$  por estarem na CE-085, que possui um fluxo moderado de veículos automotores. Já a menor média de  $O_3$  foi no ponto 18, o local fica no bairro Vila Velha e possui pouco fluxo (Figura 7).

Os órgãos ambientais, tanto nacionais, quanto internacionais, tais como: Resolução CONAMA n. 491/2018 (BRASIL, 2018), Decreto Estadual n. 59.113 (SÃO PAULO, 2013), Agência Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA, 2017), Agência Ambiental Europeia (EEA,

2020) e a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2021) estabelecem padrão de 8 horas para a concentração de  $O_3$ .

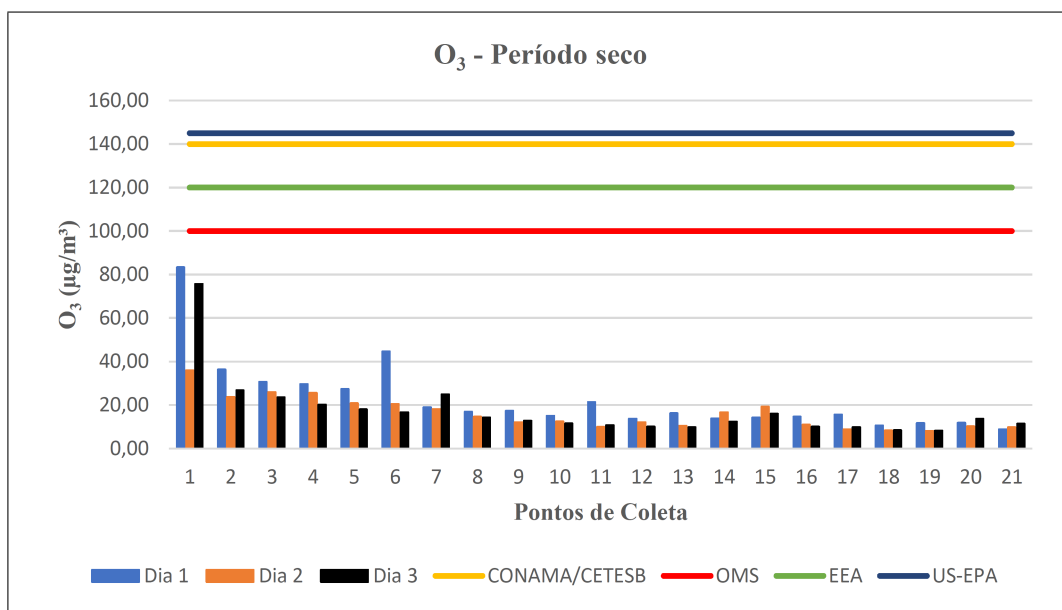
Figura 8 – Concentração média de  $O_3$  nos pontos de coletas - período chuvoso



Fonte: elaborada pela autora.

As concentrações de  $O_3$  encontradas no perímetro analisado foram comparadas com o padrão de 8 horas, por ser o menor tempo encontrado na literatura, como mostrado nos gráficos das Figuras 8 e 9.

Figura 9 – Concentração média de  $O_3$  nos pontos de coletas - período seco



Fonte: elaborada pela autora.

Na análise das concentrações de  $O_3$  no período chuvoso (Figura 8) e no período seco (Figura 9) nas vias do entorno da APA do Estuário do Rio Ceará, se mostraram abaixo dos parâmetros para o monitoramento de 8 horas do CONAMA, CETESB, US-EPA, EEA e da OMS.

#### 5.4.4 Concentração de $MP_{2,5}$ - períodos chuvoso e seco

Quanto a concentração de  $MP_{2,5}$  no período chuvoso, a concentração média foi de  $2,19 \pm 0,67 \mu g/m^3$ , o valor máximo foi de  $6,20 \mu g/m^3$  e o valor mínimo de  $0,80 \mu g/m^3$ , Tabela 13.

As maiores concentrações de  $MP_{2,5}$  no período chuvoso foram obtidas nos pontos 1 e 6, Figura 6, com médias de  $3,73 \pm 2,20 \mu g/m^3$  e  $3,27 \pm 1,22 \mu g/m^3$ , respectivamente. O valor máximo do ponto 1 foi  $5,20 \mu g/m^3$  e o mínimo  $1,20 \mu g/m^3$ . No ponto 6 o valor máximo foi de  $4,60 \mu g/m^3$  e o mínimo  $2,20 \mu g/m^3$ . A menor concentração de  $MP_{2,5}$  foi no ponto 18, com média de  $1,07 \pm 0,31 \mu g/m^3$ .

A concentração média de  $MP_{2,5}$  no período seco foi de  $8,58 \pm 11,90 \mu g/m^3$ , o valor máximo foi de  $147,80 \mu g/m^3$  e o valor mínimo de  $1,20 \mu g/m^3$ , Tabela 14.

A maior concentração de  $MP_{2,5}$  foi no ponto 5, com nível de significativa alto em relação aos demais pontos, Figura 7, com média de  $55,33 \pm 80,24 \mu g/m^3$ . O valor máximo foi  $147,80 \mu g/m^3$  e o mínimo  $4,00 \mu g/m^3$ . A segunda maior média foi no ponto 1, com  $23,07 \pm 18,56 \mu g/m^3$ . O valor máximo foi  $44,40 \mu g/m^3$  e o mínimo  $10,60 \mu g/m^3$ .

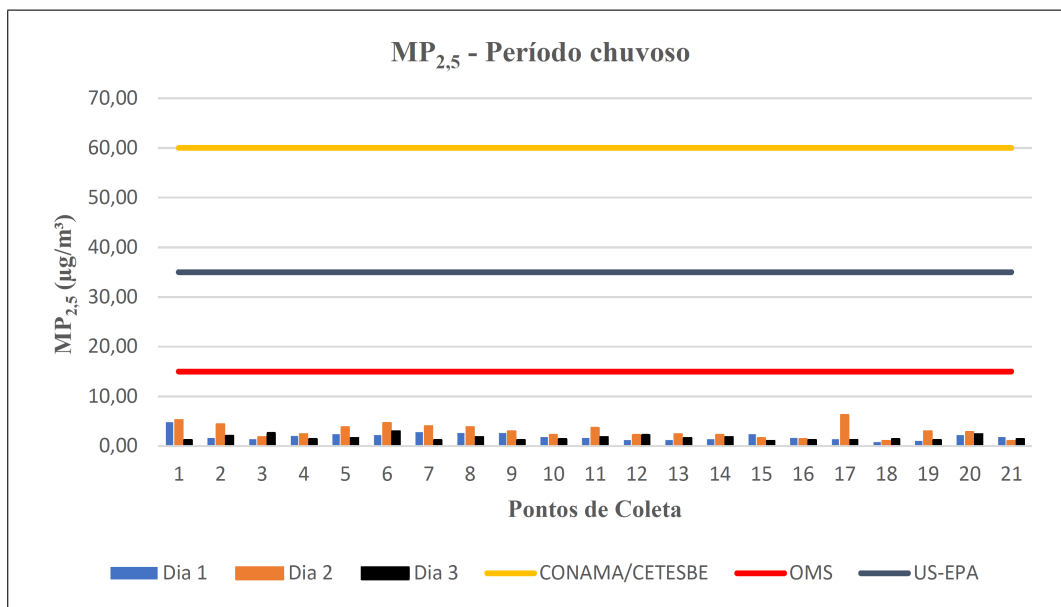
As demais médias de  $MP_{2,5}$  mantiveram-se reduzidas e similares, com máxima no ponto 6 de  $18,20 \pm 2,31 \mu g/m^3$  e mínima de  $2,73 \pm 1,22 \mu g/m^3$ .

O  $MP_{2,5}$  e  $MP_{10}$  quantificaram maiores concentrações no período seco. Segundo Santiago (2020), a concentração de MP no período seco é maior quando comparado ao chuvoso, devido às condições meteorológicas que favoreceram a maior concentração de MP nesse período.

Freitas e Solci (2009) observaram a redução da concentração de MP devido à ocorrência de precipitação e um aumento do MP em função da alteração na direção dos ventos oriundos de zona industrial.

Os resultados obtidos para o  $MP_{2,5}$  no período seco variaram entre  $1,06$  a  $55,33 \mu g/m^3$ , com média  $8,58 \mu g/m^3$ . O período chuvoso teve valores entre  $1,07$  a  $3,7 \mu g/m^3$  e média de  $2,19 \mu g/m^3$ . As médias foram menores quando comparadas aos resultados obtidos por Lima (2015), para o  $MP_{2,5}$  próximo à via de intenso fluxo veicular na cidade de Fortaleza, os valores variaram entre  $13,2$  e  $72,8 \mu g/m^3$  com média de  $21,4 \mu g/m^3$ .

As maiores concentrações médias de  $MP_{2,5}$  no período chuvoso foram nos pontos 1 e 6, possivelmente por se localizarem na Avenida Mister Hall - BR 222 e na CE-085, essas vias possuem fluxos de veículos significativos. De acordo com US-EPA (2017) o excesso  $MP_{2,5}$  pode causar mortalidade cardiovascular e respiratória. A menor concentração de  $MP_{2,5}$  foi no ponto 18, com média de  $1,07 \pm 0,31 \mu g/m^3$ .

Figura 10 – Concentração média de  $MP_{2,5}$  nos pontos de coletas - período chuvoso

Fonte: elaborada pela autora.

As concentrações de  $MP_{2,5}$  foram comparadas com os níveis encontrados aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA (BRASIL, 2018), CETESB (SÃO PAULO, 2013), Agência Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA, 2017) e a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2021), com padrão estabelecido de 24 h.

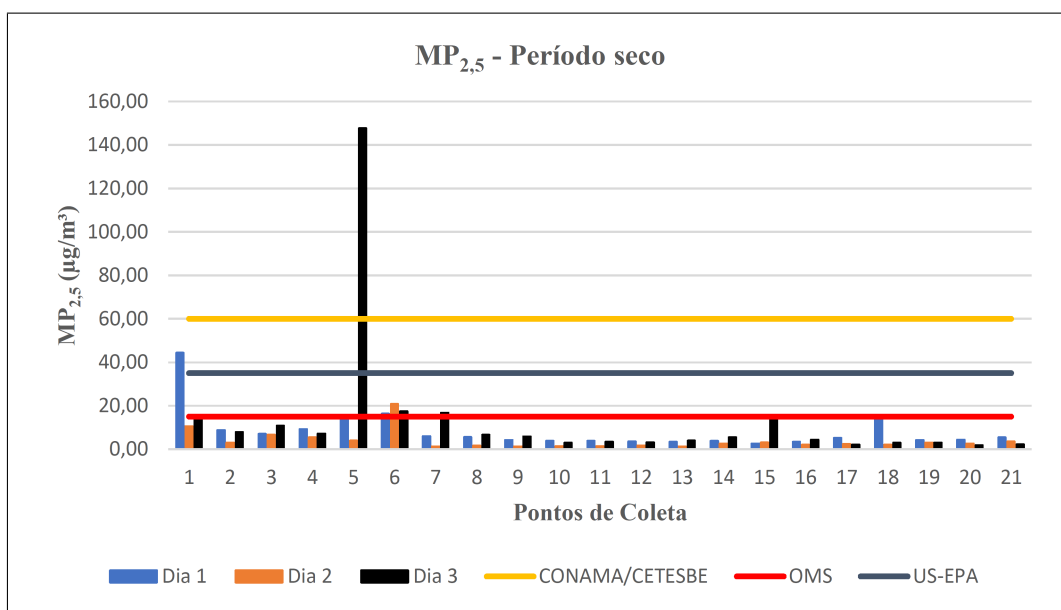
Conforme a Figura 10, os valores de  $MP_{2,5}$  no período chuvoso estão abaixo dos limites estabelecidos. Neves et al. (2019) também quantificaram médias de  $MP_{2,5}$  inferiores aos padrões estabelecidos, com médias de  $5,8$  e  $3,9 \mu g/m^3$  em fevereiro de 2019 no ambiente urbano e público no período da tarde em Fortaleza-CE.

Segundo a Figura 11, as concentrações de  $MP_{2,5}$  no período seco do ponto 1, dia 1, ultrapassou os limites estabelecidos pela OMS e pela Agência Ambiental dos Estados Unidos. O dia 3, ponto 5, também ultrapassou os limites estabelecidos para o  $MP_{2,5}$  pelas diretrizes: CONAMA/CETESB, OMS e a Agência Ambiental dos Estados Unidos. Todos os valores de  $MP_{2,5}$  no ponto 6 ultrapassam os limites estabelecidos pelos órgãos.

No período chuvoso a concentração média de  $MP_{10}$ , Tabela 13, foi de  $3,41 \pm 1,2 \mu g/m^3$ , o valor máximo foi de  $9,40 \mu g/m^3$  e o valor mínimo de  $1,20 \mu g/m^3$ .

As maiores concentrações de  $MP_{10}$  no período chuvoso foram obtidas nos pontos 1 e 6, com médias de  $5,67 \pm 5,53 \mu g/m^3$  e  $5,13 \pm 1,96 \mu g/m^3$ , respectivamente. O valor máximo do ponto 1 foi  $8,00 \mu g/m^3$  e o mínimo  $1,60 \mu g/m^3$ . No ponto 6 o valor máximo foi de  $7,40 \mu g/m^3$  e o mínimo  $4,00 \mu g/m^3$  (Figura 6).

Os demais pontos de análises mantiveram valores médios de  $MP_{10}$  similares, entre 2 a  $4 \mu g/m^3$ , com exceção ao ponto 10, que teve média de  $1,73 \pm 0,46 \mu g/m^3$ , menor média obtida.

Figura 11 – Concentração média de  $MP_{2,5}$  nos pontos de coletas - período seco

Fonte: elaborada pela autora.

No período seco as concentrações mais significativas de  $MP_{10}$ , Figura 7, foram nos pontos 5, 1 e 6. O ponto 5 obteve média mais significativa de  $79,00 \pm 113,36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , apesar do desvio padrão alto, o valor máximo foi  $209,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e mínimo de  $6,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Seguida do ponto 1, com média de  $33,53 \pm 26,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , o valor máximo foi  $63,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e mínimo de  $16,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . O ponto 6 obteve média de  $27,33 \pm 2,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , valor máximo de  $30,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e mínimo de  $24,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Na Tabela 14, período seco, a concentração média do  $MP_{10}$  foi de  $12,86 \pm 16,92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , o valor máximo foi de  $209,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e o valor mínimo de  $2,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Os pontos restantes mantiveram as médias de  $MP_{10}$  reduzidas e similares quando comparadas a Resolução CONAMA, CETESB, Agência Ambiental dos Estados Unidos e a Organização Mundial de Saúde.

