



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO - PPGESA

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DA QUALIDADE DO AR EM UM MUNICÍPIO AMAZÔNICO DO ESTADO DO PARÁ

DISCENTE: ENG(A).ABIMAE L SILVA DO ROSÁRIO

ORIENTADOR(A): PROF.DR. NEYSON MARTINS MENDONÇA

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

BELÉM (2025)





ABIMAEI SILVA DO ROSÁRIO

PTT (produto bibliográfico) apresentado ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental (PPGESA) – mestrado profissional da Universidade Federal do Pará como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de mestre em engenharia sanitária e ambiental.

Data da avaliação: 21/02/2025.

Examinada por:

Professor Doutor Neyson Martins Mendonça
(PPGESA/ITEC/UFPA - Orientador)

Professor Doutor Lindemberg Lima Fernandes
(PPGESA/ITEC/UFPA - Membro)

Engº. MSc. Bruno José Cunha.
(Mineração Paragominas/HYDRO - Membro)

BELÉM
2025

Resumo

Este estudo avaliou a qualidade do ar em Barcarena, Pará, durante o ano de 2023, com foco no monitoramento das concentrações de material particulado (MP2.5, MP10 e PTS) em dois pontos distintos (P01 e P02) localizados próximos a um polo industrial com atividades de beneficiamento e embarque de minério, armazenamento e ensacamento de fertilizantes agrícolas, além de porto de embarque de grãos. A escolha desses pontos se deu por sua localização estratégica na área de influência de diversos empreendimentos, considerando também a direção predominante dos ventos na região. As coletas foram realizadas por meio de Amostradores de Grande Volume (AGV), com duração de 24 horas, seguindo as diretrizes do Guia Técnico de Qualidade do Ar e da Resolução CONAMA nº 491/2018. Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística descritiva e multivariada, utilizando o software Minitab Statistical, para determinar as concentrações de MP2.5, MP10 e PTS e calcular o Índice de Qualidade do Ar (IQAr). Os resultados demonstraram que as concentrações de MP2.5, MP10 e PTS estavam em conformidade com os padrões intermediários (PI-1) estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018, bem como com os limites mais restritivos da Resolução CONAMA nº 506/2024. O IQAr calculado para MP2.5 e MP10 foi classificado como "N1 - Boa" durante todo o período de estudo, indicando a ausência de efeitos nocivos à saúde humana. Adicionalmente, o estudo realizou uma análise de custos de campanhas de monitoramento da qualidade do ar, considerando insumos, mão de obra e equipamentos, utilizando o software ORÇAFASCIO para elaboração do orçamento. Este estudo contribui para o monitoramento da qualidade do ar em áreas com intensa atividade industrial, fornecendo dados relevantes para a gestão ambiental e a saúde pública. Adicionalmente, a análise de custos realizada no estudo oferece informações importantes para o planejamento e a tomada de decisão em projetos similares.

Palavras-chave: Poluição atmosférica; Material particulado; Monitoramento da qualidade do ar; Barcarena; Índice de Qualidade do Ar; Custos de monitoramento; Análise estatística; Resolução CONAMA nº 491/2018; Resolução CONAMA nº 506/2024.

Abstract

This study evaluated the air quality in Barcarena, Pará, Brazil, throughout 2023, focusing on monitoring particulate matter concentrations (PM_{2.5}, PM₁₀, and TSP) at two points (P01 and P02) near an industrial complex with activities such as ore beneficiation and shipment, agricultural fertilizer storage and bagging, and grain shipment. These points were strategically chosen due to their location within the influence zone of various enterprises and the prevailing wind direction in the region. Samples were collected using High-Volume Samplers (HVS) over 24-hour periods, following guidelines from the Air Quality Technical Guide and CONAMA Resolution No. 491/2018. Collected data underwent descriptive and multivariate statistical analysis using Minitab Statistical software to determine PM_{2.5}, PM₁₀, and TSP concentrations and calculate the Air Quality Index (AQI). Results showed PM_{2.5}, PM₁₀, and TSP concentrations complied with the intermediate standards (PI-1) of CONAMA Resolution No. 491/2018 and the stricter limits of CONAMA Resolution No. 506/2024. The AQI for PM_{2.5} and PM₁₀ was classified as "N1 - Good" throughout the study period, indicating no harmful effects on human health. Additionally, the study conducted a cost analysis of air quality monitoring campaigns, considering supplies, labor, and equipment, using ORÇAFASCIO software for budget development. This study contributes to air quality monitoring in areas with intense industrial activity, providing relevant data for environmental management and public health. Furthermore, the cost analysis offers valuable insights for planning and decision-making in similar projects.

Keywords: air pollution; particulate matter; air quality monitoring; Barcarena; Air Quality Index; monitoring costs; statistical analysis; CONAMA Resolution No. 491/2018; CONAMA Resolution No. 506/2024.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Infográfico da linha do tempo da legislação brasileira sobre a qualidade do ar entre os períodos de 1989 a 2024	10
Figura 2 – Mapa de localização e distribuição dos ventos nos pontos de qualidade do ar	19
Figura 3 – Amostradores de Grande Volume com Controladores Volumétricos de Vazão (AGV-CVV).....	24
Figura 4 – Amostradores da qualidade do ar - P01 em campo no distrito de Vila do Conde em Barcarena/PA.	25
Figura 5 – Amostradores da qualidade do ar - P02 em campo no distrito de Vila do Conde em Barcarena/PA.	26
Figura 6 – Amostrador de grande volume para partículas totais em suspensão	27
Figura 7 – Avaliação da qualidade do ar com variável MP _{2,5} nos dois pontos de coletas e em diferentes períodos no distrito de Vila do Conde em Barcarena/PA em comparação com o padrão estabelecido pelo CONAMA.....	34
Figura 8 – Avaliação da qualidade do ar com variável MP ₁₀ nos dois pontos de coletas e em diferentes períodos no distrito de Vila do Conde em Barcarena/PA em comparação com o padrão estabelecido pelo CONAMA.....	34
Figura 9 – Avaliação da qualidade do ar com variável PTS nos dois pontos de coletas e em diferentes períodos no distrito de Vila do Conde em Barcarena/PA em comparação com o padrão estabelecido pelo CONAMA.....	35
Figura 10 – Mapa de localização e distância dos pontos de amostragem do P01, P02 e do ponto de coleta do programa VigiAr	36
Figura 11 – Análise fatorial dos parâmetros de qualidade do ar (MP _{2,5} , MP ₁₀ e PPTS) dos pontos de amostragem (P01 e P02) do Distrito de Vila do Conde em Barcarena/PA	40
Figura 12 – Dendrograma dos resultados de parâmetros de qualidade do ar obtidos nos pontos de amostragem no Distrito de Vila do Conde em Barcarena/PA	41
Figura 13 – Interface do software Orçafascio demonstrando o custo para realização de uma campanha de monitoramento da qualidade do ar.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características e microlocalização de estações de monitoramento da qualidade do ar.....	25
Tabela 2 – Classificação do índice de qualidade do ar.....	28
Tabela 3 – Relação entre valor de Índice de Qualidade do Ar (IQAR) e possíveis efeitos à saúde	28
Tabela 4 – Detalhamento da mão de obra necessária para o desenvolvimento do monitoramento da qualidade do ar.....	30
Tabela 5 – Resultados da avaliação da qualidade do ar.	33
Tabela 6 – Resultados de valores médios de MP2,5 obtidos nesse trabalho em comparação com os valores médios divulgados do programa VigiAr.....	35
Tabela 7 – Resultados obtidos do índice de qualidade do ar nos pontos de amostragem no Distrito de Vila do Conde em Barcarena/PA	37
Tabela 8 – Resultados de variações climáticas no Distrito de Vila do Conde em Barcarena/PA.	38
Tabela 9 – Resultados obtidos do tratamento estatístico dos valores coletados em campo no Distrito de Vila do Conde em Barcarena/PA.	39
Tabela 10 – Investimento para execução do projeto de avaliação da qualidade do ar.	43



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
2 OBJETIVO.....	11
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
4 METODOLOGIA.....	18
4.1 Descrição da área	19
4.2 Descrição das etapas para monitoramento da qualidade do ar.....	21
4.2.1 Planejamento do programa de amostragem	21
4.2.2 Projeto e instalação do sistema de medição.....	22
4.2.3 Coletas complementares.....	28
4.2.4 Tratamento dos dados e análise estatística.....	29
4.3 Análise de custo de campanhas de monitoramento da qualidade do ar. ...	30
4.3.1 Identificação de insumos.....	30
4.3.2 Mão de obra.	30
4.3.3 Equipamentos.	31
4.3.4 Custo de análise.....	31
5 RESULTADOS	33
5.1 Avaliação da qualidade do ar.....	33
5.2 IQAr	36
5.3 Avaliação estatística dos resultados	37
5.4 Retorno Sobre Investimento (ROI).....	41
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

No ano de 2022, a Organização Mundial da Saúde (OMS) divulgou, em sua sede localizada em Genebra (Suíça), que 99% da população do mundo respira níveis insalubres de material particulado fino. Devido a isso muitas doenças, como câncer de pulmão, asma, outras doenças respiratórias crônicas e até infartos, estão relacionadas à exposição ao ar tóxico.

Barcarena é um município pertencente ao Estado do Pará, situado no bioma Amazônia e banhado pela baía do Guajará, detentor de uma área territorial de 1.310,338 km² (IBGE, 2024). Integrando recentemente a Região Metropolitana de Belém (RMB) em abril de 2023 (Lei Complementar n 164, de 05 de abril de 2023), com uma população de 126.650 habitantes no censo 2022 do IBGE.

Neste município amazônico está situado um importante polo industrial, onde estão empresas que realizam o beneficiamento e exportação de caulim, alumina e alumínio, além da fabricação de cabos para transmissão de energia elétrica entre outras atividades. Num espaço de 3.000 ha estão distribuídas cerca de 93 empresas, onde está localizado também o maior porto do Estado do Pará, o Porto de Vila do Conde (SEDEME, 2019; CODEC, 2023).

A intensificação das atividades antrópicas tem provocado alterações significativas nos sistemas ambientais, comprometendo o equilíbrio ecológico e os recursos naturais. Entre os principais impactos observados destacam-se a contaminação dos corpos hídricos por efluentes industriais, domésticos e agrícolas, a degradação física e química dos solos devido ao uso inadequado e práticas insustentáveis de manejo, a perda de biodiversidade causada pela fragmentação e destruição de habitats, bem como o desmatamento associado à expansão urbana e agrícola. Esses fatores contribuem para a degradação ambiental e a redução da resiliência dos ecossistemas (MACHADO et al., 2017).

No município de Barcarena, no estado do Pará, os problemas ambientais são amplificados devido à presença de atividades industriais de grande porte, como a mineração e o beneficiamento de alumínio e caulim, que contribuem para a geração de resíduos sólidos e líquidos potencialmente perigosos. A contaminação de recursos hídricos por metais pesados, como alumínio e chumbo, é uma preocupação constante, afetando tanto os ecossistemas locais quanto as comunidades humanas que dependem desses recursos para subsistência. Além disso, o desmatamento

associado à expansão industrial e as emissões atmosféricas oriundas dos processos produtivos têm agravado os desequilíbrios ambientais na região (MIRANDA; SANTOS; COSTA, 2020).

