



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA



**AVALIAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS TÉCNICOS PARA A
IMPLEMENTAÇÃO DE UMA REDE DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO
AR PARA REGIÕES METROPOLITANAS E MEGACIDADES: ESTUDO PILOTO
PARA A CIDADE DE NITERÓI**

NATHÁLIA DA SILVA HENRIQUE DE MOURA

Orientadores: Dr. Luiz Cláudio Gomes Pimentel

MSc. Anselmo de Souza Pontes

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da UFRJ como requisito necessário à obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

Rio de Janeiro, RJ

Setembro, 2022.

**AVALIAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS TÉCNICOS PARA A
IMPLEMENTAÇÃO DE UMA REDE DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO
AR PARA REGIÕES METROPOLITANAS E MEGACIDADES: ESTUDO PILOTO
PARA A CIDADE DE NITERÓI**

NATHÁLIA DA SILVA HENRIQUE DE MOURA

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

Avaliada por:

Dr. Luiz Cláudio Gomes Pimentel _____

Orientador /UFRJ/ Rio de Janeiro

MSc. Anselmo de Souza Pontes _____

Co-Orientador/Rio de Janeiro

Dr. Luiz Francisco Pires Maia Guimarães Maia _____

Membro da Banca /UFRJ/ Rio de Janeiro

Dr. José Francisco de Oliveira Junior _____

Membro da Banca /UFRJ/ Rio de Janeiro

Dr. Corbiniano Silva _____

Membro da Banca / Rio de Janeiro

Rio de Janeiro, RJ

Setembro, 2022

Ficha Catalográfica:

Moura, Nathália da Silva Henrique.

“AVALIAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS TÉCNICOS PARA A
IMPLEMENTAÇÃO DE UMA REDE DE MONITORAMENTO DA
QUALIDADE DO AR PARA REGIÕES METROPOLITANAS E
MEGACIDADES: ESTUDO PILOTO PARA A CIDADE DE NITERÓI”.

Rio de Janeiro, 2022

108p. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ.

1. QUALIDADE DO AR. 2. REDE DE MONITORAMENTO. 3. NITERÓI. 4.
MEGACIDADES.

Dedico esta monografia a minha mãe e ao meu pai, que sempre acreditaram em mim, ao meu irmão e aos meus amigos que estiveram presentes e me apoiaram durante esses longos anos de graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me deu forças e sabedoria para atravessar essa difícil e desafiadora jornada. Agradeço a minha família, minha mãe, meu pai e meu irmão por sempre estarem ao meu lado, por serem o meu porto seguro, por acreditarem mais em mim do que eu mesma, por não terem deixado eu desistir, por me incentivar e motivar ao longo de todos esses anos.

Aos meus amigos agradeço por todo companheirismo e incentivo ao longo desses anos por me escutarem nos momentos mais difíceis, pelo ombro para chorar nos momentos de desespero, por me lembrar exaustivamente ao longo de todo esse tempo da minha capacidade e por “puxar a minha orelha” nas horas em foi preciso, agradeço aqui, especialmente, a Camila de Assis Magalhães, Renata da Silva Teixeira, Thábata Teixeira Brito, Talita Lopes Dias, Eric de Oliveira Almeida e Alessandra Carbonel.

Agradeço ao Ten Cel BM Wallace Medeiros pela confiança e oportunidade oferecida permitindo meu aperfeiçoamento profissional na área.

Por fim, agradeço imensamente aos meus orientadores Dr. Luiz Claudio Gomes Pimentel e Anselmo de Souza Pontes que não foram somente orientadores acadêmicos, mas grandes amigos. Agradeço por não terem desistido de mim, por compartilhar comigo todo os seus conhecimentos, por toda dedicação, paciência, ajuda e conselhos ao longo dessa caminhada.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivo Geral.....	18
1.1.1 Objetivos Específicos	18
1.2. Estrutura da Monografia	19
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1 Conceito de Qualidade do Ar.....	20
2.2 Poluentes Atmosféricos	21
2.2.1 Poluentes atmosféricos primários	22
2.2.2 Poluentes atmosféricos secundários	22
2.2.3 Poluentes gasosos do ar	23
2.2.4 Poluentes particulados do ar	23
2.3 Tipos de Fontes de Emissão de Poluentes	24
2.4 Os poluentes e seus efeitos na Saúde.....	27
2.4.1 Material Particulado (MP)	28
2.4.2 Dióxido de enxofre (SO ₂)	29
2.4.3 Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	29
2.4.4 Monóxido de Carbono (CO)	30
2.4.5 Ozônio (O ₃)	30
2.4.6 Novas Diretrizes OMS 2021	31
2.5 Padrões de Qualidade do ar	32
2.5.1 Padrões de qualidade do Ar no Brasil	33
2.5.2 Padrões de qualidade do ar segundo as Diretrizes Globais da OMS 2021	36