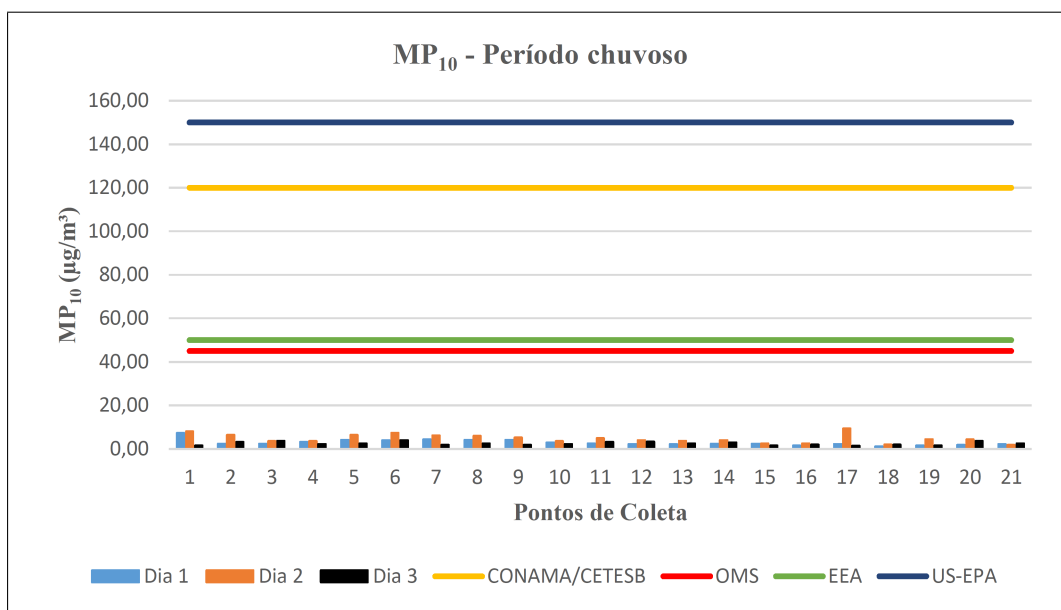
No período chuvoso a concentração média de  $MP_{10}$  foi baixa, com média de  $3,41 \pm 1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Os resultados obtidos por Santiago (2020) na avaliação da qualidade do ar na cidade de Fortaleza-Ce, também teve concentração de  $MP_{10}$  ao nível satisfatório nos limites estabelecidos.

A concentração de  $MP_{10}$  no período seco variou entre  $2,73$  a  $55,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . No período chuvoso foi de  $1,73$  a  $5,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Santiago (2020) quantificou na cidade de Fortaleza-Ce no período chuvoso concentrações de  $MP_{10}$  superiores, com valor mínimo de  $8,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e máximo de  $33,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , já no período seco obteve valor máximo menor de  $MP_{10}$ , a concentração variou de  $17,2$  a  $33,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

As maiores concentrações de  $MP_{10}$  no período chuvoso foram nos pontos 1 e 6, localizados em vias com maior fluxo veicular do perímetro analisado (Av. Mister Hall e CE-085). Freitas e Solci (2009) analisaram o  $MP_{10}$  e  $MP_{2,5}$  em atmosfera urbana e rural de Londrina. O

maior valor de  $MP_{10}$  foi nas amostras atmosféricas obtidas no ambiente urbano.

Figura 12 – Concentração média de  $MP_{10}$  nos pontos de coletas - período chuvoso



Fonte: elaborada pela autora.

Foi comparado as concentrações médias de  $MP_{10}$  obtidas com os padrões estabelecidos no período de 24 horas pela Resolução CONAMA 491/2018 (BRASIL, 2018), CETESB (SÃO PAULO, 2013), Agência Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA, 2017), Agência Ambiental Europeia (EEA, 2020) e a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2021).

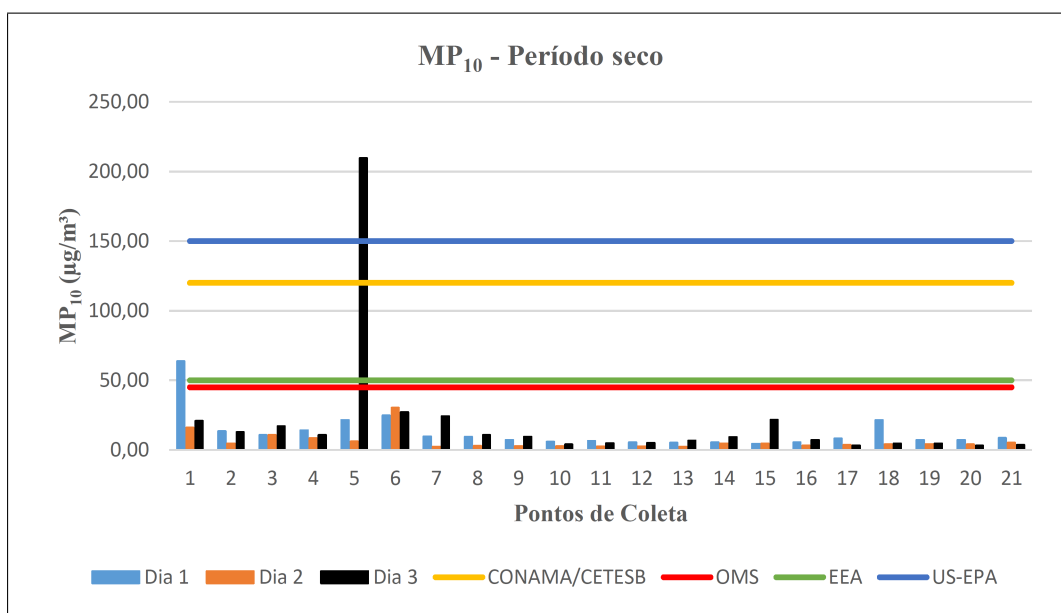
Segundo o gráfico da Figura 12, os valores médios de  $MP_{10}$  no período chuvoso estão nos limites estabelecidos pelos órgãos. Nos estudos de Neves et al. (2019) também foram quantificados médias de  $MP_{10}$  inferiores aos padrões estabelecidos, com médias de 12,3 e 18,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  em fevereiro de 2019 no ambiente urbano e público no período da tarde em Fortaleza-CE.

Na Figura 13 a concentração de  $MP_{10}$ , período seco, em alguns pontos encontram-se acima dos valores estabelecidos. O primeiro dia do ponto 1 ultrapassou os limites estabelecidos pela OMS e pela Agência Ambiental Europeia. No ponto 5, dia 3, também ultrapassou os limites estabelecidos pelo CONAMA/CETESB, OMS, Agência Ambiental Europeia e a Agência Ambiental dos Estados Unidos.

As principais fontes de contribuição de  $MP_{10}$  provém de processos de combustão, como as emissões veicular e industrial (NOGAROTTO, 2019), a afirmativa valida as concentrações de  $MP_{10}$  nos pontos 1 e 5. Lima (2015) quantificou valores de  $MP_{10}$  entre 18,9 e 119,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  com média de 31,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  em via de intenso fluxo veicular na cidade de Fortaleza-CE.

A Tabela 13 menciona a concentração de  $HCHO$  no período chuvoso. A média foi de  $46,61 \pm 14,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , o valor máximo foi de  $98,40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e o valor mínimo de  $1,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Na Figura 6, o  $HCHO$  teve maiores concentrações nos pontos 16 e 14, com médias de

Figura 13 – Concentração média de  $MP_{10}$  nos pontos de coletas - período seco

Fonte: elaborada pela autora.

$63,40 \pm 16,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $63,33 \pm 22,94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. O valor máximo do ponto 16 foi  $82,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e o mínimo  $50,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . No ponto 14 o valor máximo foi de  $87,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e o mínimo  $42,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

As médias de *HCHO* dos pontos 10 ao 13 foram similares e significativas, com médias entre  $60,33$  à  $61,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . O menor valor médio de *HCHO* foi no ponto 1, com  $17,93 \pm 15,84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Esses pontos localizam-se na Avenida Ulisses Guimarães com acesso pela ponte José Martins Rodrigues, nas proximidades da praia Barra do Ceará. O local possui fluxo de veículos significativos, atividades turísticas, pesqueira e pequenas embarcações, por ser próximo à praia.

A Tabela 14 menciona a concentração de *HCHO* no período seco. A média foi de  $22,53 \pm 12,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , o valor máximo foi de  $47,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e o valor mínimo de  $1,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

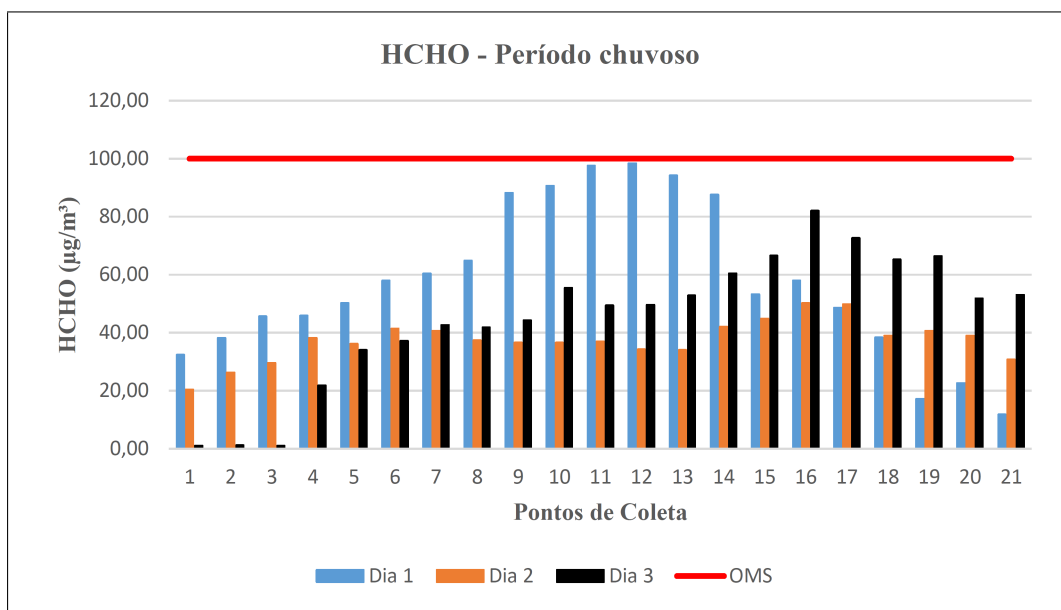
Na Figura 7 (período seco) o *HCOH* teve concentração mais significativa nos pontos 5 e 7. No ponto 5 a média foi de  $44,53 \pm 4,28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , valor máximo de  $47,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e o mínimo de  $39,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . A média do ponto 7 foi  $41,40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , máximo de  $43,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e o mínimo  $40,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

As menores médias foram dos pontos 17 ao 21, com máxima no ponto 17 de  $10,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e mínima no ponto 20 de  $4,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

A concentração de *HCHO* no período chuvoso obteve média de  $46,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nas vias de acesso a APA do Estuário do Rio Ceará. As principais fontes de formaldeído em vias urbanas são de emissões primárias que ocorrem durante a combustão de combustíveis fósseis e álcool

(STEINFELD, 2006).

Figura 14 – Concentração média de *HCHO* nos pontos de coletas - período chuvoso



Fonte: elaborada pela autora.

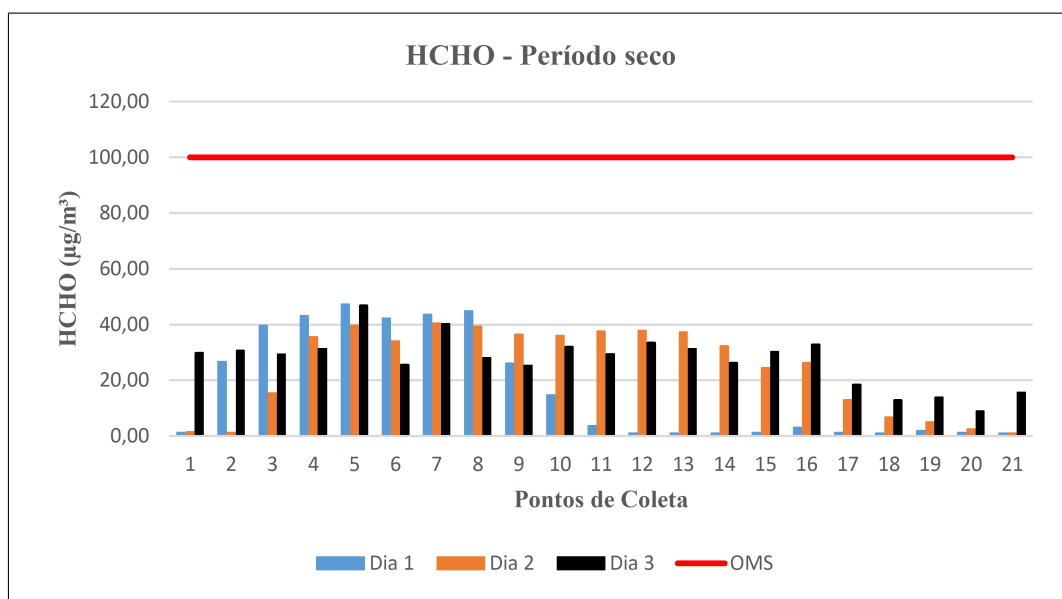
Conforme a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2010), a exposição a  $380 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durante 4 horas é suficiente para provocar a irritação dos olhos em humanos, enquanto o aumento da frequência no piscar de olhos e a vermelhidão no tecido conjuntivo ocorrem a partir de  $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

No Brasil a Portaria 3.214/78 estabelece através da NR-15 como limite de tolerância de exposição ao *HCHO* para todos os trabalhadores valores de  $1,6 \text{ ppm}$  ou  $2,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para uma jornada de até 48 horas semanais. Devido à falta de uma legislação específica para as concentrações de *HCHO* em ambientes externos, foi utilizado o padrão estabelecido pela OMS (WHO, 2021) de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para 30 minutos de exposição para ambientes internos. Os valores médios de *HCHO* não ultrapassaram o limite proposto pela OMS, observado nos gráficos das Figuras 14 e 15.

Ao comparar as Figuras 14 e 15, nota-se que apesar dos valores diários não ultrapassarem os limites estabelecidos pela OMS, a figura 14 obteve valores mais elevados no dia de coleta 1, entre os pontos 9 e 14. Com valor máximo no ponto 10 de  $98,40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , quase no limite estabelecido pela OMS.

Quanto a concentração de  $\text{CO}_2$  no período chuvoso, a média foi de  $458,30 \pm 12,33 \text{ ppm}$ , o valor máximo foi de  $497,8 \text{ ppm}$  e o valor mínimo de  $437 \text{ ppm}$ , Tabela 13.