Adicionalmente, a emissão de poluentes atmosféricos, incluindo materiais particulados, óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs), contribui para o agravamento de problemas de saúde pública, como doenças respiratórias e cardiovasculares, especialmente em populações expostas a concentrações acima dos limites estabelecidos pelas normas ambientais vigentes. No caso de Barcarena, as comunidades ribeirinhas e urbanas próximas às zonas industriais estão particularmente vulneráveis a esses efeitos.

Os impactos dessas pressões antropogênicas não se limitam a danos isolados, mas incluem interações complexas entre os sistemas ambientais, resultando em processos de retroalimentação negativa que agravam os cenários de degradação.

Nesse contexto, é imprescindível a implementação de medidas de gestão ambiental específicas para a realidade de Barcarena, como o controle rigoroso e monitoramento de poluentes industriais, a recuperação de áreas degradadas, a adoção de tecnologias limpas nos processos produtivos e o fortalecimento da fiscalização ambiental. Paralelamente, é essencial promover programas de educação ambiental e diálogo com as comunidades locais, visando mitigar os impactos e garantir o uso sustentável dos recursos naturais da região.

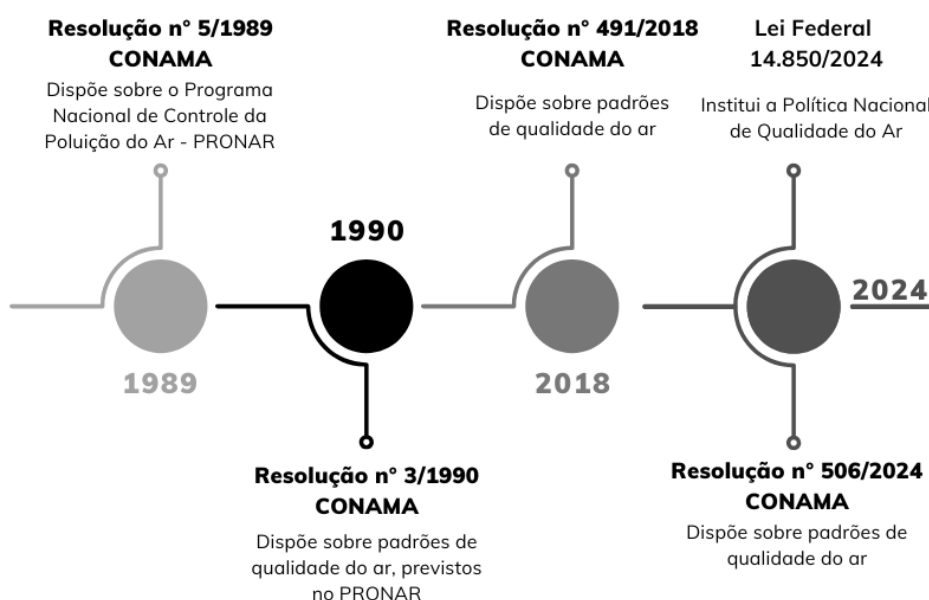
De acordo com o Farias (2023), a poluição atmosférica proveniente do polo industrial de Barcarena compromete a qualidade do ar, contamina culturas agrícolas, provoca chuvas ácidas, e polui lençóis freáticos, resultando em doenças respiratórias na comunidade. Esses agentes degradantes impactam a vida terrestre e aquática, além de prejudicar a saúde humana.

O material particulado, especialmente o $\text{MP}_{2,5}$ que corresponde ao diâmetro aerodinâmico menor ou igual a $2,5 \mu\text{m}$, é capaz de penetrar profundamente nos pulmões e entrar na corrente sanguínea, causando impactos cardiovasculares, cerebrovasculares (AVC) e respiratórios. Há evidências emergentes de que o material particulado afeta outros órgãos e causa outras doenças (OPAS, 2022). Enquanto o MP_{10} que são partículas inaláveis em suspensão cujo diâmetro aerodinâmico é menor que $10 \mu\text{m}$, de acordo com a CETESB (2024), pode atingir os alvéolos pulmonares, o que poderá ocasionar problemas respiratórios no ser humano.

Há ainda as Partículas Totais em Suspensão (PTS) que são definidas como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 50 μm . Uma parte dessas partículas é inalável e pode causar problemas à saúde, outra parte pode afetar desfavoravelmente a qualidade de vida da população, interferindo nas condições estéticas do ambiente e prejudicando as atividades normais da comunidade (CETESB, 2022).

No que se refere a legislação brasileira, a mesma tem caminhado a passos largos sobre a gestão da qualidade do ar, conforme observado na linha do tempo apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Infográfico da linha do tempo da legislação brasileira sobre a qualidade do ar entre os períodos de 1989 a 2024



Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante do contexto supramencionado, este trabalho busca avaliar os parâmetros da qualidade do ar em um município amazônico no estado do Pará a partir do monitoramento da concentração dos parâmetros como Material Particulado $\text{PM}_{2,5}$ ($\text{PM}_{2,5}$), Material Particulado PM_{10} (PM_{10}) e Partículas Totais em Suspensão (PTS).



2 OBJETIVO

Avaliar a qualidade do ar a partir do monitoramento dos padrões de qualidade do ar denominados Partículas Totais em Suspensão (PTS), Material Particulado – MP_{10} (MP_{10}) e Material Particulado – $MP_{2,5}$ ($MP_{2,5}$), de acordo com as diretrizes previstas na Resolução nº 491/2018 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), no ano de 2023.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A avaliação da qualidade do ar tem sido um tema amplamente abordado nas últimas décadas, dado seu impacto direto na saúde humana e no ambiente. De acordo com a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS) e a Organização Mundial da Saúde (OMS) (2022), o monitoramento de partículas finas, como MP_{2,5} (partículas com diâmetro aerodinâmico de até 2,5 micrômetros) e MP₁₀ (partículas com diâmetro de até 10 micrômetros), tem se expandido consideravelmente nos últimos anos. A pesquisa realizada pela OPAS/ONU (2022) revelou que, em 2022, houve um aumento significativo no número de cidades e assentamentos humanos com registros de monitoramento ambiental dessas partículas. Em comparação com 2011, cerca de 2.000 novos locais passaram a registrar dados de qualidade do ar, refletindo o crescente interesse e a necessidade de monitoramento ambiental global.

Estudos como os de Silva et al. (2021) corroboram com os achados da OPAS/OMS, ressaltando que a poluição do ar tem impactos profundos na saúde pública, principalmente devido à inalação dessas partículas finas. As partículas de MP_{2,5} e MP₁₀ são pequenas o suficiente para penetrar nas vias respiratórias mais profundas, podendo causar ou agravar doenças respiratórias, cardiovasculares, além de afetar órgãos como os rins e o cérebro. A OMS (2022) identificou que a exposição crônica a esses poluentes pode aumentar o risco de doenças como o câncer de pulmão, hipertensão e doenças cardíacas, configurando uma ameaça crescente, especialmente em áreas urbanas densamente povoadas.

No contexto brasileiro, o estudo de Belo e Tofoli (2011) avaliou a qualidade do ar em Vitória/ES, com um enfoque específico na concentração de MP_{2,5}. A pesquisa foi conduzida durante dois meses, com a amostragem de 39 dias, sendo que em 5 desses dias os níveis de MP_{2,5} ultrapassaram os padrões estabelecidos pela legislação ambiental brasileira. No entanto, os autores apontam uma limitação importante no estudo, que foi a ausência de uma análise sazonal, o que poderia ter fornecido uma visão mais abrangente da variação da qualidade do ar ao longo do ano. A sazonalidade, de fato, é um fator que pode influenciar significativamente a concentração de poluentes, como observam Santos et al. (2017), ao destacarem que as condições meteorológicas, como a temperatura e a umidade relativa, podem afetar as concentrações de partículas no ar.

Em Volta Redonda, RJ, um estudo realizado por Oliveira et al. (2020) mediu a concentração de MP10, encontrando uma média diária de 29,45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que está abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491/2018. Este estudo é relevante, pois demonstra como as cidades brasileiras apresentam diferentes padrões de qualidade do ar, influenciados por suas características geográficas, industriais e climáticas. O controle rigoroso da qualidade do ar é fundamental para assegurar a conformidade com os limites estabelecidos pelos órgãos ambientais, a fim de proteger a saúde das populações expostas.

O parâmetro de Material Particulado Total Suspenso (PTS) foi avaliado em Paranaguá/PR por Souza et al. (2020), cujos resultados ficaram dentro dos limites previstos na Resolução CONAMA nº 491/2018, mais especificamente no Padrão PI-1, durante um período de 12 meses. A conformidade com esses padrões sugere que a cidade mantém níveis de poluição atmosférica dentro dos parâmetros aceitáveis pela legislação, refletindo o sucesso de políticas públicas voltadas ao controle da emissão de poluentes e à promoção de um ambiente saudável.

Além disso, a utilização de técnicas estatísticas, como a Análise de Componentes Principais (ACP), tem se mostrado eficaz na análise de dados de qualidade do ar, como evidenciado pelo estudo de Santos, Reboita e Carvalho (2018). No estado de São Paulo, os pesquisadores aplicaram a ACP para identificar padrões nas concentrações de MP10 em relação a variáveis climáticas, como a umidade relativa do ar. A conclusão do estudo indicou que, quanto maior a umidade, menor seria a concentração de MP10, o que sugere uma relação inversa entre essas variáveis. Esse tipo de análise é crucial para entender como fatores climáticos interagem com os poluentes atmosféricos e como isso pode influenciar as políticas de controle da qualidade do ar.

Estudos como os mencionados demonstram que a qualidade do ar não é influenciada apenas pelas emissões de poluentes, mas também por variáveis ambientais e climáticas. Além disso, a crescente implementação de sistemas de monitoramento e a análise de grandes volumes de dados têm permitido um acompanhamento mais preciso da evolução da poluição atmosférica, facilitando a implementação de estratégias de mitigação mais eficientes.

A importância do monitoramento e da gestão da qualidade do ar também é destacada por Pereira e Rodrigues (2020), que enfatizam a necessidade de integrar

as informações de monitoramento com as políticas públicas de saúde e de controle ambiental. A implementação de sistemas de monitoramento de qualidade do ar, aliados a estratégias de educação ambiental e conscientização pública, são passos essenciais para a promoção de cidades mais saudáveis e sustentáveis.

3.1. Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar

As estações de monitoramento da qualidade do ar são fundamentais para a coleta de dados ambientais e fornecem informações essenciais para a gestão e controle da poluição atmosférica. Elas são responsáveis por medir os níveis de poluentes no ar e permitir o acompanhamento contínuo da qualidade do ambiente em diferentes locais. Segundo o Guia Técnico para Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar (MMA, 2011), as estações podem ser operadas tanto por órgãos governamentais quanto por entidades privadas, sendo uma das principais ferramentas para a formulação de políticas públicas de saúde e ambientais.