2.6 Monitoramento da qualidade do ar	38
2.6.1 Monitoramento da qualidade do ar no Brasil	38
2.6.2 Orientações para implementação de Monitoramento da qualidade do Ar	41
2.6.2.1 Representatividade Espacial das Estações	41
2.6.2.2 Métodos de Referências e equivalentes	45
3. METODOLOGIA	46
3.1 Caracterização Física	47
3.2 Caracterizações meteorológica	47
3.3 Caracterização das fontes poluidoras.....	48
4. RESULTADOS	52
4.1 Caracterização Física	52
4.2 Caracterização Meteorológica	56
4.2.1 Temperatura	57
4.2.2 Umidade Relativa	59
4.2.3 Precipitação	61
4.2.4 Intensidade e Direção do Vento	63
4.2.4.1 Análise Sazonal	68
4.2.5 IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DAS FONTES POLUIDORAS NA CIDADE DE NITERÓI	- 73 -
4.2.5.1 Fontes Fixas	- 73 -
4.1.5.2 Fontes Móveis	- 78 -
4.2.5.3 Fontes Áreas	- 87 -
4.2.7 Rede de Monitoramento Atual na Cidade de Niterói	- 89 -
4.2.8 Proposição de uma Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar para a cidade de Niterói.	- 93 -
5. CONCLUSÃO	- 104 -

Lista de Quadros

Quadro 1: Classificação dos Poluentes.....	22
Quadro 2: Fontes e os principais poluentes.....	26
Quadro 3: Impactos na saúde incluídos	31
Quadro 4: Padrões de qualidade do ar, segundo a Resolução CONAMA nº 03/90.....	33
Quadro 5: Padrões de qualidade do ar, segundo a nova Resolução CONAMA nº 491/18.	35
Quadro 6: Padrões de qualidade do ar, segundo a nova diretriz da OMS, 2021.....	36
Quadro 7: Uso do solo do município de Niterói.....	55
Quadro 8: Período de Funcionamento de cada EMA de Niterói.....	57
Quadro 9: Temperaturas Médias na cidade de Niterói	59
Quadro 10: Umidade media na cidade de Niterói. (a) normais climatológicas, (b) barreto, (c) Charitas, (d) Piratininga. Fonte: SMDCG, 2021 e INMET, 2021	60
Quadro 11: Umidade Média na cidade de Niterói.....	61
Quadro 12: Vocações econômicas Municipais.....	- 73 -
Quadro 13: Crescimento da frota da cidade de Niterói comparada ao Brasil e Estado do RJ.-	81
-	
Quadro 14: Porcentagem do crescimento da frota de veículos e crescimento Médio Anual.-	82
-	

Lista de Tabelas

Tabela 1: Escala de alocação de monitores e objetivo do monitoramento.	42
Tabela 2: Posicionamento de monitores de monóxido de carbono.	43
Tabela 3: Posicionamento de monitores de dióxido de nitrogênio.	43
Tabela 4: Posicionamento de monitores de ozônio.	44
Tabela 5: Características e microlocalização de estações de monitoramento	44
Tabela 6: Métodos de Referências para análise dos poluentes.	45
Tabela 7: Métodos de Referências para análise dos poluentes particulados.	46
Tabela 8: Índices de Motorização de Veículos.	- 83 -
Tabela 9: Período com dados disponíveis nas estações do INEA	- 90 -
Tabela 10: Constagem veicular de cada via e distanciamento mínimo do monitor para cada poluente.	- 96 -