As concentrações médias de  $\text{CO}_2$  foram aproximadas entre os pontos, verificado na Figura 6, com valor máximo médio de  $497,8 \text{ ppm}$  e valor mínimo  $437,8 \text{ ppm}$ . As maiores concentrações obtidas foram nos pontos 20 e 21, ambos com média  $480 \text{ ppm}$ .

Figura 15 – Concentração média de *HCHO* nos pontos de coletas - período seco

Fonte: elaborada pela autora.

É possível observar no gráfico da Figura 6, que as concentrações médias de  $CO_2$  no período chuvoso teve tendência a aumentar no decorrer no perímetro analisado. Houve um aumento significativo do ponto 1 ao 3, logo após houve uma tendência a reduzir e a partir do ponto 9 a concentração média de  $CO_2$  elevou-se, chegando a valores máximos nos pontos 20 e 21. A menor média de  $CO_2$  foi de  $442 \pm 2 \text{ ppm}$ , no ponto 7 e a maior média de  $CO_2$  foi de  $480 \pm 8 \text{ ppm}$ .

Na Tabela 14 a concentração média de  $CO_2$  no período seco foi de  $444,11 \pm 7,75 \text{ ppm}$ , o valor máximo foi de  $464,6 \text{ ppm}$  e o valor mínimo de  $429 \text{ ppm}$ .

A concentração mais elevada de  $CO_2$  foi no ponto 18, Figura 7, com valor médio de  $455 \pm 10 \text{ µg/m}^3$  e valores máximo e mínimo de 464 e 444  $\text{ppm}$ , respectivamente. A tendência da média do  $CO_2$  foi de elevação no decorrer do percurso.

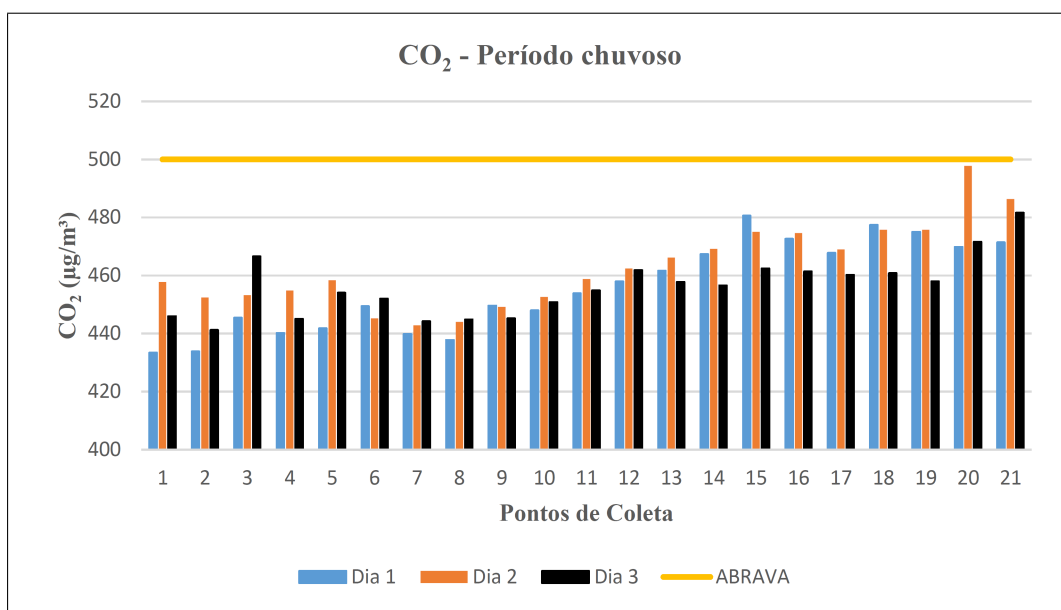
O  $CO_2$  não possui uma legislação nacional ou internacional específica que estabeleça limite de tolerância. As concentrações de  $CO_2$  presentes no limite previsto pela Resolução 09/2003 da ANVISA (ANVISA, 2003) é de 1000  $\text{ppm}$  para ambientes internos. No caso das concentrações médias externas o limite recomendado pela ABRAVA (ABRAVA, 2003), é de 500  $\text{ppm}$ , esse valor pode indicar um intenso tráfego em áreas urbanas.

A maior concentração de  $CO_2$  foi no período chuvoso (Figura 16, ponto 20), com média de 458,30  $\text{ppm}$ , e valor máximo de 497,8  $\text{ppm}$ , valor quase no limite estabelecido pela ABRAVA. Os autores Neves et al. (2019) quantificaram valores bem acima do recomendado pela ABRAVA na avaliação da concentração de  $CO_2$ , como indicador ambiental urbano de espaço público em Fortaleza-CE, no dia 18 de fev. de 2019 a média de  $CO_2$  foi de 972,9  $\text{ppm}$  e dia 10 de fev. de

2019 a média foi 929,5 ppm, ambos no período da tarde.

As concentrações médias de  $CO_2$  foram aproximadas entre os pontos (Figuras 16 e 17), com tendência de acréscimo no decorrer do perímetro, principalmente no período chuvoso. Com médias mais elevadas nos primeiros e últimos pontos, justificado por estes pontos estarem próximos ou em vias com maior fluxo de veículos, como a Mister Hall, CE-085 e a Avenida Ulisses Guimarães. Rocha (2019) estudou a influência da qualidade do revestimento asfáltico na emissão de poluentes por veículos leves em Fortaleza.

Figura 16 – Concentração média de  $CO_2$  nos pontos de coletas - período chuvoso



Fonte: elaborada pela autora.

Os autores Neves et al. (2019) verificaram a relação entre o padrão de condução do veículo e a emissão de  $CO_2$ . A emissão de  $CO_2$  está relacionado a qualidade do ar local e ligados a efeitos globais de qualidade do ar e do clima, como o efeito estufa. A medida que o  $CO_2$  é lançado na atmosfera, mais consequências desse efeito climático poderão ser identificadas, como o aquecimento global.

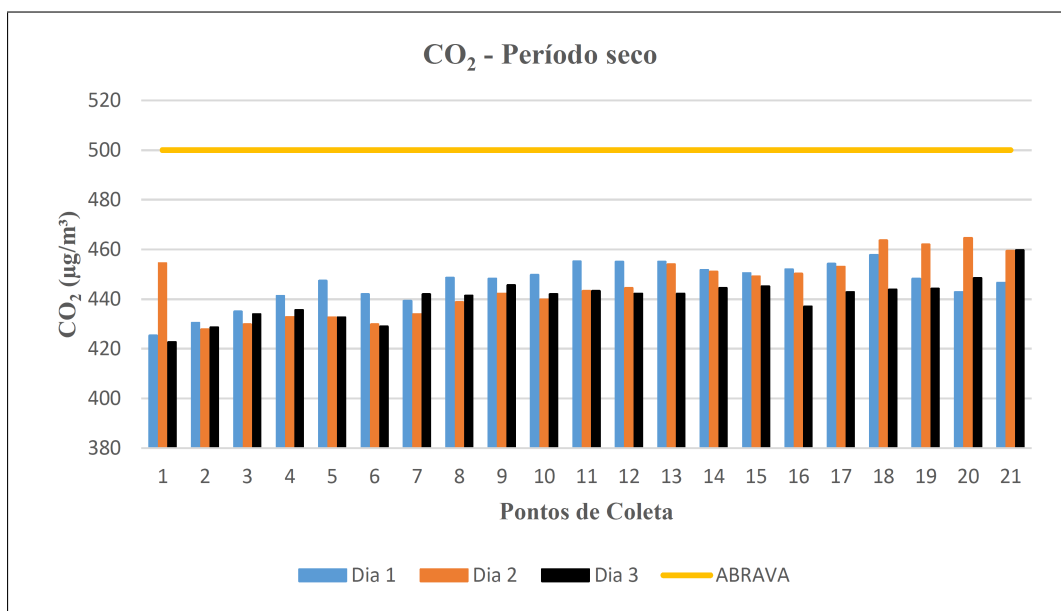
Apesar de alguns picos diários de  $CO_2$  (Figuras 16 e 17), os valores médios não ultrapassaram o limite proposto pela ABRAVA.

As concentrações mais elevadas de  $CO_2$  devem-se ao horário das análises, com início as 12 horas. Neves et al. (2019) observaram que a concentração de  $CO_2$  apresentou-se mais elevada no início da tarde, por ser horário de pico e ter maior circulação de veículos automotores. A precipitação também possui influência sobre as condições ambientais, seja pela sua ocorrência ou pela sua ausência, há relação entre o aumento da produção de  $CO_2$  no período com maior índice pluviométrico e elevada temperatura do solo (COAN; BACK; BONETTI, 2014).

No período chuvoso as concentrações de  $CO_2$  foram mais elevadas, com média de 458,20

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a umidade variou de 82,6% a 94,2%, já o período seco a média foi  $444,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , com variação de umidade de 62,3% a 69,9%, Figuras 16 e 17. Os autores SILVA et al. (2021) também quantificaram maiores concentrações de  $\text{CO}_2$  quando a umidade estava alta e com baixa incidência de ventos.

Figura 17 – Concentração média de  $\text{CO}_2$  nos pontos de coletas - período seco



Fonte: elaborada pela autora.

Na Figura 16, as concentrações médias de  $\text{CO}_2$  no período chuvoso tendeu ao aumento no decorrer dos pontos. As precipitações possuem influência sobre as condições ambientais, sejam pela sua ocorrência ou pela sua ausência, há relação entre o aumento da produção de  $\text{CO}_2$  no período com maior índice pluviométrico e elevada temperatura do solo (COAN; BACK; BONETTI, 2014).

### 5.5 Comparação média — períodos chuvoso e seco

Na Figura 6, no período chuvoso, é possível observar que os valores médios dos poluentes estão caracterizados difusamente, não há um ponto específico que correlacione maiores concentrações dos poluentes analisados. Já na Figura 7, no período seco, o ponto 5 obteve valores médios significativos para o  $\text{MP}_{2,5}$  e  $\text{MP}_{10}$ .

Quando comparado a média do  $\text{O}_3$  no período chuvoso e seco, o período chuvoso obteve média mais elevada, com valor de  $22,82 \pm 5,36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Já no período seco a média foi de  $18,51 \pm 18,51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Tabelas 6 e 7.

O MP obteve maiores concentrações no período seco. A média do  $\text{MP}_{2,5}$  no período seco foi de  $8,58 \pm 11,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , já o período chuvoso quantificou média de  $2,19 \pm 0,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . No

período seco a média do  $MP_{10}$  foi de  $12,86 \pm 16,92 \mu g/m^3$ , no período chuvoso a média reduziu para  $3,41 \pm 1,02 \mu g/m^3$ , Tabelas 6 e 7.

A concentração média do  $HCOH$  no período chuvoso foi mais elevada, com  $45,61 \pm 14,18 \mu g/m^3$  e no período seco foi quantificado média de  $22,53 \pm 12,06 \mu g/m^3$ , Tabelas 6 e 7.

Ao comparar a concentração de  $CO_2$  no período chuvoso e seco, o período chuvoso obteve concentração mais elevada, de  $458,20 \pm 12,33 \mu g/m^3$ , já o período seco a média foi  $444,11 \pm 7,75 \mu g/m^3$ , Tabelas 6 e 7.

## 6 CONCLUSÃO

A concentração alta de DQO e amônia indicam valores elevados de matéria orgânica presente na água do estuário do Rio Ceará pelo possível carreamento de efluentes domésticos e industriais. Foi verificado também a presença de coliformes totais e *E. coli*, possivelmente pela deficiência de saneamento básico na região.

Os metais Cd, Pb, Mn e Ni obtiveram valores acima do recomendado pela Resolução CONAMA n. 357/05, o Pb quantificou valores mais significativos nos pontos de análises.

O metal Cu foi detectado em apenas um ponto da análise, no período chuvoso.

As maiores concentrações de metais foram durante o período chuvoso, devido à ocorrência de maior precipitação, associado ao aumento do processo de erosão, que possibilita o carreamento desses elementos para os corpos de água. O ponto 1 quantificou menos metais, possivelmente por não receber diretamente as águas do rio Maranguapinho.

O aumento das concentrações de metais na APA do Estuário do Rio Ceará pode acarretar danos ao ecossistema, pois é possível visualizar as consequências de longo prazo, como a urbanização e ocupação intensa na APA do Estuário do Rio Ceará.

As concentrações de  $O_3$  e  $MP_{2,5}$  no perímetro de coleta nas vias do entorno da APA do Estuário do Rio Ceará estão abaixo dos parâmetros para o monitoramento do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Decreto Estadual n. 59.113/03 do Estado de São Paulo (CETESB), Agencia Ambiental Europeia (US-EPA), Agencia Ambiental dos Estados Unidos (EEA) e da Organização Mundial da Saúde (OMS). Para os níveis de  $MP_{10}$ , alguns pontos de concentrações diárias encontram-se acima dos valores estabelecidos pelos órgãos ambientais.

Quanto ao material particulado  $MP_{2,5}$  e  $MP_{10}$ , no período seco quantificaram maiores concentrações, devido às condições climáticas que favorecem a dispersão do MP no ar.

Os valores médios de  $CO_2$  não ultrapassaram o limite proposto pela Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRVA), porém, em alguns pontos os valores médios chegaram próximo ao limite estabelecido.

Embora a média dos poluentes atmosféricos  $O_3$ ,  $MP_{2,5}$ ,  $MP_{10}$ ,  $HCHO$  e  $CO_2$  esteja abaixo do estabelecido pelos órgãos ambientais, tanto nacionais quanto internacionais, foi percebido que nas vias com maiores fluxos de veículos automotores a concentração diária de alguns desses poluentes está acima dos valores estabelecidos pelos órgãos ambientais, como exemplo, nas Avenidas Mister Hall, Ulisses Guimarães e CE-090. As concentrações de metais na água tiveram maior significância quando comparado a poluição atmosférica nas principais vias que recobrem a APA do Estuário do Rio Ceará.