As principais variáveis monitoradas nas estações de qualidade do ar incluem:

- Material Particulado (MP10 e MP2,5): Partículas finas suspensas no ar que são prejudiciais à saúde, especialmente no sistema respiratório.
- Ozônio (O_3): Um gás que, em concentrações elevadas, pode causar danos aos pulmões e aumentar a incidência de doenças respiratórias.
- Dióxido de Enxofre (SO_2): Emissões industriais que podem irritar as vias respiratórias e agravar doenças respiratórias e cardiovasculares.
- Monóxido de Carbono (CO): Um gás venenoso, inodoro e insípido, produzido principalmente pela queima incompleta de combustíveis, que pode afetar o sistema cardiovascular e neurológico.
- Dióxido de Nitrogênio (NO_2): Um poluente atmosférico que pode provocar doenças respiratórias e contribuir para a formação de ozônio troposférico.

As estações de monitoramento podem ser divididas em fixas, móveis e portáteis. As estações fixas são permanentemente instaladas em locais estratégicos e operam continuamente, enquanto as móveis são montadas temporariamente em pontos de interesse específico, como áreas de eventos ou locais industriais. Já as portáteis são utilizadas para medições rápidas e em locais de difícil acesso, como áreas remotas ou de difícil instalação de equipamentos fixos.

3.2. Rede de Monitoramento

Uma rede de monitoramento da qualidade do ar é composta por um conjunto de estações distribuídas em uma determinada área geográfica com o objetivo de fornecer dados representativos da qualidade do ar. No Brasil, o Sistema de Monitoramento da Qualidade do Ar (SISMON) é administrado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e é composto por diversas estações espalhadas pelo território nacional.

Em outros países, como Estados Unidos, Europa, China e Japão, redes de monitoramento da qualidade do ar têm uma presença igualmente robusta. Nos EUA, o Air Quality System (AQS), administrado pela Environmental Protection Agency (EPA), é responsável por integrar dados coletados por mais de 4.000 estações de monitoramento. Na União Europeia, a Rede Europeia de Monitoramento da Qualidade do Ar (EUMS), coordenada pela Agência Europeia do Ambiente (EEA), reúne dados de qualidade do ar de 33 países. Já a China e o Japão possuem sistemas bem estruturados para o monitoramento da qualidade do ar, como o Sistema Nacional de Monitoramento de Qualidade do Ar (CNAAQS) da China, que acompanha a poluição atmosférica em tempo real.

Critérios Técnicos de Localização: A localização das estações de monitoramento deve ser cuidadosamente planejada com base em fatores como densidade populacional, tráfego veicular e proximidade de indústrias. O posicionamento das estações deve cobrir áreas urbanas, rurais e industriais, a fim de representar as condições de poluição de diferentes tipos de ambiente. Exemplos de boas práticas de localização podem ser encontrados em redes de monitoramento nos EUA, onde as estações são distribuídas de forma a capturar a diversidade de condições atmosféricas e fontes de poluição, e na União Europeia, que adota critérios semelhantes para áreas densamente povoadas e zonas industriais.

3.3. Coleta e Análise de Dados

No Brasil, o órgão responsável pela coleta, análise e fiscalização dos dados de qualidade do ar é o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), por meio do Sistema de Monitoramento de Qualidade do Ar (SISMON). Além disso, as informações coletadas são analisadas conforme os padrões de qualidade do ar estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente

(CONAMA), especialmente a Resolução nº 491/2018, que define os limites para os principais poluentes atmosféricos.

Nos Estados Unidos, a Environmental Protection Agency (EPA) é responsável pela análise dos dados coletados, e o país segue os padrões da National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) para avaliar se os níveis de poluentes estão dentro dos limites estabelecidos para a saúde pública.

3.4. Índice de Qualidade do Ar (IQA)

O Índice de Qualidade do Ar (IQA) é uma ferramenta usada para informar a população sobre a qualidade do ar em tempo real. O IQA sintetiza os dados de diferentes poluentes em uma única escala que vai de 0 a 100 (ou mais), indicando se o ar é saudável ou apresenta riscos à saúde humana. O objetivo do IQA é fornecer informações de fácil compreensão para a população, permitindo que tomem decisões informadas sobre atividades ao ar livre.

A formulação do IQA leva em consideração a concentração de diferentes poluentes, como MP10, MP2,5, O₃, NO₂, SO₂, CO e outros. A classificação do IQA pode ser dividida em categorias como:

- Boa (0-50)
- Moderada (51-100)
- Preocupação com a saúde (101-150)
- Saúde comprometida (151-200)

Exemplos de IQA podem ser encontrados no Brasil, onde os dados são divulgados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e órgãos estaduais. Em outros países, como os EUA, a EPA divulga o IQA como parte de sua estratégia de informação pública sobre a qualidade do ar.

3.5. Divulgação das Informações e Controle de Gestão da Qualidade do Ar

A divulgação das informações sobre a qualidade do ar é uma parte fundamental da gestão ambiental. No Brasil, as informações sobre o IQA e outros indicadores de poluição atmosférica são divulgadas por meio de sites, aplicativos móveis e mídias sociais, permitindo que a população tenha acesso imediato aos dados. No Brasil e em países como os EUA, União Europeia, Japão e China, medidas de controle da gestão

da qualidade do ar incluem restrições em atividades industriais, controle de emissões veiculares, e incentivo ao uso de energias limpas.

Além disso, é comum a adoção de medidas emergenciais, como a restrição de tráfego em dias de alta concentração de poluentes, a suspensão de atividades industriais poluentes, e a promoção de campanhas educativas sobre o uso de transporte coletivo e alternativas mais sustentáveis.

3.6. Avaliação de Impactos na Saúde e a Qualidade do Ar

Estudos sobre os impactos na saúde devido à poluição atmosférica têm mostrado um aumento nas doenças respiratórias, como asma e bronquite, e também nas doenças cardiovasculares. Programas de monitoramento da qualidade do ar têm sido essenciais para identificar essas correlações. No Brasil, estudos realizados em áreas como São Paulo e Rio de Janeiro mostram uma alta prevalência de doenças respiratórias em crianças e idosos, associados à poluição atmosférica.

Em países como os EUA e a União Europeia, as evidências científicas sobre os impactos da poluição do ar na saúde pública são amplamente documentadas. Em Washington, D.C., a EPA publicou dados que correlacionam os picos de poluição com o aumento de internações hospitalares por doenças respiratórias e cardíacas. Na China, a poluição do ar tem sido associada ao aumento da mortalidade precoce, especialmente nas grandes cidades como Pequim, onde os níveis de PM_{2,5} frequentemente superam os limites recomendados.

4 METODOLOGIA

A metodologia a seguir detalha os procedimentos adotados para garantir a precisão e a confiabilidade dos dados obtidos. São apresentados os instrumentos utilizados para a coleta de amostras, os parâmetros monitorados, as técnicas laboratoriais empregadas e as diretrizes normativas seguidas para calibração e validação dos equipamentos, assegurando a qualidade dos resultados.

O estudo de parâmetros da qualidade do ar foi desenvolvido a partir da realização de 12 campanhas de monitoramento ambiental, as quais consideraram medições a cada 6 dias/ponto, durante o ano de 2023.

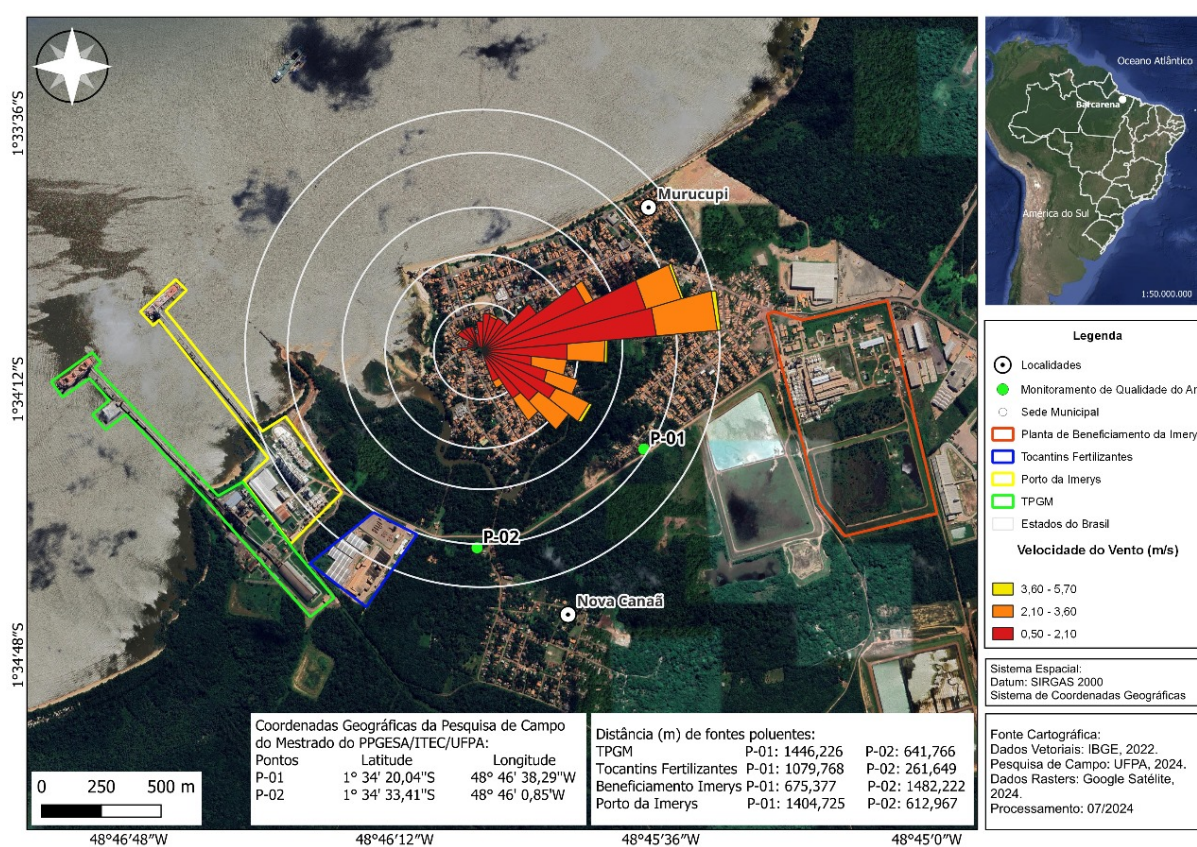
Para complementar a análise da qualidade do ar em Barcarena/PA, os dados obtidos foram comparados com os limites estabelecidos pelas Resoluções CONAMA nº 491/2018 e nº 506/2024, que definem os padrões nacionais de qualidade do ar, além dos dados disponibilizados pelo Sistema de Vigilância da Qualidade do Ar (Vigiar). A Resolução CONAMA nº 491/2018 estabelece padrões de qualidade do ar com base em diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS), enquanto a Resolução CONAMA nº 506/2024 atualiza critérios e diretrizes para o monitoramento e gestão da qualidade do ar no Brasil. Já o Sistema Vigiar, coordenado pelo Ministério da Saúde, fornece informações sobre a qualidade do ar em diferentes regiões do país, auxiliando na identificação de potenciais impactos à saúde pública. Essa abordagem comparativa permitiu avaliar os níveis de poluentes atmosféricos na região em relação às normas vigentes e a dados oficiais, contribuindo para uma interpretação mais ampla dos resultados.