Lista de Figuras

Figura 1: Número de pontos com monitoramento da qualidade do ar sob gestão de órgãos públicos de meio ambiente no Brasil. Fonte: IEMA, 2022	40
Figura 2: Visualização do banco de dados do SIGEO.....	49
Figura 3: Visualização do banco de dados do SIGEO.....	49
Figura 4: Estrutura do código CNAE	50
Figura 5: Relevo do Município de Niterói.....	54
Figura 6: Uso do Solo do Município de Niterói	55
Figura 7: Estações Meteorológicas instaladas na cidade de Niterói.....	57
Figura 8: Temperatura media na cidade de Niterói. (a) normais climatológicas, (b) barreto, (c) Charitas, (d) Piratininga. Fonte: SMDCG, 2021 e INMET, 2021	58
Figura 9: Umidade media na cidade de Niterói. (a) normais climatológicas, (b) barreto, (c) Charitas, (d) Piratininga. Fonte: SMDCG, 2021 e INMET, 2021	60
Figura 10: Precipitação media na cidade de Niterói. (a) normais climatológicas, (b) barreto, (c) Charitas, (d) Piratininga. Fonte: SMDCG, 2021 e INMET, 2021	62
Figura 11: Comportamento da direção e intensidade do vento na cidade de Niterói.	64
Figura 12: Distribuição de frequência dos ventos nas estações do Barreto, Charitas e Piratininga referente aos períodos da madrugada, manhã, tarde e Noite. Fonte: SMDCG, 2021 e INMET, 2021.....	64
Figura 13: Rosa dos ventos da Estação do Barreto: (a) madrugada, (b) manhã, (c) tarde e (d) noite.	65
Figura 14: Rosa dos ventos da Estação de Charitas: (a) diária, (b) madrugada, (c) manhã, (d) tarde e (e) noite.	66
Figura 15: Rosa dos ventos da Estação de Piratininga: (a) diário, (b) madrugada, (c) manhã, (d) tarde e (e) noite.	67
Figura 16: Análise espacial do comportamento médio da direção e intensidade do vento durante o verão na cidade de Niterói. (a) verão, (b) Outono, (c) Inverno e (d) Primavera.	69
Figura 17: Rosa dos ventos estação Charitas - (a) anual, (b) verão, (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.	- 71 -

Figura 18: Rosa dos ventos estação de Piratininga: (a) anual, (b) verão, (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.....	- 72 -
Figura 19: Classificação por uso em números das empresas ativas na cidade de Niterói. ...	- 76 -
Figura 20: Classificação por uso em porcentagem das empresas ativas na cidade de Niterói. ...	- 76 -
Figura 21: Atividades potencialmente poluidoras ativas na cidade de Niterói.	- 77 -
Figura 22: Hierarquização viária da cidade de Niterói.....	- 80 -
Figura 23: Ranking da frota veicular no estado do RJ. Fonte: IBGE, 2021	- 82 -
Figura 24: Taxa de crescimento de veículos. Fonte: IBGE, 2021	- 82 -
Figura 25: Contagem veicular nas principais vias da cidade de Niterói.	- 84 -
Figura 26: Eixo estrutural Viário.....	- 84 -
Figura 27: Transito típico na cidade de niterói (manhã)	- 85 -
Figura 28: Transito típico na cidade de niterói (noite)	- 86 -
Figura 29: Áreas suscetíveis a ocorrência de queimadas na cidade de Niterói.	- 88 -
Figura 30: Ocorrências de fogo em vegetação em áreas protegidas.....	- 88 -
Figura 31: Ocorrências de fogo em vegetação em áreas não protegidas.....	- 89 -
Figura 32: Localização das estações de Qualidade do ar (PM ₁₀ e PTS) da cidade de Niterói. ...	- 90 -
Figura 33: Avaliação diária da qualidade do ar para ozônio na estação automática Caio Martins	- 91 -
Figura 34: Avaliação diária da qualidade do ar para MP _{2,5} na estação Manual Getulinho .	- 91 -
Figura 35: Avaliação diária da qualidade do ar para MP ₁₀ na estação manual Policlínica .	- 92 -
Figura 36: mapeamento das fontes poluidoras na cidade de Niterói. Erro! Indicador não definido.	
Figura 37: Mapa da topografia do município de Niterói e espacialização das rosas dos ventos.-	- 94 -
Figura 38: Fontes poluidoras na cidade de Niterói e divisão de regiões para avaliação. ... Erro! Indicador não definido.	