Com os dados apresentados e considerações realizadas, acredito que a investigação realizada sirva de referência para futuras investigações no tema, o qual é altamente relevante, pois envolve o equilíbrio dos ecossistemas dos quais, nós seres humanos fazemos parte.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Padrões de qualidade do ar**: Resolução nº 09, de 16 de jan. de 2003. [S.l.], 2003. Disponível em: <[http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RE\\_09\\_2003\\_.pdf](http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RE_09_2003_.pdf)>. Acesso em: 12 de out. de 2021.
- \_\_\_\_\_. **Avaliação de Risco: Consumo de pescado proveniente de regiões afetadas pelo rompimento da Barragem do Fundão/MG**. 2019. Disponível em: <[http://portal.anvisa.gov.br/documents/2857848/5519746/SEI\\_ANVISA](http://portal.anvisa.gov.br/documents/2857848/5519746/SEI_ANVISA)>. Acesso em: 19 jan. 2020.
- AGENCY OF TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxic Guide for Lead pb**. [S.l.], 2007. Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/toxguides/toxguide-60.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2020.
- ANDRADE, J. Â. P. de; ALMEIDA, L. Q. de. A continuidade da degradação na apa do estuário do rio ceará. **Geosaberes: Revista de Estudos Geoeducacionais**, Universidade Federal do Ceará, v. 3, n. 6, p. 60–70, 2012.
- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – SMEWW**. Washington – USA: Baker Taylor, 2005. 1274 p. ISBN 9780875530475.
- ARAÚJO, M. V. et al. Análise geoambiental da área de proteção ambiental (APA) do estuário do rio ceará–ceará–brasil. **GEOGRAFIA (Londrina)**, v. 17, n. 2, p. 25–36, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. **Normas e Recomendações**: Recomendação normativa - nr nº 02. [S.l.], 2003. Disponível em: <<https://abrava.com.br/normalizacoes/>>. Acesso em: 12 de out. de 2021.
- AZEVEDO, F. d.; CHASIN, A. d. M. et al. Metais: gerenciamento da toxicidade. **São Paulo: Editora Atheneu**, 2003.
- AZEVEDO, J. W. d. J. et al. Ictiofauna do golfo maranhense–amazônia oriental: Diversidade, distribuição e concentração de metais na água e nos peixes. Universidade Federal do Maranhão, 2019.
- B RAMESH M, P. R. D. Effect of ammonia on the electrolyte status of an indian major carp catla catla. *Aquac Res.*, v. 44, p. 1677–84, 2013.
- BAIRB R. B., E. A. D. R. E. W. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – SMEWW**. Washington – USA: Water Environment Federation, American Public Health Association, American . . . , 2017. 1274 p. ISBN 9780875530475.
- BARBIERI, E. et al. Avaliação dos impactos ambientais e socioeconômicos da aquicultura na região estuarina-lagunar de cananéia, são paulo, brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management**, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, v. 14, n. 3, p. 385–398, 2014.
- BARBOSA, I. C. C. et al. Composição química de sedimento de manguezal do estuário bragantino (pa)-brasil. **Revista virtual de química**, v. 7, n. 4, p. 1087–1101, 2015.

BARRETTO, H. T. F. **Povos indígenas no Ceará**. 2018. Disponível em: <<https://pib.socioambiental.org/pt/Povo:Tapeba>>. Acesso em: 02 fev. 2020.

BARROS, A. B. et al. Caracterização e biodisponibilidade de metais no mangue da foz do rio meirim, maceió-al. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 20133–20147, 2021.

BERLATO, M. A.; CORDEIRO, A. P. A. Sinais de mudanças climáticas globais e regionais, projeções para o século xxi e as tendências observadas no rio grande do sul: uma revisão. **Agrometeoros**, v. 25, n. 2, 2018.

BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. H. N. Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana. **Trabalho apresentado no evento de sustentabilidade na geração e uso de energia, UNICAMP**, v. 18, 2002.

BRAGA, B. et al. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. [S.l.]: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. Empresa Brasil de Comunicação. **CONAMA revoga normas que delimitam áreas de proteção permanente**. 2020. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2020-09/conama-revoga-normas-que-delimitam-areas-de-protecao-permanente>>. Acesso em: 02 de out. de 2021.

BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. **Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências**. [S.l.], 2006. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2006/lei/111428.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111428.htm)>. Acesso em: 01 de out. de 2021.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza**. [S.l.], 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm)>. Acesso em: 04 jan. 2020.

BRASIL. Ministério da Justiça e Segurança Pública. **Portaria declara posse de 5,2 mil hectares de terra indígena ao povo Tapeba**: Portaria nº 458, de 1 de setembro de 2017. [S.l.], 2017. Disponível em: <<https://www.justica.gov.br/news/portaria-declara-posse-de-5-8-mil-hectares-de-terra-indigena-ao-povo-tapeba>>. Acesso em: 29 de set. de 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria MS n.º 518 de 2004**. Brasília, 2004. 28 p. Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/portaria\\_518\\_2004.pdf](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/portaria_518_2004.pdf)>. Acesso em: 26 jan. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Instituto Nacional do Câncer (INCA). **Exposição no Trabalho e no Ambiente: Formol**. 2021. Disponível em: <<https://www.inca.gov.br/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/solventes/formol>>. Acesso em: 12 de out. de 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Diário Oficial da União**: Resolução conama nº 357 de 17 de março de 2005. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=45>>. Acesso em: 6 mar. 2019.

\_\_\_\_\_. **Portaria declara posse de 5,2 mil hectares de terra indígena ao povo Tapeba**: Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. [S.l.], 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 25 de set. de 2021.

\_\_\_\_\_. **Padrões de qualidade do ar:** Resolução nº 491, de 19 de nov de 2018. [S.l.], 2018. Disponível em: <[https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/](https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/)>. Acesso em: 20 de set. de 2021.

C40 CITIES - CLIMATE LEADERSHIP GROUP. **User Guide for the City Inventory Reporting and Information System.** 2020. Disponível em: <<https://resourcecentre.c40.org/resources/measuring-ghg-emissions>>. Acesso em: 20 de set. de 2021.

CARNAÚBA, V. **Manganês: um risco invisível.** 2014. Disponível em: <<https://www.unifesp.br/reitoria/dci/publicacoes/entreteses/item/2217-manganes-um-risco-invisivel>>. Acesso em: 12 de out. de 2021.

CASTRO, L. F.; SISENANDO, H. A. Monitoramento da qualidade do ar por meio do ensaio com tradescantia pallida na cidade do rio de janeiro/brasil. 2017.

CEARÁ. Governo do Estado. **Área da APA do Estuário do Rio Ceará é ampliada no mês dedicado ao meio ambiente.** 2021. Disponível em: <<https://www.ceara.gov.br/2021/06/23/area-da-apa-do-estuario-do-rio-ceara-e-ampliada-no-mes-dedicado-ao-meio-ambiente/>>. Acesso em: 29 de set. de 2021.

CEARÁ. Lei Nº 16.604, 18 de julho de 2018. **Diário oficial do estado do Ceará:** Poder executivo. [S.l.], 2018. Disponível em: <<http://imagens.seplag.ce.gov.br/PDF/20180719/do20180719p01.pdf>>. Acesso em: 29 de set. de 2021.

CEARÁ. Secretaria do Meio Ambiente (SEMACE). **Diagnóstico sócio-ambiental, macrozoneamento costeiro e uso projetado do solo da costa leste do Estado do Ceará.** [S.l.], 1997. Disponível em: <[https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_sigercom/\\_arquivos/ce\\_erosao.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_arquivos/ce_erosao.pdf)>. Acesso em: 07 mar. 2019.

\_\_\_\_\_. **Área de Proteção Ambiental do Estuário do Rio Ceará.** [S.l.], 2010. Disponível em: <[https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_sigercom/\\_arquivos/ce\\_erosao.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_arquivos/ce_erosao.pdf)>. Acesso em: 07 mar. 2019.

CHAGAS, D.; LIMA, A. P. d. S. C.; FELICI, E. M. Análise de parametros fisico-quimicos da água da microbacia são jorge, tarabai-sp. In: **Colloquium Exactarum.** ISSN: 2178-8332. [S.l.: s.n.], 2020. v. 12, n. 1, p. 86–94.

CLARKE, E. G. C. **Clarke's analysis of drugs and poisons: in pharmaceuticals, body fluids and postmortem material.** [S.l.]: Pharmaceutical Press, 2004. v. 1.

COAN, B. de P.; BACK, Á. J.; BONETTI, A. V. Precipitação mensal e anual provável no estado de santa catarina. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 15, 2014.

CONCEIÇÃO, M. M. M. D. et al. A lógica fuzzy no estudo da qualidade da água do rio uraim paragominas-pa. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 38575–38588, 2020.

CONLEE, K. et al. Carbon dioxide for euthanasia: concerns regarding pain and distress, with special reference to mice and rats. **Laboratory animals**, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 39, n. 2, p. 137–161, 2005.

CORREIA, A. J. et al. Áreas protegidas para a conservação dos manguezais em guiné-bissau: Estudo sobre a importância do parque natural dos tarrafes do rio cacheu. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 2, p. 123–154, 2019.

COSTA, E. C. T. d. A. **Diagnóstico ambiental das águas do estuário Jundiaí-Potengi pela determinação dos índices de qualidade da água e toxidez**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.

COSTA, E. C. T. d. A. **Diagnóstico ambiental das águas do estuário Jundiaí-Potengi pela determinação dos índices de qualidade da água e toxidez**. 133 f. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2008.

COSTA, E. S. d.; COSTA, A. A. Estudo do transporte de poluentes atmosféricos no complexo industrial e portuário do pecém (cipp), ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, SciELO Brasil, 2021.

DUKE, N. C. et al. A world without mangroves? **Science**, American Association for the Advancement of Science, v. 317, n. 5834, p. 41–42, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Condutividade**. 2020. Disponível em: <<https://www.cnpma.embrapa.br/projetos/ecoagua/eco/condu.html>>. Acesso em: 29 de set. de 2021.

ESPOSITO, M. P. **Estudo da relação entre necroses foliares indicadoras de ozônio atmosférico e defesas antioxidativas em folhas de Nicotiana tabacum "Bel W3"**. Tese (Doutorado) — Instituto de Botânica São Paulo, 2008.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 523-642 p.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Air quality in Europa**. [S.l.], 2020. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-management>>. Acesso em: 20 de ago. de 2021.

FAO. The world's mangroves 1980–2005. **Rome: FAO, FAO Forestry Paper**, v. 153, p. 77p, 2007.

FEDERATION, W. E.; ASSOCIATION, A. et al. Standard methods for the examination of water and wastewater. **American Public Health Association (APHA)**, Washington, D.C., v. 23, 2017.

FERNANDES, A. M. Influência sazonal no transporte específico de metais totais e dissolvidos nas águas fluviais da bacia do alto sorocaba (sp). **Geochimica Brasiliensis**, v. 29, n. 1, p. 23–34, 2015.

FERREIRA, J. **Avaliação da Qualidade do Ar no Município de São Gonçalo do Amarante/CE**. Dissertação (Mestrado) — Curso de Tecnologia e Gestão Ambiental. Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental, Instituto Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

FILHO, C. D. T. **Teores de metais pesados em alguns solos do estado do Ceara**. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) — Universidade Federal do Ceara, Fortaleza, 2016.

FIUZA, A. B. J. d. Q.; LEHUGEUR, L. G. d. O.; QUEIROZ, B. J. Análise ambiental do estado de conservação do baixo curso do rio pacoti-ceará. **Arquivos de Ciências do Mar**, 2010.

FORTALEZA. Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente. **4º Inventário de emissões de Gases de Efeito Estufa - GEE**. [S.l.], 2020. Disponível em: <<https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/>>

infocidade/mudancas-climaticas/4\_inventario\_de\_emissoes\_de\_gee.pdf>. Acesso em: 30 de set. de 2021.

FREITAS, A. d. M.; SOLCI, M. C. Caracterização do mp10 e mp2, 5 e distribuição por tamanho de cloreto, nitrato e sulfato em atmosfera urbana e rural de londrina. **Química Nova**, SciELO Brasil, v. 32, p. 1750–1754, 2009.

GIOIA, S. M. et al. Insights into the dynamics and sources of atmospheric lead and particulate matter in são paulo, brazil, from high temporal resolution sampling. **Atmospheric research**, Elsevier, v. 98, n. 2-4, p. 478–485, 2010.

GOMES, B. A. A. C. Análise dos impactos ambientais ocorridos pela ocupação irregular no manguezal do estuário do rio ceará-fortaleza, ce. **Ensaio de Geografia**, v. 6, n. 11, p. 11–31, 2020.

GOMES, C. d. M. T. Degradação ambiental urbana e qualidade de vida nas áreas de manguezais ocupadas por palafitas em são luís-ma. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2001.

GORLACH-LIRA, K. et al. The influence of fish culture in floating net cages on microbial indicators of water quality. **Brazilian Journal of Biology**, SciELO Brasil, v. 73, p. 457–463, 2013.

GOVERNOS LOCAIS PELA SUSTENTABILIDADE. **Programa Cidades Sustentáveis: Guia de Ação Local pelo Clima**. São Paulo, 2016. ISBN 9788599093290. Disponível em: <[https://www.cidadessustentaveis.org.br/arquivos/Publicacoes/Acao\\_Local\\_pelo\\_Clima.pdf](https://www.cidadessustentaveis.org.br/arquivos/Publicacoes/Acao_Local_pelo_Clima.pdf)>. Acesso em: 25 de set. de 2021.

GOYAL, R.; KUMAR, P. Indoor–outdoor concentrations of particulate matter in nine microenvironments of a mix-use commercial building in megacity delhi. **Air quality, atmosphere & health**, Springer, v. 6, n. 4, p. 747–757, 2013.

GUARDIAN NEWS AND MEDIA LIMITED OR ITS AFFILIATED COMPANIES. **2015 smashes record for hottest year, final figures confirm**. 2016. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/environment/2016/jan/20/2015-smashes-record-for-hottest-year-final-figures-confirm>>. Acesso em: 10 de out. de 2021.

GUIMARÃES, M. d. A. et al. Toxicidade e tolerância ao cádmio em plantas. **Revista Trópica-Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 2, p. 58–68, 2008.

HINOJOSA-GARRO, D.; OSTEN, J. Rendón-von; DZUL-CAAMAL, R. Banded tetra (*astyanax aeneus*) as bioindicator of trace metals in aquatic ecosystems of the yucatan peninsula, mexico: Experimental biomarkers validation and wild populations biomonitoring. **Ecotoxicology and environmental safety**, Elsevier, v. 195, p. 110–477, 2020.

HOGARTH, P. J. **The biology of mangroves and seagrasses**. [S.l.]: Oxford University Press, 2015.

IANISTCKI, M. et al. Genotoxic effect of polycyclic aromatic hydrocarbons in the metropolitan area of porto alegre, brazil, evaluated by *helix aspersa* (müller, 1774). **Environmental Pollution**, Elsevier, v. 157, n. 7, p. 2037–2042, 2009.

IDEXX LABORATORIES. **Water Quality Control Laboratory is accredited to ISO/IEC**. Westbrook, Maine 04092 USA, 2017. Disponível em: <[idexx.com/water](http://idexx.com/water)>.