A realização de estudos sobre materiais particulados (PTS, MP10 e MP2,5) na região de Vila do Conde, em Barcarena/PA, é fundamental devido ao impacto potencial das atividades industriais locais na qualidade do ar. A Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará (SEMAS/PA) disponibiliza o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) referentes à Usina Termelétrica CELBA, localizada no Porto de Vila do Conde, os quais fornecem informações detalhadas sobre os impactos ambientais, incluindo a emissão de poluentes atmosféricos (SEMAS/PA, 2017). A análise desses estudos é essencial para compreender a influência das atividades industriais na concentração de materiais particulados na região.

4.1 Descrição da área

As medições da qualidade do ar foram realizadas no distrito de Vila do Conde, localizado em Barcarena/PA, onde a área de estudo é caracterizada por habitações humanas, circunvizinhas a empreendimentos de setores de beneficiamento e embarque de minério, armazenamento e ensacamento de fertilizantes agrícolas, além de porto de embarque de grãos (soja e milho). Foram estabelecidos dois pontos para avaliação da qualidade do ar, localizados nos bairros Industrial e Nova Canaã, os quais pertencem ao distrito de Vila do Conde (Figura 2).

Figura 2 – Mapa de localização e distribuição dos ventos nos pontos de qualidade do ar



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

De acordo com Rosário et al. (2023), o município de Barcarena classifica-se como tropical úmido, abrangendo o subtipo Am, previsto na metodologia Köppen-Geiger (Alvares et al., 2013). É importante destacar que as variáveis climáticas podem ocasionar interferências no comportamento aerodinâmico dos parâmetros de qualidade do ar estudados (Camillo; Souza; Ramser, 2020), principalmente no que se refere a direção e velocidade dos ventos. Diante disso, conforme a distribuição dos ventos (Figura 2), destacando-se a predominância na direção leste.

As condições climáticas locais, como temperatura, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica, desempenham um papel fundamental na qualidade do ar e na dispersão de poluentes atmosféricos. No município de Barcarena, no ano de 2023, os dados do INMET revelam as seguintes características climáticas:

- Temperatura: A temperatura média anual variou entre mínima de 23,9°C e máxima de 32,2°C, influenciando a intensidade das reações fotoquímicas na atmosfera (INMET, 2025).
- Umidade Relativa do Ar: A umidade relativa do ar apresentou médias mensais superiores a 80%, afetando a formação de partículas suspensas e a dispersão de gases poluentes, além de favorecer a formação de nevoeiros (INMET, 2025).
- Precipitação Pluviométrica: A precipitação anual totalizou aproximadamente 2.500 mm, distribuídos de forma desigual ao longo dos meses. O período chuvoso, concentrado entre março e julho, registrou precipitações mensais médias superiores a 300 mm, enquanto o período menos chuvoso, de agosto a fevereiro, apresentou médias mensais abaixo de 100 mm (INMET, 2025).

Essas condições climáticas influenciam diretamente a qualidade do ar em Barcarena. A alta umidade relativa favorece a formação de aerossóis e nevoeiros, afetando a visibilidade e a dispersão de poluentes. O regime de precipitações contribui para a remoção de partículas e gases poluentes da atmosfera, especialmente durante o período chuvoso, quando as chuvas intensas promovem a lavagem atmosférica. No entanto, durante o período seco, a menor precipitação e a maior insolação podem levar ao aumento da concentração de poluentes, devido à menor remoção atmosférica e ao favorecimento de reações fotoquímicas.

O solo predominante nessa região é o Latossolo Amarelo distrófico, de textura média e muito argilosa, formado sobre rochas do Grupo Barreiras em relevo plano sob floresta densa, configurando um solo muito espesso e maduro, com alta capacidade de troca iônica. A geologia da região é pertencente a formação Pirabas composta por sedimentos aluvionares quaternários sobrepostos aos sedimentos terciários do Grupo Barreiras (Bandeira, 2006).

4.2 Descrição das etapas para monitoramento da qualidade do ar

A avaliação da qualidade do ar foi realizada de forma planejada e criteriosa, a fim de propiciar a obtenção de resultados fidedignos capazes de representar seguramente a qualidade do ar do local. Para tanto, as etapas necessárias para execução do referido projeto encontram-se apresentadas a seguir, iniciando-se pelo planejamento da amostragem até a elaboração do relatório técnico.

4.2.1 Planejamento do programa de amostragem

O planejamento para execução do projeto foi desenvolvido a partir da verificação dos itens relacionados abaixo:

- Assinatura do contrato entre as partes envolvidas, contendo as informações jurídicas das mesmas, escopo e valor do projeto, além dos prazos de início e fim do projeto.
- Técnico habilitado para amostragem.
- Reconhecimento detalhado do local a ser monitorado para verificação da disponibilidade de energia elétrica 127v, distância de obstáculos, nivelamento do solo e segurança patrimonial dos equipamentos, pois os mesmos executarão medições durante 24 horas.
- Regularização de acesso da equipe a área do cliente, para atendimento das diretrizes internas do cliente ao que se refere a Segurança do Trabalho, Saúde Ocupacional e Meio Ambiente.
- Kit de calibração composto de calibrador padrão de vazão (CPV) do tipo orifício, próprio para Amostradores de Grande Volume (AGV), sejam do tipo PTS, MP10, MP25 ou PTS/CVV, além de uma placa adaptadora, manômetro de coluna d'água com 40 cm na escala e placas perfuradas de resistência ao fluxo.
- Teste dos equipamentos de medição para os parâmetros a serem monitorados, objetivando verificação do funcionamento de motores, voltímetros, registrador de vazão e painel de controle.
- Preparação de filtro de fibra de vidro composto por membrana de papel, GF A Whatman, 1820-025, 047, 055, 070, 090, 110, 125, 150 tamanho do furo 1.6 μm , o qual foi submetido ao dessecamento em estufa durante 24 horas, seguido de pesagem em balança analítica de 4 casas decimais de precisão.

- Caixa de ferramentas para realização de pequenos ajustes, caso seja necessário, contendo jogo de chaves combinadas, tamanho 6mm a 16mm, chave de fenda e multímetro.
- Equipamento de Proteção Individual – EPI (capacete com jugular, óculos de segurança, luva pigmentada, botina de segurança e protetor auditivo).
- Equipamento de Proteção Coletiva – EPC (pedestal e corrente de segurança).
- Veículo e condutor habilitados nos termos do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN).

4.2.2 Projeto e instalação do sistema de medição

Para realização da amostragem foi definido o local exato da instalação dos equipamentos, considerando a representatividade da amostra, energia elétrica e segurança patrimonial dos equipamentos. O local foi devidamente isolado com corrente de segurança para promover a segurança coletiva (EPC).

Em seguida foi realizada a calibração de campo dos equipamentos utilizando-se o kit de calibração, onde foram realizadas as seguintes etapas: conexão do Calibrador Padrão de Vazão (CPV) ao Amostrador (AGVPTS e AGVCVV), ajuste de fluxo através de manômetro, medição com CPV, ajustes necessários, anotações de campo e liberação do equipamento.

Após a calibração dos equipamentos instalou-se os filtros de amostragem de partículas, onde destaca-se o uso de luvas, de procedimentos não cirúrgicas, para manipulação dos filtros, a fim de evitar a contaminação da amostra com outras partículas. Por fim, os equipamentos receberam a programação de funcionamento em seu painel de controle, finalizando com o fechamento com uso de chave e cadeado.

O AGVPTS (Amostrador de Grande Volume para Partículas Totais em Suspensão) e o AGVCVV (Amostrador de Grande Volume para Partículas Inaláveis) são equipamentos projetados para medir a concentração de material particulado no ar, com alta precisão. O AGVPTS é capaz de medir partículas de tamanho variável, coletando as partículas totais em suspensão (PTS), com um fluxo de ar que pode variar de 0,5 a 1,5 m³/min. A capacidade mínima de coleta de partículas é de 5 µg/m³, enquanto a capacidade máxima pode atingir 1000 µg/m³, dependendo das condições de calibração e do período de amostragem. Por sua vez, o AGVCVV é projetado para medir partículas de tamanhos específicos, como MP10 (partículas inaláveis com

diâmetro aerodinâmico inferior a 10 micrômetros) e MP_{2,5} (partículas com diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 micrômetros).

Este equipamento possui uma capacidade de medição de até 1000 µg/m³, com um fluxo de ar ajustável entre 0,5 e 1,0 m³/min. Ambos os dispositivos utilizam filtros de alta eficiência para coletar as partículas e, posteriormente, as concentrações são analisadas em laboratório (ENERGÉTICA, 2016).

4.2.2.1 Monitoramento de MP_{2,5} e MP₁₀

As partículas inaláveis que possuem diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 10 µm, denominadas de MP₁₀, foram avaliadas através do método do amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas (NBR, 1995). Enquanto as partículas inaláveis finas que possuem diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5 µm, denominadas de MP_{2,5}, foram monitoradas de acordo com o anexo H do Guia Técnico de Qualidade do Ar (MMA, 2019), em virtude de não existir NBR/ABNT vigente para medição deste parâmetro.

Para realização do monitoramento dos dois parâmetros supramencionados, foram utilizados os equipamentos de Amostradores de Grande Volume com Controladores Volumétricos de Vazão (AGV – CVV) (Figura 3), os quais realizaram amostragens com duração de 24 horas em cada ponto.

Figura 3 – Amostradores de Grande Volume com Controladores Volumétricos de Vazão (AGV-CVV).



Fonte: AlfaTec (2024)

Após a finalização da amostragem, os filtros de fibra de vidro foram dobrados e armazenados em caixa plástica devidamente fechada para evitar algum tipo de contaminação nas amostras. Os filtros provenientes das amostragens foram dessecados, para o equilíbrio de umidade, e pesados em laboratório, antes e depois das amostragens, para determinação da concentração de $MP_{2,5}$ e MP_{10} em microgramas por metro cúbico de ar ($\mu g/m^3$). Os valores obtidos foram comparados com o Padrão de qualidade do ar intermediário (PI-1) definido na resolução nº 491/2018 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).

É importante destacar que para execução deste monitoramento da qualidade do ar foram seguidas as orientações previstas no guia técnico da qualidade do ar (2019), objetivando eliminar possíveis interferências nos resultados (Tabela 1).

Tabela 1 – Características e microlocalização de estações de monitoramento da qualidade do ar.

Poluente	Escala de Representatividade	Altura de amostragem (m)	Distância de árvores (m)	Distância de obstáculos (m)
CO	micro	2 a 3,5		
SO ₂	demaís	2 a 5		
O ₃			>10	O dobro da altura do obstáculo acima da sonda amostradora
NO ₂	todas as escalas	2 a 5		
MP ₁₀ /MP _{2,5}				

Fonte: MMA (2019)

No ponto P01 não foi possível manter a distância mínima de obstáculos, em razão da construção de residências após o início do monitoramento ambiental (Figura 4). Já no ponto P02, a distância de obstáculos atende as orientações estabelecidas pelo guia técnico de qualidade do ar (Figura 5).