LISTA DE SIGLAS

CBMERJ – Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro.

CNAE – Classificação nacional de atividades econômicas

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

GECLIMA – Grupo Executivo de Sustentabilidade e Mudanças Climáticas de Niterói

IEMA – Instituto de Energia e Meio Ambiente

INEA – Instituto Estadual do Ambiente

OMS – Organização Mundial da Saúde

PDU – Plano Diretor Urbanístico

PMUS – Plano de Mobilidade Urbana Sustentável

PNMA – Política Nacional de Meio Ambiente

SIGEO – Sistema de Gestão da Geoinformação

RESUMO

AVALIAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS TÉCNICOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE UMA REDE DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR PARA REGIÕES METROPOLITANAS E MEGACIDADES: ESTUDO PILOTO PARA A CIDADE DE NITERÓI

Este trabalho consiste na análise dos procedimentos técnicos para implementação de uma rede de monitoramento da qualidade do ar na cidade de Niterói, seguindo as orientações do “Guia Técnico de avaliação e monitoramento da qualidade do ar” publicado pelo o ministério do meio ambiente em 2019. Seguindo as orientações apresentadas no Guia Técnico, buscou-se apresentar a caracterização física da cidade a partir da elaboração de mapas com a topografia da região bem como o uso do solo. Em seguida foi realizado o levantamento de dados meteorológicos a fim de realizar a caracterização meteorológica, principalmente o a distribuição da direção e intensidade do vento que possui uma importante contribuição na dispersão dos poluentes. Sabe-se que a identificação das fontes poluidoras existentes são de extrema importância para um estudo apropriado de dimensionamento de uma rede de monitoramento da qualidade do ar. Assim, foram levantados dados das empresas instaladas na cidade a fim de identificar as potencialmente poluidoras, além disso foram levantados dados de contagem veicular das principais via da cidade buscando identificar as regiões com maior concentração de emissões veiculares e a partir de dados obtidos através do corpo de bombeiros também foram identificadas as regiões com maior concentração de ocorrência de queimadas. A partir da análise dos dados foi possível identificar uma alta concentração de fontes poluidoras na região norte da cidade, sendo uma região de especial interesse para o monitoramento da qualidade do ar na cidade. Por fim seguindo as recomendações para posicionamento dos monitores de cada poluente atendidos pela Resolução CONAMA nº 491/218 foram propostas a implementação de uma Rede de Monitoramento da qualidade do ar em 3 níveis: Básica, Intermediária e Ideal.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, um número crescente de lugares em todo o mundo enfrenta problemas relativos à poluição do ar. A degradação da qualidade do ar vem causando diversos impactos negativos, principalmente na saúde da população, no clima, na biota florestal e na produção de alimentos. Tendo em vista todos os impactos notoriamente observados em escala global, a procura por soluções que visam um ar cada vez mais limpo é fundamental para um desenvolvimento sustentável e o bem-estar das atuais e futuras gerações.

Segundo Carvalho (2004), apesar da poluição do ar ser um fenômeno muito antigo que teve início com a formação do planeta, principalmente, devido às emissões provenientes de erupções vulcânicas, somente a partir da segunda metade do século XX, estudos a respeito deste problema passaram a ser realizados. Os principais problemas associados à degradação ambiental e, mais especificamente à qualidade do ar, estão relacionados ao crescimento desordenado de espaços urbanos e industriais (SOARES DA SILVA, M.; PIMENTEL, L. C. G, 2017).

De acordo com os dados do IBGE (2015), 84,7% da população Brasileira vivem em áreas urbanas. A cidade de Niterói está inserida na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro – RMRJ, com 133.757 km² de extensão e com uma população estimada de 516.981 habitantes, segundo dados do IBGE (2021) e como toda cidade grande, também passou por esse processo de urbanização que acompanhou o crescimento dos engenhos de açúcar até metade do século XIX. A partir do final desse período com o advento das indústrias no país, diversos estaleiros, processadoras de pescado e outras indústrias se estabeleceram na cidade, sendo responsáveis pelo alicerçamento e povoamento de diversos bairros (NITERÓI, 2015).