INABA, T. et al. Estimation of cumulative cadmium intake causing itai–itai disease. **Toxicology letters**, Elsevier, v. 159, n. 2, p. 192–201, 2005.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Aprova o Plano de Ação Nacional para Conservação das Espécies Ameaçadas e de Importância Socioeconômica do Ecossistema Manguezal - PAN Manguezal, estabelecendo seu objetivo geral, objetivos específicos, ações, prazo de execução, abrangência, formas de implementação e supervisão**: Portaria nº 9 de 29 de janeiro de 2015. [S.l.], 2015. Disponível em: <[https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/2015/p\\_icmbio\\_09\\_2015\\_aprova\\_pan\\_manguezais.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/2015/p_icmbio_09_2015_aprova_pan_manguezais.pdf)>. Acesso em: 01 de out. de 2021.

\_\_\_\_\_. **Atlas dos manguezais do Brasil**. Brasília, 2018. 176 p.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. **Área de Proteção Ambiental do Estuário do Rio Ceará**. Unidades de Conservação no Brasil, 2015. Disponível em: <<https://uc.socioambiental.org/pt-br/arp/2801#pesquisa>>. Acesso em: 29 jan. 2020.

JAISHANKAR, M. et al. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. **Interdisciplinary toxicology**, Slovak Toxicology Society, v. 7, n. 2, p. 60, 2014.

JÄRUP, L. Hazards of heavy metal contamination. **British medical bulletin**, Oxford University Press, v. 68, n. 1, p. 167–182, 2003.

JESUS, R. S. **Metais traço em sedimentos e no molusco bivalve *Anomalocardia brasiliana* (GMELIN, 1791), municípios de madre de deus e de Saubara, Bahia**. 100 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

JESUS, S. B. de. **Caracterização da geoquímica e comunidade Cladocera dos estuários do rio Una, e o rio Jequitinhonha, Belmont, Bahia, Brasil**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

JIANG, Y.; ZHENG, W. Cardiovascular toxicities upon managanese exposure. **Cardiovascular toxicology**, Springer, v. 5, n. 4, p. 345–354, 2005.

JOHNSON, L. E. **Manual MSD: Versão para profissionais de saude**. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://www.msmanuals.com/pt-pt/profissional/distúrbios-nutricionais/deficiência-e-toxicidade-minerais/cobre?query=Cobre>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

JOIRIS, C. R.; HOLSBEEK, L.; OTCHERE, F. A. Mercury in the bivalves crassostrea tulipa and perna perna from ghana. **Marine Pollution Bulletin**, Pergamon, v. 40, n. 5, p. 457–460, 2000.

JØRGENSEN, D. Ecological restoration as objective, target, and tool in international biodiversity policy. **Ecology and Society**, JSTOR, v. 20, n. 4, 2015.

JUNGES, A. L. et al. O “efeito estufa” na sala de aula: um experimento de baixo custo para demonstrar a absorção de radiação infravermelha por gases estufa como o dióxido de carbono. **Caderno brasileiro de ensino de física**. Florianópolis, v. 37, n. 2, p. 849–864, 2020.

JÚNIOR, A. C. F. et al. Avaliação da qualidade do ar na cidade de são gonçalo do amarante sob influência do complexo industrial do pecém/ceará/air quality assessment in the são gonçalo do amarante city under the influence of pecém/ceará industrial complex. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 63618–63631, 2020.

JÚNIOR, J. C. F. de M.; RAIMUNDO, C. M.; AMORIM, M. W. Efeito da poluição atmosférica em folhas de tibouchina granulosa (desr.) cogn.(melastomataceae). **Acta Biológica Catarinense**, v. 1, n. 1, p. 65–72, 2014.

KAMINSKI, N. E.; KAPLAN, B. L. F.; HOLSAPPLE, M. P. Toxic responses of the immune system. **Casarett & Doull's Toxicology The Basic Science of Poisons**, chapter, v. 12, p. 485–555, 2008.

KAMPA, M.; CASTANAS, E. Human health effects of air pollution. **Environmental pollution**, Elsevier, v. 151, n. 2, p. 362–367, 2008.

KARA I.; YILMAZER, D. A. S. Metakaolin based geopolymer as an effective adsorbent for adsorption of zinc (ii) and nickel (ii) ions from aqueous solutions. **Applied Clay Science**, n. 139, p. 54–63, 2017.

KARNAUSKAS, K. B.; MILLER, S. L.; SCHAPIRO, A. C. Fossil fuel combustion is driving indoor co2 toward levels harmful to human cognition. **GeoHealth**, Wiley Online Library, v. 4, n. 5, p. e2019GH000237, 2020.

KLAASSEN, C.; AMDUR, M. **Casarett Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. Toronto:th McGraw-Hill Companies**. [S.l.]: Inc, 1996.

LACERDA, A. C. et al. Influência topoedafoclimática na produção primária bruta no semiárido. **Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, Revista Brasileira de Geografia Física, v. 13, n. 6, p. 3119-3135, 2020., 2020.

LEVIN, R. et al. Lead exposures in us children, 2008: implications for prevention. **Environmental Health Perspectives**, National Institute of Environmental Health Sciences, v. 116, n. 10, p. 1285–1293, 2008.

LIMA, C. V. S. de; MEURER, E. J. Elementos-traço no solo, nas águas e nas plantas de uma lavoura de arroz irrigado do rio grande do sul. **Revista de estudos ambientais**, v. 15, n. 1, p. 20–30, 2014.

LIMA, E. R. et al. Educação ambiental como subsidio a (re) avaliação das formas de uso na apa do estuário do rio ceará em fortaleza. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 21, n. 2, p. 962–975, 2019.

LIMA, R. M. d. **Avaliação da qualidade do ar em um trecho urbano da cidade de Fortaleza – Ceará**. 106 p. Dissertação (Mestrado) — Curso de Tecnologia e Gestão Ambiental. Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental, Instituto Federal do Ceará, Fortaleza, Fortaleza, CE, 2015.

LIMA, V. F.; MERÇON, F. Metais pesados no ensino de química. **Química nova na escola**, v. 33, n. 4, p. 199–205, 2011.

LIN, C. et al. Vertical stratification of volatile organic compounds and their photochemical product formation potential in an industrial urban area. **Journal of environmental management**, Elsevier, v. 217, p. 327–336, 2018.

LONGINO, A. International journal of environmental research and public health. **Wilderness & Environmental Medicine**, Elsevier, v. 26, n. 1, p. 99, 2015.

LOUREIRO, C. V.; OLIVEIRA, C. F. de. Os aspectos socioeconômicos do manguezal do rio coreaú e sua relação com a sustentabilidade ambiental. **Conexões-Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 5, p. 78–83, 2019.

LU, G.-Y. et al. Oyster-based national mapping of trace metals pollution in the chinese coastal waters. **Environmental Pollution**, Elsevier, v. 224, p. 658–669, 2017.

MACHADO, I. C. et al. Estudo da ocorrência dos metais pesados pb, cd, hg, cu, e zn na ostra de mangue crassostrea brasiliana do estuário de cananéia-sp, brasil. **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, v. 61, n. 1, p. 13–18, 2002.

MAGALHÃES, G. C. d. et al. Metais potencialmente tóxicos em rios a montante do pantanal norte. **Revista Ambiente & Água**, SciELO Brasil, v. 11, p. 833–850, 2016.

MAIA, R. C. et al. Impactos ambientais em manguezais no ceará: Causas e consequências. **Conexões-Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 5, p. 69–77, 2019.

MANAHAN, S. **Environmental chemistry**. [S.l.]: CRC press, 2017.

MANGALESHWARAN L., T. A. R. V. M. C. R. K. Batch and fixed bed column studies on nickel (ii) adsorption from aqueous solution by treated polyurethane foam. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 55, p. 112–118, 2015.

MARTINS, C. A. da et al. A dinâmica de metais-traço no solo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, v. 17, n. 3, p. 383–391, 2011.

MASSOUD, M. A. Assessment of water quality along a recreational section of the damour river in lebanon using the water quality index. **Environmental monitoring and assessment**, Springer, v. 184, n. 7, p. 4151–4160, 2012.

MELO, M. T. D.; SAMPAIO, S. S.; VIEIRA, R. H. S. d. F. Avaliação da poluição orgânica no estuário do rio ceará (fortaleza-ceará-brasil). **Revista Caatinga**, v. 7, n. 1, p. 207–219, 1990.

MENEZES, K. W. S. de; SOUZA, M. J. N. de; GRANGEIRO, C. M. M. Contextualização socioeconômica da área de proteção ambiental do estuário do rio ceará, região metropolitana de fortaleza-ce. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 21, n. 3, p. 25–36, 2017.

MICHAEL, G.; BALMES, J. R. Outdoor air pollution and asthma. **The Lancet**, v. 383, n. 9928, p. 1581–1592, 2014.

MILANEZ, B. Co-incineração de resíduos industriais em fornos de cimento: problemas e desafios. **IX Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente**. Curitiba: Universidade Positivo, 2007.

MIRANDA, L. S. et al. Oil-suspended particulate material aggregates as a tool in preventing potential ecotoxicological impacts in the são paulo river, todos os santos bay, bahia, brazil: Influence of salinity and suspended particulate material. **Marine pollution bulletin**, Elsevier, v. 112, n. 1-2, p. 91–97, 2016.

MIRANDA, P.; SOUSA, M. Impactos ambientais em áreas de mangue no estado do ceará (brasil). **Anais IV Simpósio de Ecossistemas Brasileiros**, v. 1, p. 69–80, 1998.

MORAES, E.; SZNELWAR, R.; FERNICOLA, N. Inseticidas organoclorados. \_\_\_\_\_. **Manual de toxicologia analítica**. São Paulo: Roca, p. 98–99, 1991.

- MORAES, M. V. A. R.; PORTELA, J. P.; COSTA, S. S. de L. A educação ambiental como ferramenta didática na proteção ambiental da água do estuário do rio Ceará (CE). **Revista Equador**, v. 4, n. 02, p. 36–55, 2015.
- NAGAJYOTI, P. C.; LEE, K. D.; SREEKANTH, T. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. **Environmental chemistry letters**, Springer, v. 8, n. 3, p. 199–216, 2010.
- NAMUGIZE J. N., J. G. G. M. Effects of land use and land cover changes on water quality in the umngeni river catchment, south africa. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 105, p. 247–264, 2018.
- NEVES, C. J. T. et al. Avaliação de indicadores ambientais urbanos em um espaço público da cidade de fortaleza-ce. **Revista Tecnologia**, v. 40, n. 2, 2019.
- NILIN, J. **Biomarcadores em estudos ambientais: a vigília dos bivalves na ria de Aveiro (Portugal) e no rio Ceará (Brasil)**. 154 f. Dissertação (Doutorado em Ciências Marinhas) — Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, 2012.
- NILIN, J. et al. Water toxicity assessment of the ceará river estuary (brazil). **J Braz Soc Ecotoxicol**, v. 2, n. 2, p. 107–113, 2007.
- NOGAROTTO, D. C. **Avaliação de modelos de regressão de trajetórias para a previsão de poluentes atmosféricos**. 143 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2019.
- OGA, S.; CAMARGO, M. M. d. A.; BATISTUZZO, J. A. d. O. Fundamentos de toxicologia. 2008.
- OHREL RONALD L., J. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. **Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 4, 2014.
- OHREL RONALD L., J. R. K. M. Volunteer estuary monitoring: A methods manual. **The Ocean Conservancy and EPA**, v. 2, 2006.
- OLIVEIRA, A. P. F. d. et al. **Determinação de metais na água, sedimento e em moluscos bivalves do complexo estuarino de Paranaguá, Paraná, Brasil**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.
- OLIVEIRA, J. de. **Avaliação das condições ambientais do estuário do rio Vazabarris (Sergipe) com o uso de Crassostrea brasiliana (Lamarck, 1819)**. 251 f. Tese (doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) — Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, Fev 2019.
- OLIVEIRA, M. dos S. et al. Net cage tambaqui farming: microbiological quality, nutritional value and yield. **Archivos de zootecnia**, Servicio de Publicaciones, v. 69, n. 265, p. 65–71, 2020.
- ONDER, S.; DURSUN, S. Air borne heavy metal pollution of cedrus libani (a. rich.) in the city centre of konya (turkey). **Atmospheric Environment**, Elsevier, v. 40, n. 6, p. 1122–1133, 2006.
- OPEN STREET MAP FOUNDATION. **APA do Estuário do Rio Ceará**. 2021. Disponível em: <<https://www.openstreetmap.org/#map=15/-3.7263/-38.6177>>. Acesso em: 04 de out. de 2021.
- ORGANIZATION, W. H. et al. Institutional repository for information sharing. **World Health Organization**, 2020.

PAGANINI, É. R.; MANZINI, F. F.; PLICAS, L. M. de A. Comportamento da concentração do metal manganês no solo de acordo com a sazonalidade. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n. 8, 2015.

PAULA, A. L. de S.; LIMA, B. K. de S.; MAIA, R. C. Ecossistema manguezal: Percepção e educação ambiental no âmbito escolar público em acaraú, ceará. **EXPRESSÕES DA EXTENSÃO**, p. 29, 2016.

PEDROZO, M. d. F. M. et al. Ecotoxicologia do cobre e seus compostos. In: **Cadernos de Referencia Ambiental**, 002. [S.l.]: CRA, 2001.

PEREIRA, O. M. et al. Determinação dos teores de hg, pb, cd, cu e zn em moluscos (crassostrea brasiliana, perna perna e mytella falcata) determination of pb, cd, hg, cu and zn levels in molluscs (crassostrea brasiliana, perna perna and mytella falcata). **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, v. 61, n. 1, p. 19–25, 2002.

PERES, T. F. **Influência da biota na acumulação de metais pesados nos sedimentos superficiais do estuário do Rio Jaguaribe, Praia de Ponta Grossa e Praia de Arpoeira, Ceará**. 87 f. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2012.

PINHEIRO, S. M. M. Formação do agregado óleo material particulado em suspensão (osa) e dispersão de hpas no estuário do rio são paulo, bahia: uma ferramenta norteadora na prevenção de impactos ecotoxicológicos. Instituto de Geociências, 2019.

QUEIROZ, P. G. M.; JACOMINO, V. M. F.; MENEZES, M. Â. d. B. C. Composição elementar do material particulado presente no aerossol atmosférico do município de sete lagoas, minas gerais. **Química Nova**, SciELO Brasil, v. 30, p. 1233–1239, 2007.

QUINELATO, R. V. et al. Determinação da qualidade da água superficial e sua compatibilidade com os múltiplos usos: estudo de caso do estuário do rio caraíva. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 1, p. 037–057, 2021.