Figura 4 – Amostradores da qualidade do ar - P01 em campo no distrito de Vila do Conde em Barcarena/PA.



Fonte: O autor (2024)

Figura 5 – Amostradores da qualidade do ar - P02 em campo no distrito de Vila do Conde em Barcarena/PA.



Fonte: O autor (2024)

4.2.2.2 Monitoramento de Partículas Totais em Suspensão.

As Partículas Totais em Suspensão (PTS) foram medidas através do método de determinação da Concentração Total pelo utilizando o amostrador de grande volume (Figura 6), onde cada amostragem teve duração de 24 horas para obtenção da concentração de PTS (NBR, 1997).

As partículas foram retidas em filtro de fibra de vidro, o qual foi dessecado (equilíbrio de umidade) e pesado em laboratório, antes e depois das medições, para determinação da concentração de PTS em microgramas por metro cúbico de ar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Os valores obtidos nos ensaios laboratoriais foram comparados com o padrão de qualidade do ar intermediário (PI-1) definido na Resolução n° 491/2018 do CONAMA, além de realizar a comparação com padrão de qualidade do ar (PI-2) da Resolução n° 506/2024 do CONAMA com a finalidade de conformidade ambiental.

Figura 6 – Amostrador de grande volume para partículas totais em suspensão



Fonte: AlfaTec (2024)

4.2.3 Determinação do Índice da Qualidade do Ar.

A partir dos resultados obtidos nos ensaios laboratoriais foi realizado o cálculo do Índice de Qualidade do Ar (IQAr) estabelecido pela resolução n° 491/2018 do CONAMA (Equação 1).

$$IQAr = I_{ini} + \frac{I_{fin} - I_{ini}}{C_{fin} - C_{ini}} \times (C - C_{ini}) \quad (1)$$

Sendo que:

I_{ini} : Valor do índice correspondente a concentração inicial da faixa.

I_{fin} : Valor do índice correspondente a concentração final da faixa.

C_{ini} : Concentração inicial da faixa onde se localiza a concentração medida.

C_{fin} : Concentração final da faixa onde se localiza a concentração medida (PF).

C : Concentração medida do poluente.

Para interpretação dos valores obtidos de IQAr das coletas dos amostradores, foram considerados os parâmetros descritos na Tabela 2, além disso para entender como esses resultados obtidos podem apresentar impactos sobre a saúde humana, foi considerado a classificação descrita na Tabela 3.

Tabela 2 – Classificação do índice de qualidade do ar

Qualidade do AR	Índice	MP 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h	MP 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h	O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 8h	CO (ppm) 8h	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 1h	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h
N1 - Boa	0-40	0-50	0-25	0-100	0-9	0-200	0-20
N2 - Moderada	41-80	>50-100	>25-50	>100-130	>9-11	>200-240	>20-40
N3 - Ruim	81-120	>100-150	>50-75	>130-160	>11-13	>240-320	>40-365
N4 - Muito Ruim	121-200	>150-250	>75-125	>160-200	>13-15	>320-1130	>365-800
N5 - Péssima	201-400	>250-600	>125-300	>200-800	>15-50	>1130-3750	>800-2620

Fonte: MMA (2019)

Tabela 3 – Relação entre valor de Índice de Qualidade do Ar (IQAR) e possíveis efeitos à saúde

Índice	Efeitos
0-40	-
41-80	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população em geral não é afetada.
81-120	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
121-200	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
>200	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: MMA (2019)

4.2.3 Coletas complementares.

Destaca-se que foi realizado a coleta de variáveis climáticas como temperatura do ar e pressão atmosférica nas proximidades dos pontos de coleta para ser utilizado no cálculo de concentração do material particulado. Esses dados climáticos foram coletados com equipamentos portáteis e os valores foram corrigidos pela calibração fornecida pelo fabricante dos equipamentos de AGV.

4.2.4 Tratamento dos dados e análise estatística.

Todos os dados obtidos foram organizados em planilhas, mas é importante salientar que no caso da determinação das partículas, o fabricante do equipamento fornece as planilhas de cálculos para a determinação da concentração dos poluentes atmosféricos, onde leva em consideração os dados de vazão (carta gráfica/deflexão), temperatura do ar e pressão atmosférica.

Utilizando-se o software Minitab Statistical, foi realizada uma análise estatística descritiva dos dados, calculando-se medidas como média, desvio padrão, mínimo, máximo, moda e assimetria. A fim de avaliar a conformidade dos resultados com os padrões estabelecidos pela legislação ambiental, foram construídos gráficos box-plot e comparados os dados com os limites estabelecidos na Resolução CONAMA nº 491/2018. Além disso, para uma análise mais aprofundada, os resultados foram confrontados com os limites mais restritivos da Resolução CONAMA nº 506/2024.

A análise foi complementada por técnicas da estatística multivariada, visando explorar as relações entre as variáveis e identificar padrões subjacentes nos dados. A elaboração de gráficos de carga fatorial permitiu visualizar a associação entre as variáveis e os fatores latentes, ou seja, as dimensões subjacentes que explicam a variabilidade dos dados.

Visando identificar padrões e similaridades entre as concentrações de PTS, MP10 e MP2,5 ao longo dos meses de 2023, foi aplicada a técnica de análise de agrupamento hierárquico. O método de Ward foi utilizado para o cálculo da distância entre os clusters, e os resultados foram representados em um dendrograma. A análise do dendrograma permitiu a identificação de grupos de meses com características semelhantes em relação aos níveis de material particulado, contribuindo para a compreensão da dinâmica da poluição atmosférica local e a identificação de potenciais fontes de emissão.

A combinação dessas técnicas da estatística analítica proporcionou uma visão mais completa e aprofundada dos dados, permitindo identificar não apenas as características descritivas dos dados, mas também suas relações e estrutura interna. Essa análise multivariada foi fundamental para entender a complexidade dos dados e tomar decisões mais informadas a respeito da conformidade com a legislação ambiental e da qualidade dos resultados obtidos.

4.3 Análise de custo de campanhas de monitoramento da qualidade do ar.

Para a elaboração do plano de amostragem de poluentes atmosféricos, o custo de execução do projeto de monitoramento ambiental da qualidade do ar é uma etapa decisiva para o bom desempenho dos trabalhos. Atualmente, existem diversas ferramentas disponíveis no ambiente virtual para otimizar a elaboração de orçamentos diversos, assim como também para apresentar uma proposta comercial personalizada de acordo com a identidade de cada negócio. Um bom gerenciamento empresarial envolve analisar e pontuar todos os gastos sofridos pela empresa. Logo, ter controle sobre a contratação e aquisição de produtos e serviços é essencial para que as finanças corporativas sejam mantidas em dia (XP Investimentos, 2024).

Algumas operações financeiras são primordiais para serem analisadas, como é o caso do CAPEX e OPEX, onde o primeiro refere-se aos investimentos para aquisição de bem materiais para a companhia, enquanto o segundo refere-se as despesas operacionais da empresa. Neste contexto, foi realizada uma avaliação dos custos relacionados ao monitoramento da qualidade do ar, conforme subitens seguintes:

4.3.1 Identificação de insumos.

Os insumos utilizados na execução do monitoramento da qualidade do ar estão relacionados a seguir: filtro de fibra de vidro e sílica absorvedora de umidade.

4.3.2 Mão de obra.

Para realização do projeto de monitoramento da qualidade do ar, utilizou-se a mão de obra prevista na Tabela 4.

Tabela 4 – Detalhamento da mão de obra necessária para o desenvolvimento do monitoramento da qualidade do ar.

Profissão	Responsabilidade
Engenheiro Ambiental.	Elaboração de relatório técnico.
Analista Ambiental.	Amostragem de poluentes.
Doutor em Hidráulica e Saneamento.	Revisão de relatório técnico.

Fonte: O autor (2024)

4.3.3 Equipamentos.

Os equipamentos utilizados no monitoramento da qualidade do ar neste estudo foram fabricados no Brasil e atendem às rigorosas normas técnicas estabelecidas pela ABNT. A seleção dos equipamentos levou em consideração a capacidade de medir os poluentes PTS, MP10 e MP2,5, considerando as diretrizes previstas no Guia Técnico de Qualidade do Ar, emitido pelo Ministério do Meio Ambiente.

A escolha por equipamentos nacionais visou garantir a conformidade com a legislação brasileira e facilitar a obtenção de peças de reposição e assistência técnica. A análise dos custos de aquisição dos equipamentos, juntamente com os custos operacionais, de pessoal e indiretos, foi fundamental para dimensionar o investimento total necessário para a realização do monitoramento da qualidade do ar e garantir a sustentabilidade financeira do projeto.

4.3.4 Custo de análise.

O presente estudo teve como objetivo analisar o retorno sobre o investimento (ROI) em um estudo de qualidade do ar realizado ao longo do ano de 2023. Para tanto, foram considerados os custos de investimento em equipamentos, bem como as receitas mensais geradas pelo estudo. A fim de obter uma análise mais precisa, o cálculo do ROI incorporou a inflação e a taxa básica de juros do período, utilizando a taxa Selic como referência. Os dados de inflação foram obtidos a partir do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), divulgado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Já os dados da taxa Selic foram extraídos do site do Banco Central do Brasil. O cálculo do ROI foi realizado utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{ROI} = (\text{Receita Total Descontada} - \text{Investimento Inicial}) / \text{Investimento Inicial}$$

Onde:

- Receita Total Descontada = Receita Total Ajustada pela Inflação / (1 + Taxa Selic)

Para estimar o prazo de retorno do investimento, considerou-se um horizonte de tempo de 5 anos e projetou-se a realização de 200 análises por ano.

Adicionalmente, utilizou-se o software ORÇAFASCIO para a elaboração detalhada do orçamento do projeto de análise da qualidade do ar. O software permitiu a discriminação e o cálculo preciso dos custos envolvidos, incluindo mão de obra



especializada (analista e engenheiro ambiental), despesas com logística, materiais de consumo (filtros de fibra de vidro) e o uso de equipamentos específicos (amostradores de PTS, MP10 e MPS). Através do ORÇAFASCIO, foi possível definir as quantidades, unidades de medida e valores unitários de cada item, culminando no cálculo do custo total direto do projeto. Adicionalmente, o software proporcionou a aplicação automática do Benefício e Despesas Indiretas (BDI), assegurando a inclusão de despesas indiretas e margem de lucro no valor final do investimento. Essa metodologia detalhada, permitiu a construção de um orçamento preciso e confiável, fundamental para a avaliação do retorno sobre o investimento (ROI).

5 RESULTADOS

5.1 Avaliação da qualidade do ar

No período de janeiro a dezembro de 2023, foram realizadas 12 campanhas de monitoramento da qualidade do ar e os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais foram comparados com o padrão intermediário PI-1 previsto na Resolução nº 491/2018 do CONAMA para os períodos chuvoso e menos chuvoso, onde 100% dos resultados apresentaram conformidade com os valores estabelecidos como padrão (Figura 7Figura 8Figura 9) e Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados da avaliação da qualidade do ar.

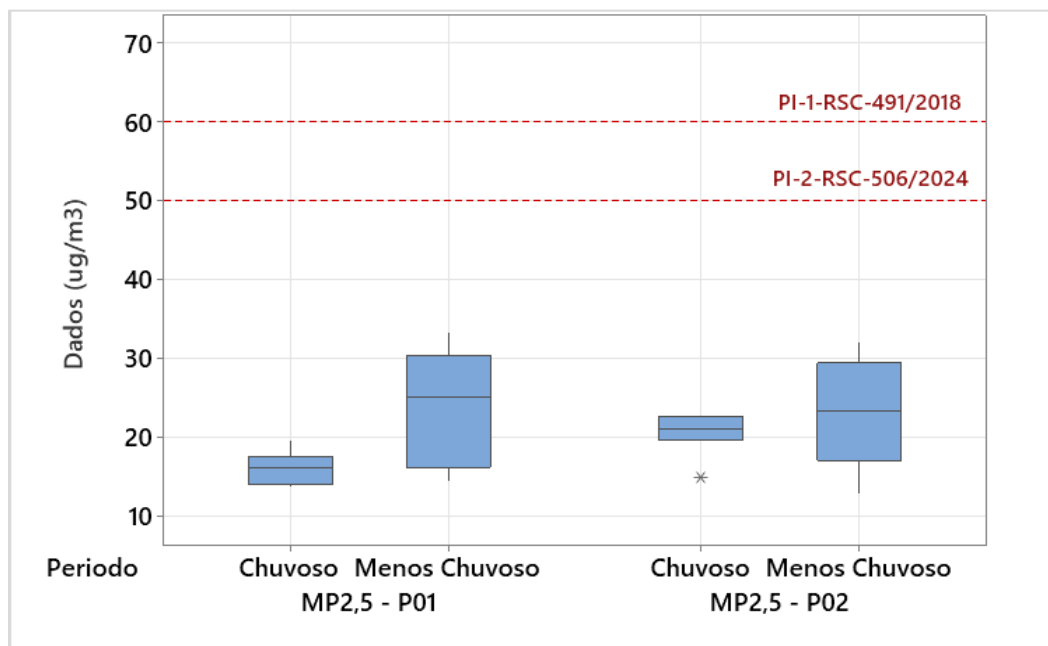
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR EM UM MUNICÍPIO AMAZÔNICO DO ESTADO DO PARÁ.														
Parâmetro	Unidade	2023												PI - 1
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
MP2,5 - P01	µg/m³	16	18	16	20	14	16	18	25	28	33	14	14	60
MP2,5 - P02	µg/m³	23	21	23	20	20	22	23	21	32	27	13	15	60
MP10 - P01	µg/m³	18	19	19	20	19	22	25	42	33	36	19	17	120
MP10 - P02	µg/m³	33	23	21	20	26	31	31	31	37	30	19	20	120
PTS - P01	µg/m³	90	94	90	93	90	108	118	138	156	157	104	101	240
PTS - P02	µg/m³	91	96	85	99	97	123	126	127	161	123	93	105	240

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Para fins de verificação de conformidade ambiental a partir de um padrão mais restritivo foi realizada comparação dos resultados com o PI-2 da resolução nº 506/2024 do CONAMA, onde os resultados também estiveram de acordo com o padrão, porém ressalta-se que esta resolução não está vigente ainda.

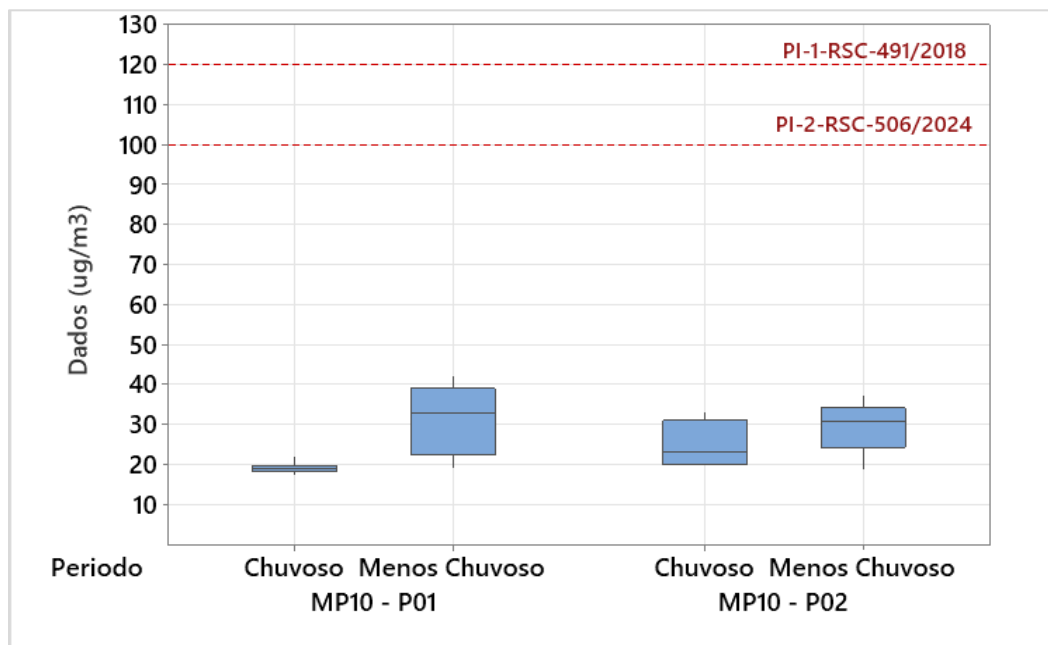
A partir dos dados obtidos afirma-se que os parâmetros avaliados apresentam baixas concentrações em relação aos padrões intermediários estabelecidos pelas resoluções referenciadas. Uma justificativa provável para estas concentrações baixas é a pavimentação razoável da rodovia de principal movimentação de veículos pesados na região, além do controle de emissões atmosféricas de partículas provenientes dos empreendimentos da região, estabelecido pelo órgão ambiental regulador.

Figura 7 – Avaliação da qualidade do ar com variável MP2,5 nos dois pontos de coletas e em diferentes períodos no distrito de Vila do Conde em Barcarena/PA em comparação com o padrão estabelecido pelo CONAMA



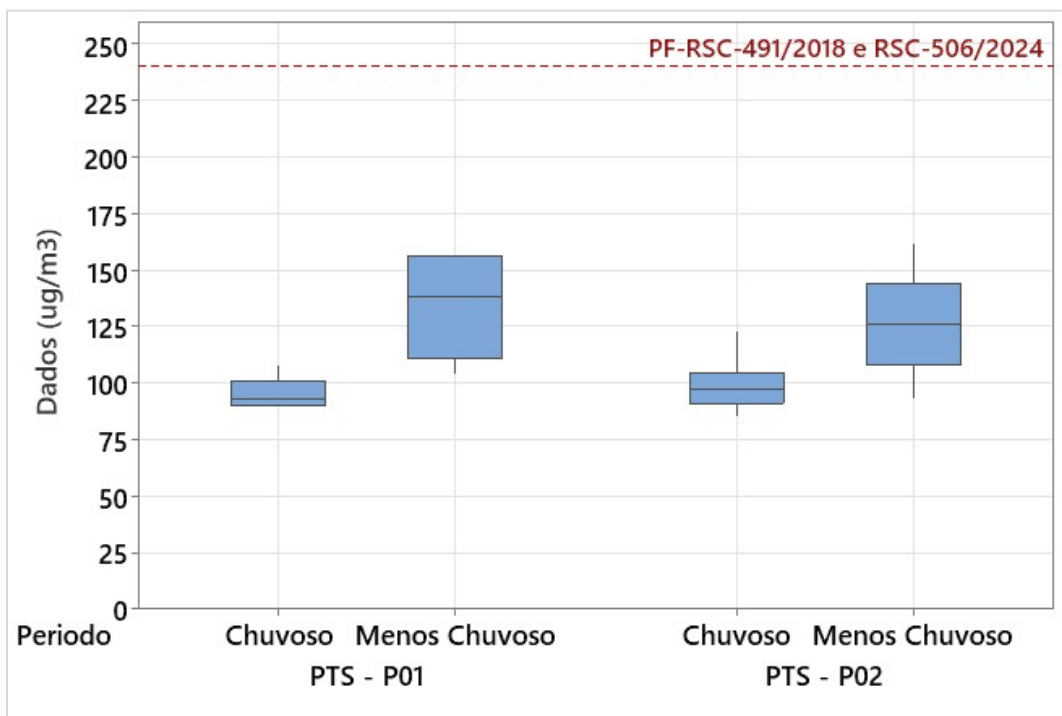
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 8 – Avaliação da qualidade do ar com variável MP10 nos dois pontos de coletas e em diferentes períodos no distrito de Vila do Conde em Barcarena/PA em comparação com o padrão estabelecido pelo CONAMA.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 9 – Avaliação da qualidade do ar com variável PTS nos dois pontos de coletas e em diferentes períodos no distrito de Vila do Conde em Barcarena/PA em comparação com o padrão estabelecido pelo CONAMA



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Ao comparar os resultados obtidos de $MP_{2,5}$ com os valores do programa de Vigilância em Saúde ambiental e Qualidade do AR (VigiAr) do governo federal referente ao município de Barcarena em 2023 (Tabela 6), percebe-se que os valores médios obtidos nesse trabalho são superiores ao valor médio do programa VigiAr.

Tabela 6 – Resultados de valores médios de $MP_{2,5}$ obtidos nesse trabalho em comparação com os valores médios divulgados do programa VigiAr.