RAMOS, S. V. C. **Avaliação da concentração de metais traços em ostra de mangue (Crassostrea rhizophorae, Guilding, 1928), sururu (Mytella charruana D'Orbigny, 1846) e sedimentos superficiais no estuário do Rio Formoso, Pernambuco**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal da Pernambuco, Recife, 2011.

RAVAL N. P.; SHAH, P. U. S. N. K. Adsorptive removal of nickel (ii) ions from aqueous environment: A review. **Journal of Environmental Management**, n. 179, p. 1–20, 2016.

REIS, J. A. T. d.; MENDONÇA, A. S. F. Análise técnica dos novos padrões brasileiros para amônia em efluentes e corpos d'água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, SciELO Brasil, v. 14, p. 353–362, 2009.

RIO GRANDE DO SUL. Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA). Resolução nº 355/2017. **Critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul**. [S.l.], 2017. Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201707/19110149-355-2017-criterios-e-padroes-de-emissao-de-efluentes-liquidos.pdf>>. Acesso em: 01 de out. de 2021.

ROCHA, A. F. d. Cádmio, chumbo, mercúrio: a problemática destes metais pesados na saúde pública?: monografia: Cadmium, lead, mercury: the issue of these metals in public health? Porto: edição de autor, 2009.

ROCHA, C. G. d. Desenvolvimento, calibração e aplicação de novas metodologias analíticas para medidas das emissões de amônia e óxidos de nitrogênio provenientes do solo adubado. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2021.

ROCHA, V. M. G. **Influência da qualidade do revestimento asfáltico na emissão de poluentes de um veículos leves em Fortaleza**. 86 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

RUBINO, M. et al. A revised 1000 year atmospheric  $\delta^{13}\text{C}$ -co<sub>2</sub> record from law dome and south pole, antarctica. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, Wiley Online Library, v. 118, n. 15, p. 8482–8499, 2013.

RUIZ, A. d. S. Revisão bibliográfica sobre a análise de metais no sedimento do rio diana no estuário de santos (sp). Universidade Federal de São Paulo, 2020.

SALGADO, L. D.; ROSA, S. M.; AZEVEDO, J. C. R. de. Concentrations of metals in liver of guiana dolphins (*sotalia guianensis*) from an estuary in southeast of brazil. **Ecotoxicology and Environmental Contamination**, v. 13, n. 1, p. 51–61, 2018.

SALTHAMMER, T.; MENTESE, S.; MARUTZKY, R. Formaldehyde in the indoor environment. **Chemical reviews**, ACS Publications, v. 110, n. 4, p. 2536–2572, 2010.

SAMPAIO, C. R.; FREITAS, F. R. de; BARRELLA, W. Uma análise de concepções referente ao ecossistema manguezal, segundo discentes de uma escola estadual de ensino médio no município de são vicente-sp. **Unisanta BioScience**, v. 8, n. 1, p. 46–55, 2019.

SANTI, A. M. M.; FILHO, A. O. S. Combustíveis e riscos ambientais na fabricação de cimento: casos na região do calcário ao norte de belo horizonte e possíveis generalizações. 2004.

SANTIAGO, I. S. d. **Avaliação da qualidade do ar na cidade de Fortaleza-Ce: evidências baseadas nas concentrações, fontes e distribuição espacial de HPAs e seus impactos na saúde humana**. 132 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2020.

SANTOS., T. M. Renata de S. Saúde e qualidade da água: Análises microbiológicas e físico-químicas em águas subterrâneas. **Contexto Saude**, v. 13, n. 24–25, p. 46–53, 2013.

SANTOS1A, U. de P.; ARBEX, M. A. et al. Poluição do ar ambiental: efeitos respiratórios. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, Jornal Brasileiro de Pneumologia, v. 47, n. 1, 2021.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Identificação da substância formaldeído**. [S.l.], 2017. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Formaldeido.pdf>>. Acesso em: 12 de out. de 2021.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente (SEMA). Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2014**. São Paulo, 2015. 376 p.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente (SEMA). Companhia Ambiental do Estado e São Paulo (CETESB). **Decreto Estadual nº 59.113 de 23 de abril de 2013**. [S.l.], 2013. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2013/decreto-59113-23.04.2013.html>>. Acesso em: 12 de out. de 2021.

SCHNACK, C. E. et al. Qualidade da água no estuário do rio urussanga (sc, brasil): um ambiente afetado pela drenagem ácida de mina. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 16, n. 3, 2018.

SEMEDO, M. F. de F. R. **Importância medico-legal dos metais essenciais: cobre e zinco**. 89 p. Dissertação (Mestrado em Medicina Legal) — Universidade do Porto, Portugal, 2014.

SILVA, A. Q. d. Impacto de contaminantes emergentes em estuários urbanizados: efeitos em organismos não-alvos e avaliação de risco ecológico. 2020.

SILVA, I. B. d. et al. Análise das concentrações de dióxido de carbono em uma preservada da caatinga. Universidade Federal de Campina Grande, 2021.

SILVA, P. P. G. **Contaminação por metais (Cd, Cu, Pb, Cr, Mn e Hg) e avaliação do impacto genotóxico em *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (*Brachyura*, *Ucididae*), em dois manguezais do Estado de São Paulo**. 62 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo, 2011.

SILVA, R. K. d. et al. Biomonitoramento de metais em aves, águas superficiais e sedimentos estuarinos no nordeste do brasil. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2019.

SILVEIRA, S. R. et al. Análise de nutrientes presentes na laguna de iguape, município de aquiraz/ceará. **Reunión sobre el Cuaternario de América del Sur**, p. 245–252, 2009.

SINGH, R. et al. Heavy metals and living systems: An overview. **Indian journal of pharmacology**, Wolters Kluwer–Medknow Publications, v. 43, n. 3, p. 246, 2011.

SOARES, G. d. C. B. et al. **Concentração de metais traços na água, sedimento em ascídia *Microcosmus exasperatus* (Heller, 1878) na baía de Paranaguá, litoral do Paraná-Brasil**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Portugal, 2020.

SOUZA, A. C. et al. Occurrence of halogenated organic contaminants in estuarine sediments from a biosphere reserve in southern atlantic. **Marine pollution bulletin**, Elsevier, v. 133, p. 436–441, 2018.

SOUZA, P. S. de et al. Preliminary study of trace metals by environmental quality criteria in sediments from a mangrove forest in saco do mamangá (ilha grande bay, rio de janeiro, brazil). **REVISTA VIRTUAL DE QUIMICA, BRAZILIAN CHEMICAL SOC SECRETERIA REGIONAL RIO DO JANEIRO**, v. 5, n. 5, p. 934–943, 2013.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. [S.l.]: Editora UFMG, 2005. v. 3.

STEINFELD, J. I. Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. **Environment: Science and Policy for Sustainable Development**, Taylor & Francis, v. 3, n. 7, p. 1152, 2006.

TOHID, L. et al. Spatiotemporal variation, ozone formation potential and health risk assessment of ambient air vocs in an industrialized city in iran. **Atmospheric Pollution Research**, Elsevier, v. 10, n. 2, p. 556–563, 2019.

TOOL, C. The curb tool: Climate action for urban sustainability. In: PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA. **3º Inventário de emissões de Gases de Efeito Estufa para a cidade de Fortaleza**. [S.l.], 2019.

TORRES, F. T. P.; MARTINS, L. A. Fatores que influenciam na concentração do material particulado inalável na cidade de juiz de fora (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 6, n. 16, 2005.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **AMTTIC: Ambient Air Monitoring Assessments**. 2017. Disponível em: <<https://www.epa.gov/amtic/amtic-ambient-air-monitoring-assessments>>. Acesso em: 09 de out. de 2021.

VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão lavapés/botucatu-sp. **Eclética Química**, SciELO Brasil, v. 22, p. 49–66, 1997.

VALLERO, D. **Fundamentals of air pollution**. [S.l.]: Academic press, 2014.

VALLS, M.; LORENZO, V. D. Exploiting the genetic and biochemical capacities of bacteria for the remediation of heavy metal pollution. **FEMS microbiology reviews**, Blackwell Publishing Ltd Oxford, UK, v. 26, n. 4, p. 327–338, 2002.

VINCZE, É. B. et al. Effect of metal tolerant plant growth promoting rhizobacteria on bean growth, cadmium and zinc uptake and stress responses. **Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)**, v. 17, n. 4, 2018.

WIERZBICKA, A. et al. Detailed diesel exhaust characteristics including particle surface area and lung deposited dose for better understanding of health effects in human chamber exposure studies. **Atmospheric Environment**, Elsevier, v. 86, p. 212–219, 2014.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Formaldehyde: Concise international chemical assessment document 40**. [S.l.], 2002.

\_\_\_\_\_. **Guidelines for indoor air quality: Selected Pollutants**. Genebra, 2010. Disponível em: <[http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0009/128169/e94535.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf)>. Acesso em: 12 de out. de 2021.

\_\_\_\_\_. Publications. **WHO global air quality guidelines: Particulate matter ( $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$ ), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide**. World Health Organization, 2021. xxi, 267 p. p. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>>. Acesso em: 12 de out. de 2021.

XERES, F. C.; SILVA, A. C. da. Monitoramento da qualidade do ar no ambiente ocupacional dos estacionamentos abertos e fechados de dois shoppings centers em fortaleza-ce. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 21783–21799, 2021.

YNOUE, R. Y. et al. **Meteorologia: noções básicas**. [S.l.]: Oficina de Textos, 2017.

ZIDOUR, M. et al. Population response of the estuarine copepod eurytemora affinis to its bioaccumulation of trace metals. **Chemosphere**, Elsevier, v. 220, p. 505–513, 2019.

## ANEXO A – AUTORIZAÇÃO DE ESTUDO SEMA (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE)

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ  
Secretaria do Meio Ambiente - SEMA  
Coordenadoria de Biodiversidade - COBIO



### AUTORIZAÇÃO PARA PESQUISA

**Autorização Nº:** 26/2019

**Validade/Período:** 09 de outubro de 2019 a 09 de outubro de 2021

**Unidade de Conservação:** Parque Estadual Botânico do Ceará

**Atividade:** Pesquisa Científica

**Pesquisador:** Gardilene Monteiro da Silva

**CPF:** \_\_\_\_\_

**Local de Pesquisa:** Parque Estadual Botânico do Ceará

A Secretaria do Meio Ambiente - SEMA, com base na Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000, regulamentada pelo Decreto Federal nº 4.340, de 22 de agosto de 2002, na Resolução COEMA nº 22, de 03 de dezembro de 2015, alterada pela Resolução COEMA nº 10 de 01 de setembro de 2016, na Lei Estadual 14.950, de 27 de junho de 2011, no Decreto de Criação da Unidade de Conservação e seguindo as condicionantes listadas neste documento, emite Autorização para realização de Pesquisa Científica intitulada "Estudo da Quantificação de metais pesados no sistema muscular de caranguejos (*Ucides cordatus*), água, sedimentos e folhas de *Rhizophora mangle* oriundos do manguezal do rio Ceará", a ser desenvolvida no Parque Estadual Botânico do Ceará, com base no Parecer Técnico nº 224/2019 - Parque Estadual Botânico do Ceará.

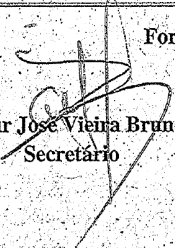
#### Condições Gerais

1. Esta Autorização Ambiental não dispensa outras Autorizações e Licenças Federais, Estaduais e Municipais, porventura exigíveis no processo de licenciamento;
2. Mediante decisão motivada, a SEMA poderá alterar as recomendações, as medidas de controle e adequação, bem como suspender ou cancelar esta autorização, caso ocorra:
  - a) Violação ou inadequação de quaisquer condicionantes ou normas legais;
  - b) Omissão ou falsa descrição de informações relevantes, que subsidiaram a expedição da presente autorização, e;
  - c) Superveniência de graves riscos ambientais e de saúde;
3. A SEMA deverá ser imediatamente comunicada em caso de ocorrência de acidentes que possam afetar a Unidade de Conservação;
4. O não cumprimento das disposições neste documento poderá acarretar seu cancelamento, estando ainda o solicitante sujeito às penalidades previstas na Legislação Ambiental vigente.

#### Condicionantes Específicas:

1. O interessado fica ciente que, após seu término, deverá disponibilizar resultado da pesquisa para a Gestão do Parque Estadual Botânico do Ceará.

Fortaleza-CE, 09 de outubro de 2019.

  
Artur José Vieira Bruno  
Secretário

## ANEXO B – TABELAS DE CONCENTRAÇÕES DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS ANALISADOS

Tabela 15 – Concentração de  $O_3$  - período chuvoso

| Pontos       | $O_3$ ( $\mu g/m^3$ ) |              |              |              |             |             |             |
|--------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
|              | <i>Dia 1</i>          | <i>Dia 2</i> | <i>Dia 3</i> | <i>Média</i> | <i>Desv</i> | <i>Vmáx</i> | <i>Vmín</i> |
| 1            | 34,64                 | 26,20        | 43,08        | 34,64        | 8,44        | 43,08       | 26,20       |
| 2            | 29,22                 | 16,54        | 6,06         | 17,27        | 11,60       | 29,22       | 6,06        |
| 3            | 26,24                 | 11,68        | 8,60         | 15,51        | 9,42        | 26,24       | 8,60        |
| 4            | 22,34                 | 13,92        | 17,92        | 18,06        | 4,21        | 22,34       | 13,92       |
| 5            | 17,36                 | 13,74        | 21,52        | 17,54        | 3,89        | 21,52       | 13,74       |
| 6            | 25,36                 | 15,24        | 23,62        | 21,41        | 5,41        | 25,36       | 15,24       |
| 7            | 25,82                 | 15,62        | 14,34        | 18,59        | 6,29        | 25,82       | 14,34       |
| 8            | 22,76                 | 13,66        | 17,00        | 17,81        | 4,60        | 22,76       | 13,66       |
| 9            | 22,36                 | 10,74        | 21,44        | 18,18        | 6,46        | 22,36       | 10,74       |
| 10           | 23,54                 | 11,86        | 27,82        | 21,07        | 8,26        | 27,82       | 11,86       |
| 11           | 26,82                 | 14,34        | 35,18        | 25,45        | 10,49       | 35,18       | 14,34       |
| 12           | 24,24                 | 17,38        | 35,60        | 25,74        | 9,20        | 35,60       | 17,38       |
| 13           | 24,68                 | 16,58        | 40,52        | 27,26        | 12,18       | 40,52       | 16,58       |
| 14           | 24,26                 | 15,64        | 38,24        | 26,05        | 11,41       | 38,24       | 15,64       |
| 15           | 31,98                 | 26,28        | 27,86        | 28,71        | 2,94        | 31,98       | 26,28       |
| 16           | 22,54                 | 20,48        | 27,48        | 23,50        | 3,60        | 27,48       | 20,48       |
| 17           | 20,56                 | 21,04        | 20,08        | 20,56        | 0,48        | 21,04       | 20,08       |
| 18           | 24,54                 | 17,86        | 19,90        | 20,77        | 3,42        | 24,54       | 17,86       |
| 19           | 26,50                 | 27,86        | 18,64        | 24,33        | 4,98        | 27,86       | 18,64       |
| 20           | 21,40                 | 65,50        | 16,76        | 34,55        | 26,90       | 65,50       | 16,76       |
| 21           | 25,36                 | 17,74        | 23,30        | 22,13        | 3,94        | 25,36       | 17,74       |
| <b>Total</b> |                       |              |              | <b>22,82</b> | <b>5,36</b> | <b>65,5</b> | <b>6,06</b> |

Concentração média de  $O_3$  em  $\mu g/m^3$  nos perímetros da APA do Estuário do Rio Ceará por dia de análise. Desv = Dêsvio padrão; Vmax = Valores máximos; Vmin = Valores mínimos.