Item	Identificação	Resultado
01	P01	19,0
02	P02	22,0
03	VigiAr	14,0

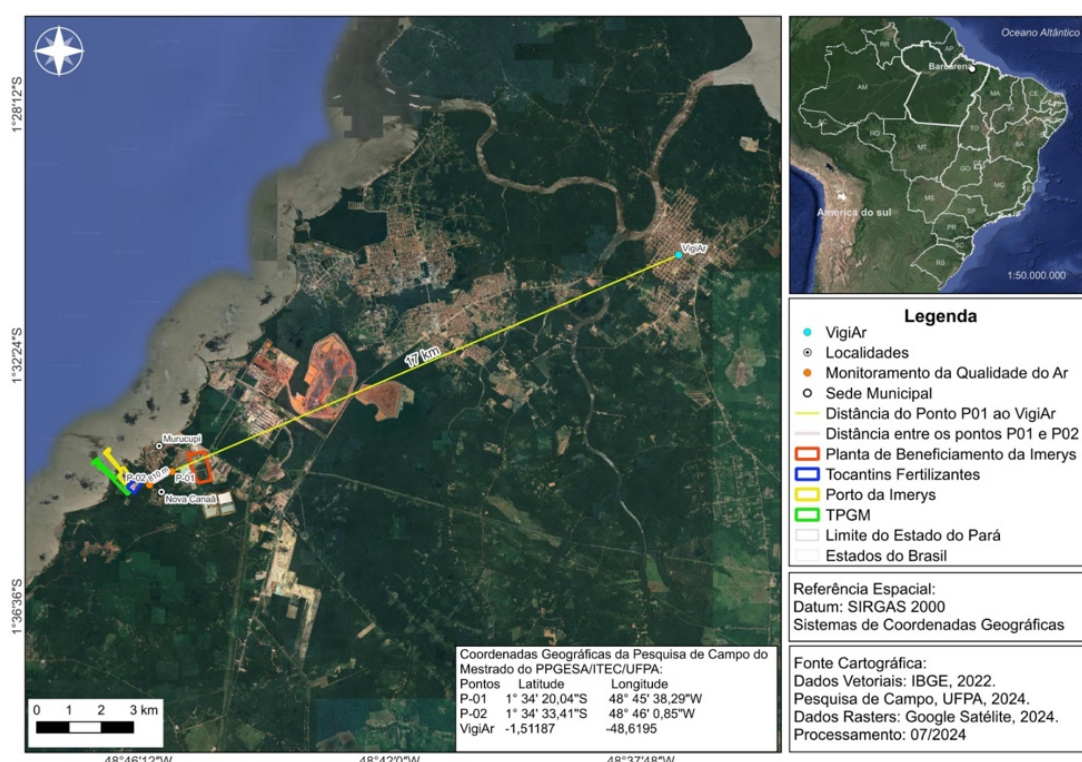
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Uma questão que deve ser levada em consideração é o fato de que os pontos P01 e P02 encontram-se localizados em área de influência de diversos empreendimentos industriais e portuários, enquanto a estação do programa VigiAr localiza-se em área urbana com aspectos ambientais diferentes, destacando-se a

distância de 17 km em linha reta entre os pontos de amostragem desse trabalho (Figura 10).

A localização do ponto de medição P01 apresenta não conformidades com o Guia Técnico de Qualidade do Ar, comprometendo a representatividade dos dados. A proximidade de obstáculos interfere no fluxo do ar e na dispersão de poluentes, podendo gerar leituras não confiáveis para a avaliação da qualidade do ar e a tomada de decisão.

Figura 10 – Mapa de localização e distância dos pontos de amostragem do P01, P02 e do ponto de coleta do programa VigiAr



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

5.2 IQAr

O IQAr calculado para os parâmetros MP 2,5 e MP10 foi classificado como N1 –Boa durante os 12 meses de avaliação, demonstrando que não existem efeitos à saúde humana (Tabela 7). Destaca-se que não existe cálculo do IQAr para o parâmetro PTS.

Tabela 7 – Resultados obtidos do índice de qualidade do ar nos pontos de amostragem no Distrito de Vila do Conde em Barcarena/PA

Parâmetro	Ponto	IQAr	Farol
MP2,5	P01	N1 - Boa.	✓
MP2,5	P02	N1 - Boa.	✓
MP10	P01	N1 - Boa.	✓
MP10	P02	N1 - Boa.	✓

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

5.3 Avaliação estatística dos resultados

Os valores de desvio padrão obtidos a partir das funções do software *Minitab Statistical* apresentaram oscilações significativas, sendo o menor valor registrado no P02 para o parâmetro $PM_{2,5}$ que foi da ordem de 4,96. Já o maior valor de desvio padrão foi registrado no ponto P01 para o parâmetro PTS, sendo 25,87. A curtose apresentou valores positivos e negativos demonstrando distribuição em cume para os parâmetros e pontos seguintes $MP_{2,5}$ no P01, $MP_{2,5}$ no P02 e MP_{10} no P01. Já os parâmetros e pontos MP_{10} no P02, PTS no P01 e PTS no P02 demonstraram distribuição plana (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Estas variações registradas no tratamento estatísticos de dados pode ser entendida como resultantes da riqueza de aspectos e impactos ambientais provenientes das diversas atividades antrópicas desenvolvidas na região, tais como: beneficiamento e embarque de minério, armazenamento e ensacamento de fertilizantes agrícolas, além de porto de embarque de grãos (soja e milho).

Complementarmente cita-se ainda as variações climáticas que podem influenciar diretamente no comportamento aerodinâmico das partículas, como é o caso da precipitação pluviométrica, umidade do ar, direção/velocidade dos ventos, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados de variações climáticas no Distrito de Vila do Conde em Barcarena/PA.

Mês	Precipitação (mm)	Umidade Relativa (%)	Direção do Vento	Velocidade do Vento (m/s)
Jan	350	85	N	2.5
Fev	50	86	NNE	2.7
Mar	60	85	NE	2.2
Abr	80	84	E	2.0
Mai	140	83	SE	2.3
Jun	130	82	SSE	2.6
Jul	110	81	S	2.8
Ago	60	80	SSW	3.0
Set	30	81	SW	3.2
Out	40	82	WSW	3.1
Nov	70	83	W	2.9
Dez	180	84	WNW	2.6

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).



Tabela 9 – Resultados obtidos do tratamento estatístico dos valores coletados em campo no Distrito de Vila do Conde em Barcarena/PA.

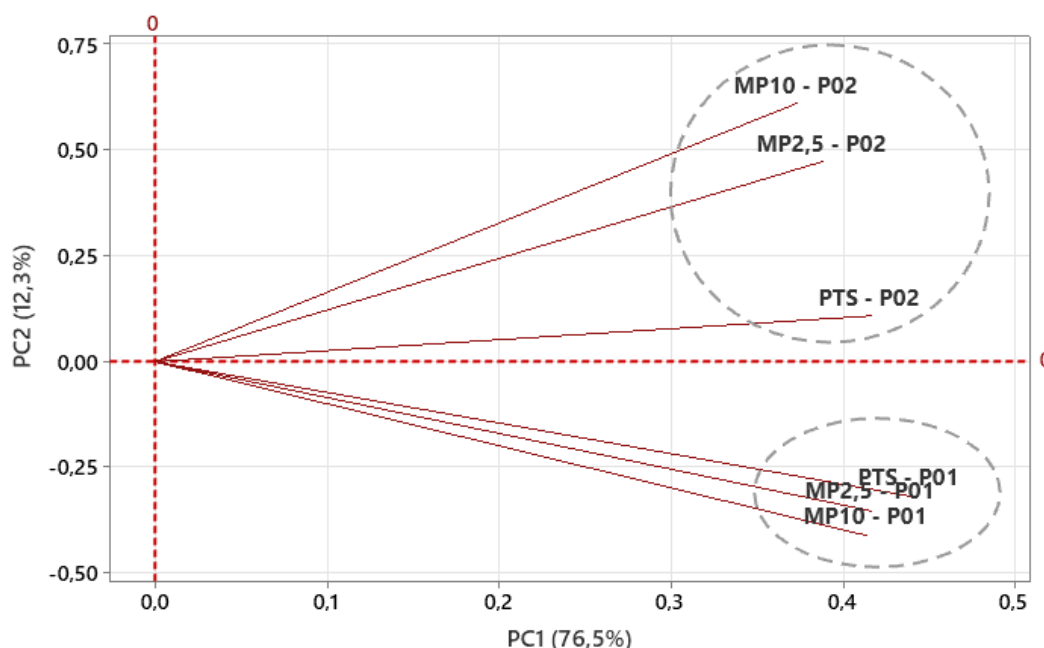
Variável	Período	Média	DesvPad	Mínimo	Mediana	Máximo	Moda	Assimetria
MP _{2,5} - P01	Chuvoso	16,200	2,013	13,800	16,200	19,600	*	0,50
	Menos Chuvoso	23,64	7,52	14,40	25,00	33,20	*	-0,03
MP _{2,5} - P02	Chuvoso	20,37	2,71	14,80	21,00	22,60	22,6	-1,74
	Menos Chuvoso	23,28	7,10	12,80	23,40	32,00	*	-0,52
MP ₁₀ - P01	Chuvoso	19,143	1,389	17,400	19,000	21,800	19	1,12
	Menos Chuvoso	31,12	8,95	19,20	33,00	42,00	*	-0,27
MP ₁₀ - P02	Chuvoso	24,91	5,33	19,80	23,00	33,00	*	0,70
	Menos Chuvoso	29,44	6,74	18,60	30,60	37,20	*	-1,09
PTS - P01	Chuvoso	95,14	6,89	90,00	93,00	108,00	90	1,36
	Menos Chuvoso	134,6	23,4	104,0	138,0	157,0	*	-0,40
PTS - P02	Chuvoso	99,51	11,99	85,40	97,00	123,00	*	1,31
	Menos Chuvoso	126,1	24,2	93,2	126,0	161,4	*	0,25

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

A partir da elaboração do gráfico de *Loading* (carga fatorial) referente ao ponto P01 percebeu-se que neste local existe maior área de abrangência das partículas analisadas, demonstrando maior dispersão das mesmas, as quais encontram-se positivamente correlacionadas ao fator 1. Já o ponto P02 possui menor área de influência para os parâmetros de qualidade do ar analisados (Figura 11).

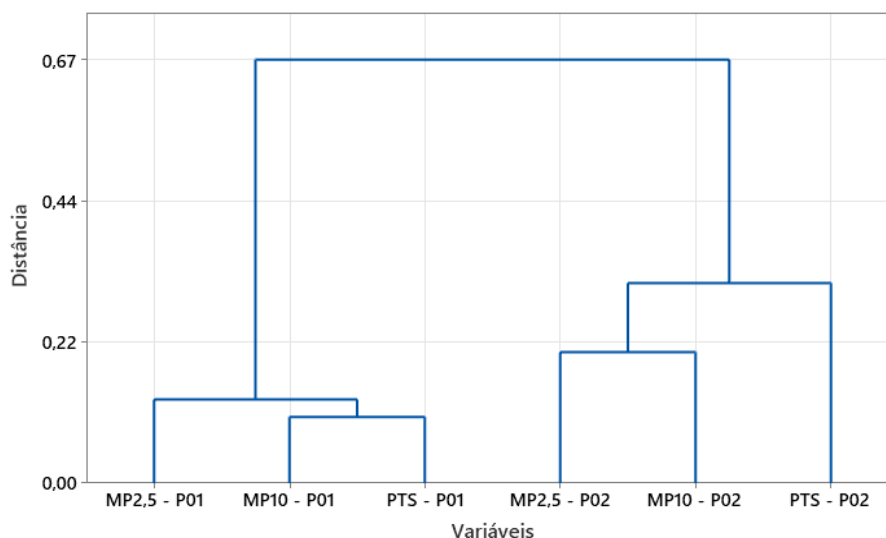
O dendrograma explica que não existe similaridades entre os grupos pertencentes aos pontos P01 e P02 (Figura 12). Uma provável justificativa para este comportamento divergente entre os pontos é que o P01 se encontra localizado entre residências com pouca movimentação de veículos, contrapondo-se ao ponto P02 que se localiza distante de obstáculos e encontra-se próximo a uma via caracterizada pela movimentação de veículos.

Figura 11 – Análise fatorial dos parâmetros de qualidade do ar (MP_{2,5}, MP₁₀ e PPTS) dos pontos de amostragem (P01 e P02) do Distrito de Vila do Conde em Barcarena/PA



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 12 – Dendrograma dos resultados de parâmetros de qualidade do ar obtidos nos pontos de amostragem no Distrito de Vila do Conde em Barcarena/PA



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

5.4 Retorno Sobre Investimento (ROI).

O investimento em equipamentos para o estudo de qualidade do ar totalizou R\$ 164.350,00. A receita mensal gerada pelo estudo foi de R\$ 33.436,04, totalizando R\$ 401.232,48 no ano. Após o ajuste pela inflação e desconto pela taxa Selic, a receita total descontada foi de R\$ 375.642,50. Com base nesses valores, o ROI calculado foi de 128,5%.

O resultado obtido demonstra um ROI excepcionalmente alto para o estudo de qualidade do ar, superando significativamente as expectativas de retorno para investimentos em geral. Esse resultado pode ser atribuído a diversos fatores, como a alta demanda por serviços de análise de qualidade do ar, a eficiência na gestão dos recursos e a precisão dos equipamentos utilizados. É importante ressaltar que, além do retorno financeiro, o estudo de qualidade do ar pode gerar benefícios intangíveis, como a melhoria da imagem da empresa e a contribuição para a saúde pública e o meio ambiente.

A Tabela 9 apresenta os investimentos necessários para execução do monitoramento da qualidade do ar, enquanto a Figura 13 apresenta o custo para realização de uma campanha de monitoramento da qualidade do ar, elaborado pelo autor no software ORÇAFASCIO.



Figura 13 – Interface do software Orçafascio demonstrando o custo para realização de uma campanha de monitoramento da qualidade do ar.

ORÇAFASCIO

Exibir

Editar

Ferramentas

Relatórios

Abimael Rosário

Perfil

OF Suporte

Sair

Home

Orçamentos

Composições

Insumos

Planejamentos

Diário de Obras

Medições

Compras

Cadastros

Webinars

Administrar Empresa

Atendimento Offline

ITEM	CÓDIGO	BANCO	DESCRIÇÃO	UND	QUANT.	VALOR UNIT	VALOR COM BDI	TOTAL
insu 1	00000004	Próprio	Mão de obra (Analista ambiental).	Hora	44,00	15,90	20,59	905,96
insu 2	00000005	Próprio	Mão de obra (Engenheiro Ambiental).	Hora	44,00	54,55	70,64	3.108,16
insu 3	00000003	Próprio	Logística, hospedagem e alimentação.	verba	1,00	2.500,00	3.237,50	3.237,50
insu 4	00000006	Próprio	Filtro de fibra de vidro.	unidade	6,00	90,00	116,55	699,30
5	00000008	Próprio	Amostrador de PTS.	Hora	48,00	96,00	124,32	5.967,36
6	00000010	Próprio	Amostrador de MP 2,5.	Hora	48,00	157,00	203,31	9.758,88
7	00000009	Próprio	Amostrador de MP10.	Hora	48,00	157,00	203,31	9.758,88
Total sem BDI							R\$ 25.819,80	
Total do BDI							R\$ 7.616,24	

TOTAL:

R\$ 33.436,04

Fonte: Elaborado pelo autor no *software* ORÇAFASCIO (2024).



Tabela 10 – Investimento para execução do projeto de avaliação da qualidade do ar.

Item	Descrição	Tipo	Unidade	Quantidade	Preço (R\$)
1	AGV PTS	CAPEX	Unidade	1	16.500,00
2	AGV CVV – MP 2,5	CAPEX	Unidade	1	29.000,00
3	AGV CVV – MP 10	CAPEX	Unidade	1	27.000,00
4	Kit de calibração	CAPEX	Unidade	1	3.500,00
5	Filtros de fibra de vidro	CAPEX	Caixa	1	1.500,00
6	Dessecador	CAPEX	Unidade	1	8.500,00
7	Balança analítica	CAPEX	Unidade	1	6.500,00
8	Termo-higrometro	CAPEX	Unidade	1	350,00
9	Veículo utilitário	CAPEX	Unidade	1	60.000,00
10	Reboque	CAPEX	Unidade	1	10.000,00
11	Ferramentas diversas	CAPEX	verba	1	1.500,00
12	Escritório	OPEX	mês	1	2.350,00
13	Uniforme e EPI	OPEX	verba	1	950,00
14	Documentação de SSO	OPEX	verba	1	2.500,00
15	Funcionário	OPEX	mês	1	4.500,00
16	Combustível	OPEX	mês	1	1.500,00
Total					176.150,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação de parâmetros da qualidade do ar ($MP_{2,5}$, MP_{10} e PTS) em um município amazônico do Estado do Pará, demonstrou conformidade ambiental de acordo com o padrão de qualidade do ar intermediário (PI-1), onde é notório o atendimento das diretrizes estabelecidas pela resolução nº 491/2018 do CONAMA. Os valores de IQAr obtidos comprovaram que não existem efeitos nocivos à saúde humana. Os resultados obtidos a partir dos pontos avaliados são representativos para a área de estudo, visto que na literatura não existe definição da quantidade mínima ou máxima de pontos para avaliação da qualidade do ar. Além disso, a direção predominante dos ventos demonstra da localização dos pontos é estratégica para avaliação da qualidade do ar, considerando os empreendimentos da região.

Os amostradores de grande volume utilizados neste projeto classificam-se como método de referência e atenderam ao objetivo proposto. No entanto, é necessário ressaltar a limitação destes equipamentos em relação ao tempo de aproximadamente 80 horas para obtenção de resultados de uma amostra, considerando-se 24 horas de dessecamento de filtro sem partículas, 24 horas de amostragem e 24 horas de dessecamento do filtro com partículas. Desta forma, sugere-se que em projetos similares seja verificada a possibilidade de emprego de métodos equivalentes, como é o caso de estações automáticas, para obtenção de resultados de maneira mais rápida e com logística mais facilitada.

A análise estatística evidenciou que os valores obtidos possuem comportamento assimétrico, em função da riqueza de variáveis envolvidas na avaliação da qualidade do ar. O estudo de qualidade do ar demonstrou alto potencial de retorno financeiro e benefícios socioambientais. O ROI de 128,5% incentiva a exploração de novas tecnologias e serviços nesse setor, com atenção aos riscos e prazos de retorno. A análise integrada de indicadores financeiros e socioambientais fortalece a tomada de decisão para investimentos em projetos com impacto positivo na saúde pública e na sustentabilidade.

A utilização do software ORÇAFASCIO no estudo de qualidade do ar possibilitou a organização detalhada dos custos e a geração de um orçamento preciso e transparente, incluindo o BDI. A ferramenta se mostrou essencial para a gestão financeira do projeto, contribuindo para a análise da viabilidade do investimento.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.412**. Material particulado em suspensão na atmosfera - Determinação da concentração de partículas inaláveis pelo método do amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9547**. Material particulado em suspensão no ar ambiente - Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume. Rio de Janeiro, 1997.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Taxa Selic. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>. Acesso em: 09 de março de 2025.

BANDEIRA, Í. C. N. **Características Hidrogeológicas de Barcarena/Pa, como base para o Planejamento Urbano Municipal**. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia), Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

BELO, P. I. D.; TOFOLI, R. **Quantificação dos níveis de partículas finas (MP_{2,5}) no município de Vitória**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/ES, 2011.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 491/2018**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 506/2024**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar.

CAMILLO, C. M.; SOUZA, A. M.; RAMSER, C. A. S. Variáveis climáticas relacionadas à poluição do ar e os efeitos causados à saúde humana. **Ciência e Natura**, v. 42, p. 7, 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade do ar - Poluentes**. 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acesso em: 18 jun. 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade do ar – Poluentes**. 2024 Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acesso em: 25 de mar. 2024.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO PARÁ. **Barcarena**. Belém, PA: CODEC, 2023.



ENERGÉTICA. Manual de Operação – AGV MP10. Disponível em: https://www.energetica.ind.br/wp-content/uploads/2016/01/env1_manual-mp10_rev_11.pdf. Acesso em: 6 mar. 2025.

FARIAS, A. L. Assunção. Impactos e conflitos socioambientais de grandes projetos na Amazônia: até quando Barcarena/PA será uma zona de sacrifício?. **INTERthesis: Revista Internacional Interdisciplinar**, v. 20, n. 1, p. 2, 2023.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Dados Históricos de Temperatura, Umidade e Precipitação. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 6 mar. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Barcarena**. 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/barcarena/panorama>. Acesso em: 24 de mar 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Barcarena**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/barcarena.html>. Acesso em: 24 de mar 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA)**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?=&t=series-historicas>. Acesso em: 09 de março de 2025.

LEI COMPLEMENTAR Nº 164, DE 5 DE ABRIL DE 2023. Altera a Lei Complementar nº 027, de 19 de outubro de 1995, que Instituiu a Região Metropolitana de Belém.

MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M.; PAGLIA, A. P. Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação. 2. ed. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Guia Técnico para o Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar**. 2019. Brasília, DF: MMA, 2019.

MIRANDA, A. C. M.; SANTOS, J. A. dos; COSTA, M. L. da. **Mineração e desastres ambientais com rejeitos de bauxita e caulim no município de Barcarena-Pará-Brasil-Amazônia**. Territorium, [S. l.], n. 27, p. 149–162, 2020. Disponível em: <https://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/8501>. Acesso em: 6 mar. 2025.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. **Novos dados da OMS revelam que bilhões de pessoas ainda respiram ar insalubre**. 2022. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/noticias/4-4-2022-novos-dados-da-oms-revelam-que-bilhoes-pessoas-ainda-respiram-ar-insalubre>. Acesso em: 25 mar. 2024.

OLIVEIRA, J. G. I.; PAIVA, R. F. P. S.; REIS, M. M.; GÓIS, G. Poluição do ar e internações hospitalares por doenças respiratórias em Volta Redonda (RJ). **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB)**, v. 55, n. 1, p. 72-88, 2020.



ORÇAFASCIO. **Plataforma de Orçamento de Obras**. 2024. Disponível em: <https://app.orcafascio.com/login/new?url=http%3A%2F%2Fapp.orcafascio.com%2Forc%2Forcamentos%2F664f32ace816050c52e6efe6>. Acesso em: 23 mar 2024.

ROSÁRIO, A. S. et al. **Relatório de Controle Ambiental (RCA): Rua de acesso CDP – TERLOC**. 2023.

SANTOS, T. C.; REBOITA, M. S.; CARVALHO, V. S. B. Investigação da Relação entre Variáveis Atmosféricas e a Concentração de MP_{10} E O_3 no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, p. 631-645, 2018.

SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, MINERAÇÃO E ENERGIA. **Relatório de Gestão 2019**. 2019. Disponível em: https://sedeme.pa.gov.br/sites/default/files/relatorio_de_gestao_sedeme_2019_-_consolidado.pdf. Acesso em: 22 mar. 2024.

SOUZA, F. F. C.; TAGLEATELA, E. V.; GURGATZ, B. M.; HUERGO, L. F.; REIS, R. A. Análise de NO_2 , NH_3 e PTS na Atmosfera de Paranaguá – PR. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 9, p. 212-229, 2020.

XP INVESTIMENTOS. **O que é Opex e Capex e como analisar**. 2024. Disponível em: <https://conteudos.xpi.com.br/aprenda-a-investir/relatorios/opex-e-capex/>. Acesso em: 23 mar 2024.