Fonte – elaborado pela autora.

Tabela 16 – Concentração de  $MP_{2,5}$  - período chuvoso

| Pontos       | $MP_{2,5} (\mu g/m^3)$ |              |              |              |             |             |             |
|--------------|------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
|              | <i>Dia 1</i>           | <i>Dia 2</i> | <i>Dia 3</i> | <i>Média</i> | <i>Desv</i> | <i>Vmáx</i> | <i>Vmín</i> |
| 1            | 4,80                   | 5,20         | 1,20         | 3,73         | 2,20        | 5,20        | 1,20        |
| 2            | 1,60                   | 4,40         | 2,00         | 2,67         | 1,51        | 4,40        | 1,60        |
| 3            | 1,40                   | 1,80         | 2,60         | 1,93         | 0,61        | 2,60        | 1,40        |
| 4            | 2,00                   | 2,40         | 1,40         | 1,93         | 0,50        | 2,40        | 1,40        |
| 5            | 2,40                   | 3,80         | 1,60         | 2,60         | 1,11        | 3,80        | 1,60        |
| 6            | 2,20                   | 4,60         | 3,00         | 3,27         | 1,22        | 4,60        | 2,20        |
| 7            | 2,80                   | 4,00         | 1,20         | 2,67         | 1,40        | 4,00        | 1,20        |
| 8            | 2,60                   | 3,80         | 1,80         | 2,73         | 1,01        | 3,80        | 1,80        |
| 9            | 2,60                   | 3,00         | 1,20         | 2,27         | 0,95        | 3,00        | 1,20        |
| 10           | 1,80                   | 2,20         | 1,40         | 1,80         | 0,40        | 2,20        | 1,40        |
| 11           | 1,60                   | 3,60         | 1,80         | 2,33         | 1,10        | 3,60        | 1,60        |
| 12           | 1,20                   | 2,20         | 2,20         | 1,87         | 0,58        | 2,20        | 1,20        |
| 13           | 1,20                   | 2,40         | 1,60         | 1,73         | 0,61        | 2,40        | 1,20        |
| 14           | 1,40                   | 2,20         | 1,80         | 1,80         | 0,40        | 2,20        | 1,40        |
| 15           | 2,40                   | 1,60         | 1,00         | 1,67         | 0,70        | 2,40        | 1,00        |
| 16           | 1,60                   | 1,40         | 1,20         | 1,40         | 0,20        | 1,60        | 1,20        |
| 17           | 1,40                   | 6,20         | 1,20         | 2,93         | 2,83        | 6,20        | 1,20        |
| 18           | 0,80                   | 1,00         | 1,40         | 1,07         | 0,31        | 1,40        | 0,80        |
| 19           | 1,00                   | 3,00         | 1,20         | 1,73         | 1,10        | 3,00        | 1,00        |
| 20           | 2,20                   | 2,80         | 2,40         | 2,47         | 0,31        | 2,80        | 2,20        |
| 21           | 1,80                   | 1,00         | 1,40         | 1,40         | 0,40        | 1,80        | 1,00        |
| <b>Total</b> |                        |              |              | <b>2,19</b>  | <b>0,67</b> | <b>6,20</b> | <b>0,80</b> |

Concentração média de  $MP_{2,5}$  em  $\mu g/m^3$  nos perímetros da APA do Estuário do Rio Ceará por dia de análise. Desv = Dêsvio padrão; Vmax = Valores máximos; Vmin = Valores mínimos.

Fonte – elaborado pela autora.

Tabela 17 – Concentração de  $MP_{10}$  - período chuvoso

| Pontos       | $MP_{10} (\mu g/m^3)$ |              |              |              |             |             |             |
|--------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
|              | <i>Dia 1</i>          | <i>Dia 2</i> | <i>Dia 3</i> | <i>Média</i> | <i>Desv</i> | <i>Vmáx</i> | <i>Vmín</i> |
| 1            | 7,40                  | 8,00         | 1,60         | 5,67         | 3,53        | 8,00        | 1,60        |
| 2            | 2,40                  | 6,40         | 3,20         | 4,00         | 2,12        | 6,40        | 2,40        |
| 3            | 2,40                  | 3,60         | 3,80         | 3,27         | 0,76        | 3,80        | 2,40        |
| 4            | 3,20                  | 3,60         | 2,20         | 3,00         | 0,72        | 3,60        | 2,20        |
| 5            | 4,20                  | 6,40         | 2,60         | 4,40         | 1,91        | 6,40        | 2,60        |
| 6            | 4,00                  | 7,40         | 4,00         | 5,13         | 1,96        | 7,40        | 4,00        |
| 7            | 4,40                  | 6,20         | 1,80         | 4,13         | 2,21        | 6,20        | 1,80        |
| 8            | 4,20                  | 6,00         | 2,60         | 4,27         | 1,70        | 6,00        | 2,60        |
| 9            | 4,20                  | 5,20         | 1,80         | 3,73         | 1,75        | 5,20        | 1,80        |
| 10           | 3,00                  | 3,60         | 2,20         | 2,93         | 0,70        | 3,60        | 2,20        |
| 11           | 2,60                  | 5,00         | 3,20         | 3,60         | 1,25        | 5,00        | 2,60        |
| 12           | 2,20                  | 4,00         | 3,40         | 3,20         | 0,92        | 4,00        | 2,20        |
| 13           | 2,20                  | 3,80         | 2,60         | 2,87         | 0,83        | 3,80        | 2,20        |
| 14           | 2,40                  | 4,00         | 3,00         | 3,13         | 0,81        | 4,00        | 2,40        |
| 15           | 2,40                  | 2,60         | 1,60         | 2,20         | 0,53        | 2,60        | 1,60        |
| 16           | 1,60                  | 2,60         | 2,00         | 2,07         | 0,50        | 2,60        | 1,60        |
| 17           | 2,20                  | 9,40         | 1,40         | 4,33         | 4,41        | 9,40        | 1,40        |
| 18           | 1,20                  | 2,00         | 2,00         | 1,73         | 0,46        | 2,00        | 1,20        |
| 19           | 1,60                  | 4,40         | 1,60         | 2,53         | 1,62        | 4,40        | 1,60        |
| 20           | 1,80                  | 4,40         | 3,60         | 3,27         | 1,33        | 4,40        | 1,80        |
| 21           | 2,20                  | 1,80         | 2,60         | 2,20         | 0,40        | 2,60        | 1,80        |
| <b>Total</b> |                       |              |              | <b>3,41</b>  | <b>1,02</b> | <b>9,40</b> | <b>1,20</b> |

Concentração média de  $MP_{10}$  em  $\mu g/m^3$  nos perímetros da APA do Estuário do Rio Ceará por dia de análise. Desv = Dêsvio padrão; Vmax = Valores máximos; Vmin = Valores mínimos.

Fonte – elaborado pela autora.

Tabela 18 – Concentração de *HCHO* - período chuvoso

| Pontos       | <i>HCHO</i> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |              |              |              |              |              |             |
|--------------|------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
|              | <i>Dia 1</i>                             | <i>Dia 2</i> | <i>Dia 3</i> | <i>Média</i> | <i>Desv</i>  | <i>Vmáx</i>  | <i>Vmín</i> |
| 1            | 32,40                                    | 20,40        | 1,00         | 17,93        | 15,84        | 32,40        | 1,00        |
| 2            | 38,20                                    | 26,20        | 1,20         | 21,870       | 18,88        | 38,20        | 1,20        |
| 3            | 45,60                                    | 29,60        | 1,00         | 25,40        | 22,59        | 45,60        | 1,00        |
| 4            | 45,80                                    | 38,20        | 21,80        | 35,27        | 12,27        | 45,80        | 21,80       |
| 5            | 50,200                                   | 36,20        | 34,00        | 40,13        | 8,79         | 50,20        | 34,00       |
| 6            | 58,00                                    | 41,40        | 37,20        | 45,53        | 11,00        | 58,00        | 37,20       |
| 7            | 60,40                                    | 40,60        | 42,87        | 47,87        | 10,90        | 60,40        | 40,60       |
| 8            | 64,80                                    | 37,40        | 41,80        | 48,00        | 14,71        | 64,80        | 37,40       |
| 9            | 88,20                                    | 36,60        | 44,20        | 56,33        | 27,86        | 88,20        | 36,60       |
| 10           | 90,60                                    | 36,60        | 55,40        | 60,87        | 27,41        | 90,60        | 36,60       |
| 11           | 97,60                                    | 37,00        | 49,40        | 61,33        | 32,01        | 97,60        | 37,00       |
| 12           | 98,40                                    | 34,20        | 49,60        | 60,73        | 33,52        | 98,40        | 34,20       |
| 13           | 94,20                                    | 34,00        | 52,80        | 60,33        | 30,80        | 94,20        | 34,00       |
| 14           | 87,60                                    | 42,00        | 60,00        | 63,33        | 22,94        | 87,60        | 42,20       |
| 15           | 53,20                                    | 44,80        | 66,60        | 54,87        | 11,00        | 66,60        | 44,80       |
| 16           | 58,00                                    | 50,20        | 82,00        | 63,40        | 16,57        | 82,00        | 50,20       |
| 17           | 48,60                                    | 49,80        | 72,60        | 57,00        | 13,52        | 72,60        | 48,60       |
| 18           | 38,40                                    | 39,00        | 65,20        | 47,53        | 15,30        | 65,20        | 38,40       |
| 19           | 17,20                                    | 40,60        | 66,40        | 41,40        | 24,61        | 66,40        | 17,20       |
| 20           | 22,60                                    | 39,00        | 51,80        | 37,80        | 14,64        | 51,80        | 22,50       |
| 21           | 11,80                                    | 30,80        | 53,00        | 31,87        | 20,62        | 53,00        | 11,80       |
| <b>Total</b> |                                          |              |              | <b>46,61</b> | <b>14,18</b> | <b>98,40</b> | <b>1,00</b> |

Concentração média de *HCHO* em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nos perímetros da APA do Estuário do Rio Ceará por dia de análise. Desv = Desvio padrão; Vmax = Valores máximos; Vmin = Valores mínimos.

Fonte – elaborado pela autora.

Tabela 19 – Concentração de  $CO_2$  - período chuvoso

| Pontos       | $CO_2$ (ppm) |              |              |               |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
|              | <i>Dia 1</i> | <i>Dia 2</i> | <i>Dia 3</i> | <i>Média</i>  | <i>Desv</i>  | <i>Vmáx</i>  | <i>Vmín</i>  |
| 1            | 433          | 458          | 446          | 446           | 12           | 458          | 433          |
| 2            | 434          | 452          | 441          | 442           | 9            | 452          | 434          |
| 3            | 445          | 453          | 467          | 455           | 11           | 467          | 445          |
| 4            | 440          | 455          | 445          | 447           | 7            | 455          | 440          |
| 5            | 442          | 458          | 454          | 451           | 9            | 458          | 442          |
| 6            | 449          | 445          | 452          | 449           | 3            | 452          | 445          |
| 7            | 440          | 443          | 444          | 442           | 2            | 444          | 440          |
| 8            | 438          | 444          | 445          | 442           | 4            | 445          | 438          |
| 9            | 450          | 449          | 445          | 448           | 2            | 450          | 445          |
| 10           | 448          | 453          | 451          | 450           | 2            | 453          | 448          |
| 11           | 454          | 459          | 455          | 456           | 3            | 459          | 454          |
| 12           | 458          | 462          | 462          | 461           | 2            | 462          | 458          |
| 13           | 462          | 466          | 458          | 462           | 4            | 466          | 458          |
| 14           | 467          | 469          | 457          | 464           | 7            | 469          | 457          |
| 15           | 481          | 475          | 462          | 473           | 9            | 481          | 462          |
| 16           | 473          | 475          | 461          | 470           | 7            | 475          | 461          |
| 17           | 468          | 469          | 460          | 466           | 5            | 469          | 460          |
| 18           | 477          | 476          | 461          | 471           | 9            | 477          | 461          |
| 19           | 475          | 476          | 458          | 470           | 10           | 476          | 458          |
| 20           | 470          | 498          | 472          | 480           | 16           | 498          | 470          |
| 21           | 471          | 486          | 482          | 480           | 8            | 486          | 471          |
| <b>Total</b> |              |              |              | <b>458,30</b> | <b>12,33</b> | <b>497,8</b> | <b>437,8</b> |

Concentração média de  $CO_2$  em ppm nos perímetros da APA do Estuário do Rio Ceará por dia de análise. Desv = Desvio padrão; Vmax = Valores máximos; Vmin = Valores mínimos.

Fonte – elaborado pela autora.

Tabela 20 – Concentração de  $O_3$  - período seco

| Pontos       | $O_3$ ( $\mu g/m^3$ ) |              |              |              |              |              |             |
|--------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
|              | <i>Dia 1</i>          | <i>Dia 2</i> | <i>Dia 3</i> | <i>Média</i> | <i>Desv</i>  | <i>Vmáx</i>  | <i>Vmín</i> |
| 1            | 77,10                 | 35,90        | 75,74        | 62,91        | 23,40        | 77,10        | 35,90       |
| 2            | 36,12                 | 23,62        | 26,82        | 28,92        | 6,61         | 36,32        | 23,62       |
| 3            | 30,66                 | 25,96        | 23,48        | 26,70        | 3,65         | 30,66        | 23,48       |
| 4            | 29,56                 | 25,52        | 20,14        | 25,07        | 4,73         | 29,56        | 20,14       |
| 5            | 27,38                 | 20,82        | 18,02        | 22,07        | 4,80         | 27,38        | 18,02       |
| 6            | 44,66                 | 20,48        | 16,66        | 27,27        | 15,18        | 44,66        | 16,66       |
| 7            | 18,96                 | 18,18        | 24,94        | 20,69        | 3,70         | 24,94        | 18,18       |
| 8            | 17,00                 | 14,66        | 14,26        | 15,31        | 1,48         | 17,00        | 14,26       |
| 9            | 17,34                 | 12,06        | 12,82        | 14,07        | 2,85         | 17,34        | 12,06       |
| 10           | 15,12                 | 12,52        | 11,58        | 13,07        | 1,83         | 15,12        | 11,58       |
| 11           | 21,40                 | 9,98         | 10,68        | 14,02        | 6,40         | 21,40        | 9,98        |
| 12           | 13,66                 | 12,10        | 10,04        | 11,9         | 1,82         | 13,66        | 10,04       |
| 13           | 16,30                 | 10,48        | 9,74         | 12,17        | 3,59         | 16,30        | 9,74        |
| 14           | 13,88                 | 16,70        | 12,34        | 14,31        | 2,21         | 16,70        | 12,34       |
| 15           | 14,20                 | 19,22        | 16,00        | 16,47        | 2,54         | 19,22        | 14,20       |
| 16           | 14,68                 | 10,96        | 10,08        | 11,91        | 2,44         | 14,68        | 10,08       |
| 17           | 15,58                 | 8,90         | 9,76         | 11,41        | 3,63         | 15,58        | 8,90        |
| 18           | 10,56                 | 8,28         | 8,50         | 9,11         | 1,26         | 10,56        | 8,28        |
| 19           | 11,74                 | 8,10         | 8,14         | 9,33         | 2,09         | 11,74        | 8,10        |
| 20           | 11,78                 | 10,22        | 13,70        | 11,90        | 1,74         | 13,70        | 10,22       |
| 21           | 8,80                  | 9,78         | 11,48        | 10,02        | 1,36         | 11,48        | 8,80        |
| <b>Total</b> |                       |              |              | <b>18,51</b> | <b>11,94</b> | <b>77,10</b> | <b>8,10</b> |

Concentração média de  $O_3$  em  $\mu g/m^3$  nos perímetros da APA do Estuário do Rio Ceará por dia de análise. Desv = Desvio padrão; Vmax = Valores máximos; Vmin = Valores mínimos.

Fonte – elaborado pela autora.

Tabela 21 – Concentração de  $MP_{2.5}$  - período seco

| Pontos       | $MP_{2.5} (\mu g/m^3)$ |              |              |              |              |               |             |
|--------------|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------------|
|              | <i>Dia 1</i>           | <i>Dia 2</i> | <i>Dia 3</i> | <i>Média</i> | <i>Desv</i>  | <i>Vmáx</i>   | <i>Vmín</i> |
| 1            | 44,40                  | 10,60        | 14,20        | 23,07        | 18,56        | 44,40         | 10,60       |
| 2            | 8,80                   | 3,00         | 7,80         | 6,53         | 3,10         | 8,80          | 3,00        |
| 3            | 7,00                   | 6,60         | 10,80        | 8,13         | 2,32         | 10,80         | 6,60        |
| 4            | 9,20                   | 5,40         | 7,20         | 7,27         | 1,90         | 9,20          | 5,40        |
| 5            | 14,20                  | 4,00         | 147,80       | 55,33        | 80,24        | 147,80        | 4,00        |
| 6            | 16,40                  | 20,80        | 17,40        | 18,20        | 2,31         | 20,80         | 16,40       |
| 7            | 6,00                   | 1,20         | 16,80        | 8,00         | 7,99         | 16,80         | 1,20        |
| 8            | 5,60                   | 1,60         | 6,60         | 4,60         | 2,65         | 6,60          | 1,60        |
| 9            | 4,20                   | 1,20         | 5,80         | 3,73         | 2,34         | 5,80          | 1,20        |
| 10           | 3,80                   | 1,40         | 3,00         | 2,73         | 1,22         | 3,80          | 1,40        |
| 11           | 3,80                   | 1,40         | 3,40         | 2,87         | 1,29         | 3,80          | 1,40        |
| 12           | 3,60                   | 1,60         | 3,20         | 2,80         | 1,06         | 3,60          | 1,60        |
| 13           | 3,40                   | 1,20         | 4,00         | 2,87         | 1,47         | 4,00          | 1,20        |
| 14           | 3,80                   | 2,60         | 5,40         | 3,93         | 1,40         | 5,40          | 2,60        |
| 15           | 2,60                   | 3,20         | 14,80        | 6,87         | 6,88         | 14,80         | 2,60        |
| 16           | 3,40                   | 2,00         | 4,40         | 3,27         | 1,21         | 4,40          | 2,00        |
| 17           | 5,20                   | 2,40         | 2,00         | 3,20         | 1,74         | 5,20          | 2,00        |
| 18           | 15,20                  | 2,00         | 3,00         | 6,73         | 7,35         | 15,20         | 2,00        |
| 19           | 4,20                   | 3,00         | 3,00         | 3,40         | 0,69         | 4,20          | 3,00        |
| 20           | 4,40                   | 2,60         | 1,80         | 2,93         | 1,33         | 4,40          | 1,80        |
| 21           | 5,40                   | 3,60         | 2,20         | 3,73         | 1,60         | 5,40          | 2,20        |
| <b>Total</b> |                        |              |              | <b>8,58</b>  | <b>11,90</b> | <b>147,80</b> | <b>1,20</b> |

Concentração média de  $MP_{2.5}$  em  $\mu g/m^3$  nos perímetros da APA do Estuário do Rio Ceará por dia de análise. Desv = Desvio padrão; Vmax = Valores máximos; Vmin = Valores mínimos.

Fonte – elaborado pela autora.

Tabela 22 – Concentração de  $MP_{10}$  - período seco

| Pontos       | $MP_{10}$ ( $\mu g/m^3$ ) |              |              |              |              |               |             |
|--------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------------|
|              | <i>Dia 1</i>              | <i>Dia 2</i> | <i>Dia 3</i> | <i>Média</i> | <i>Desv</i>  | <i>Vmáx</i>   | <i>Vmín</i> |
| 1            | 63,80                     | 16,00        | 20,80        | 33,53        | 26,32        | 63,80         | 16,00       |
| 2            | 13,40                     | 4,60         | 12,80        | 10,27        | 4,92         | 13,40         | 4,60        |
| 3            | 10,60                     | 10,60        | 17,00        | 12,73        | 3,70         | 17,00         | 10,60       |
| 4            | 14,00                     | 8,40         | 10,60        | 11,00        | 2,82         | 14,00         | 8,40        |
| 5            | 21,40                     | 6,00         | 209,60       | 79,00        | 113,36       | 209,60        | 6,00        |
| 6            | 24,80                     | 30,20        | 27,00        | 27,33        | 2,72         | 30,20         | 24,80       |
| 7            | 9,60                      | 2,20         | 24,2         | 12,00        | 11,19        | 24,20         | 2,20        |
| 8            | 9,40                      | 2,80         | 10,060       | 7,60         | 4,20         | 10,60         | 2,80        |
| 9            | 7,20                      | 2,60         | 9,40         | 6,40         | 3,47         | 9,40          | 2,60        |
| 10           | 5,80                      | 2,60         | 4,00         | 4,13         | 1,60         | 5,80          | 2,60        |
| 11           | 6,40                      | 2,40         | 4,80         | 4,53         | 2,01         | 6,40          | 2,40        |
| 12           | 5,40                      | 2,40         | 5,00         | 4,27         | 1,63         | 5,40          | 2,40        |
| 13           | 5,20                      | 2,20         | 6,60         | 4,67         | 2,25         | 6,60          | 2,20        |
| 14           | 5,40                      | 4,60         | 9,20         | 6,40         | 2,46         | 9,20          | 4,60        |
| 15           | 4,40                      | 4,60         | 21,60        | 10,20        | 9,87         | 21,60         | 4,40        |
| 16           | 5,40                      | 3,20         | 7,00         | 5,20         | 1,91         | 7,00          | 3,20        |
| 17           | 8,20                      | 3,60         | 3,20         | 5,00         | 2,78         | 8,20          | 3,20        |
| 18           | 21,40                     | 4,00         | 4,60         | 10,00        | 9,88         | 21,40         | 4,00        |
| 19           | 7,00                      | 4,20         | 4,60         | 5,27         | 1,51         | 7,00          | 4,20        |
| 20           | 7,20                      | 4,00         | 3,20         | 4,80         | 2,12         | 7,20          | 3,20        |
| 21           | 8,60                      | 5,20         | 3,6          | 5,80         | 2,55         | 8,60          | 3,60        |
| <b>Total</b> |                           |              |              | <b>12,86</b> | <b>16,92</b> | <b>209,60</b> | <b>2,20</b> |

Concentração média de  $MP_{10}$  em  $\mu g/m^3$  nos perímetros da APA do Estuário do Rio Ceará por dia de análise. Desv = Desvio padrão; Vmax = Valores máximos; Vmin = Valores mínimos.

Fonte – elaborado pela autora.

Tabela 23 – Concentração de *HCHO* - período seco

| Pontos       | <i>HCHO</i> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |              |              |              |              |              |             |
|--------------|------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
|              | <i>Dia 1</i>                             | <i>Dia 2</i> | <i>Dia 3</i> | <i>Média</i> | <i>Desv</i>  | <i>Vmáx</i>  | <i>Vmín</i> |
| 1            | 1,20                                     | 1,40         | 29,8         | 10,80        | 16,45        | 29,80        | 1,20        |
| 2            | 26,60                                    | 1,20         | 30,60        | 19,47        | 15,95        | 30,60        | 1,20        |
| 3            | 39,60                                    | 15,40        | 29,20        | 28,07        | 12,14        | 39,60        | 15,40       |
| 4            | 43,00                                    | 35,40        | 31,20        | 36,53        | 5,98         | 43,00        | 31,20       |
| 5            | 47,20                                    | 39,60        | 46,80        | 44,53        | 4,28         | 47,00        | 39,60       |
| 6            | 42,20                                    | 34,00        | 25,60        | 33,93        | 8,30         | 42,20        | 25,60       |
| 7            | 43,60                                    | 40,40        | 40,20        | 41,40        | 1,91         | 43,60        | 40,20       |
| 8            | 44,80                                    | 39,20        | 28,00        | 37,33        | 8,55         | 44,80        | 28,00       |
| 9            | 26,00                                    | 36,40        | 25,20        | 29,20        | 6,25         | 36,40        | 25,20       |
| 10           | 14,60                                    | 36,00        | 32,00        | 27,53        | 11,38        | 36,00        | 14,60       |
| 11           | 3,60                                     | 37,60        | 29,40        | 23,53        | 17,74        | 37,60        | 3,60        |
| 12           | 1,00                                     | 37,80        | 33,40        | 24,07        | 20,10        | 37,80        | 1,00        |
| 13           | 1,00                                     | 37,20        | 31,20        | 23,13        | 19,40        | 37,20        | 1,00        |
| 14           | 1,00                                     | 32,20        | 26,20        | 19,80        | 16,56        | 32,20        | 1,00        |
| 15           | 1,20                                     | 24,40        | 30,20        | 18,60        | 15,35        | 30,20        | 1,20        |
| 16           | 3,00                                     | 26,20        | 32,80        | 20,67        | 15,65        | 32,80        | 3,00        |
| 17           | 1,20                                     | 12,80        | 18,40        | 10,80        | 8,77         | 18,40        | 1,20        |
| 18           | 1,00                                     | 6,60         | 12,80        | 6,80         | 5,90         | 12,80        | 1,00        |
| 19           | 1,80                                     | 5,00         | 13,80        | 6,87         | 6,21         | 13,80        | 1,80        |
| 20           | 1,20                                     | 2,40         | 8,80         | 4,13         | 4,09         | 8,80         | 1,20        |
| 21           | 1,00                                     | 1,00         | 15,60        | 5,87         | 8,43         | 15,60        | 1,00        |
| <b>Total</b> |                                          |              |              | <b>26,74</b> | <b>20,34</b> | <b>47,20</b> | <b>1,00</b> |

Concentração média de *HCHO* em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nos perímetros da APA do Estuário do Rio Ceará por dia de análise. Desv = Desvio padrão; Vmax = Valores máximos; Vmin = Valores mínimos.

Fonte – elaborado pela autora.

Tabela 24 – Concentração de  $CO_2$  - período seco

| Pontos       | $CO_2$ (ppm) |              |              |               |              |              |             |
|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|-------------|
|              | <i>Dia 1</i> | <i>Dia 2</i> | <i>Dia 3</i> | <i>Média</i>  | <i>Desv</i>  | <i>Vmáx</i>  | <i>Vmín</i> |
| 1            | 425          | 454          | 423          | 434           | 18           | 434          | 423         |
| 2            | 430          | 428          | 429          | 429           | 1            | 430          | 428         |
| 3            | 435          | 4300         | 434          | 433           | 3            | 435          | 430         |
| 4            | 441          | 433          | 436          | 437           | 4            | 4410         | 443         |
| 5            | 447          | 433          | 433          | 438           | 9            | 447          | 433         |
| 6            | 442          | 430          | 429          | 434           | 7            | 442          | 429         |
| 7            | 439          | 434          | 442          | 438           | 4            | 442          | 434         |
| 8            | 449          | 439          | 441          | 443           | 5            | 449          | 439         |
| 9            | 448          | 442          | 446          | 445           | 3            | 448          | 442         |
| 10           | 450          | 440          | 442          | 444           | 5            | 450          | 440         |
| 11           | 445          | 443          | 443          | 447           | 7            | 455          | 443         |
| 12           | 455          | 444          | 442          | 447           | 7            | 455          | 442         |
| 13           | 455          | 454          | 442          | 450           | 7            | 455          | 442         |
| 14           | 452          | 451          | 444          | 449           | 4            | 452          | 444         |
| 15           | 450          | 449          | 445          | 448           | 3            | 450          | 445         |
| 16           | 452          | 450          | 437          | 446           | 8            | 452          | 437         |
| 17           | 454          | 453          | 443          | 450           | 6            | 454          | 443         |
| 18           | 458          | 464          | 444          | 455           | 10           | 464          | 444         |
| 19           | 448          | 462          | 444          | 451           | 9            | 462          | 4440        |
| 20           | 443          | 465          | 448          | 452           | 11           | 465          | 443         |
| 21           | 447          | 459          | 460          | 455           | 7            | 460          | 447         |
| <b>Total</b> |              |              |              | <b>455,42</b> | <b>50,05</b> | <b>464,6</b> | <b>429</b>  |

Concentração média de  $CO_2$  em ppm nos perímetros da APA do Estuário do Rio Ceará por dia de análise. Desv = Desvio padrão; Vmax = Valores máximos; Vmin = Valores mínimos.

Fonte – elaborado pela autora.