A urbanização da cidade foi se estabelecendo principalmente no decorrer das obras de arruamento, da construção de prédios públicos, dos numerosos aterros e da ordenação do sistema de transportes públicos. A disposição da topografia e a proximidade com a cidade do Rio de Janeiro, com a ligação hidroviária entre as duas cidades, foram cruciais à ocupação do território (NITERÓI, 2015).

O crescimento se deu inicialmente ao longo da operação do transporte público por linhas de bondes. A área urbana foi se expandindo consideravelmente com o passar do tempo, e o

sistema de trilhos foi trocado por um método de planejamento alinhado ao modo motorizado individual, o que potencializou o espraiamento urbano do município (NITERÓI, 2017).

Com a inauguração da Ponte Presidente Costa e Silva “Ponte Rio-Niterói”, em 1974, esse crescimento horizontal da cidade toma uma dimensão sem precedentes em termos de extensão e celeridade (NITERÓI, 2017).

Fato é que todo esse crescimento acelerado veio acompanhado de fortes processos de degradação ambiental. No que diz respeito a qualidade do ar, o aumento das emissões atmosféricas, produzido principalmente a partir da queima de combustíveis fósseis, são responsáveis pela emissão de uma vasta gama de poluentes atmosféricos que contribuem diretamente na geração de diversos impactos ambientais no nível global (amplificação do efeito estufa), regional (episódio de chuva ácida) e local (oxidantes fotoquímicos) (SOARES DA SILVA, M.; PIMENTEL, L. C. G, 2017).

Neste contexto, a busca pela minimização desses impactos se tornou um grande desafio para as cidades e seus governantes. Niterói, assim como várias cidades de médio e grande porte ao redor do mundo, têm investido nos últimos anos em políticas sustentáveis, visando o enfrentamento às mudanças climáticas. Desde 2015, a cidade integra o Pacto Global de Prefeitos pelo Clima e Energia. Através do decreto n.º 12.433/2016 foi instituído o Grupo Executivo de Sustentabilidade e Mudanças Climáticas de Niterói – GECLIMA, com o objetivo de executar estudos, propor ações, conscientizar e mobilizar a sociedade e o governo do município de Niterói para discussão dos problemas decorrentes das mudanças do clima e promoção do desenvolvimento sustentável, contribuindo para o crescimento econômico, a preservação ambiental e o envolvimento social.

Em 2019, a cidade publicou o seu Plano de Mobilidade Urbana Sustentável – PMUS, seguindo a diretrizes da política nacional de mobilidade urbana (Lei Federal nº 12.587/2012) que determina a obrigatoriedade de elaboração dos planos municipais de mobilidade para as cidades com mais de 20 mil habitantes. O objetivo da lei é implementar a política de mobilidade sustentável, com inversão na pirâmide de prioridade do tráfego, na agenda do planejamento urbano brasileiro, dando prioridade os movimentos a pé, de bicicleta e por transporte coletivo, interligados por uma rede de transportes integrada e acessível para toda a população como forma de mudar a tendência de insustentabilidade observada nos últimos anos. Atualmente, a cidade já conta com 45 km destinados à circulação de bicicletas. (NITERÓI, 2019).

A partir da Lei nº 3.385/2019, a cidade aprovou a Política de Desenvolvimento Urbano – PDU e instituiu o novo Plano Diretor – PD, orientado pelos seguintes princípios:

- ⇒ Função Social da Cidade;
- ⇒ Função Social da Propriedade Urbana;
- ⇒ Equidade e Inclusão Social e Territorial;
- ⇒ Direito à Cidade;
- ⇒ Direito ao Meio Ambiente Ecologicamente Equilibrado; e
- ⇒ Gestão Democrática.

Ressalta-se ainda que, consta no capítulo V, artigo 10, inciso XVI, dos objetivos estratégicos do plano: “adotar medidas para mitigar impactos de ações antrópicas que contribuem para a mudança do clima, inclusive por meio de ações, práticas e tecnologias que contribuam com a menor emissão de gases do efeito estufa, da utilização de fontes renováveis de energia e da construção sustentável, e para a adaptação aos efeitos reais ou esperados das mudanças do clima”. (Niterói (RJ), 2019 p.5)

No art. 130 das diretrizes para o Plano Municipal de Resiliência Frente às Mudanças do Clima, destaca-se o inciso V: “elaborar o Inventário de Emissão de Gases de Efeito Estufa de Niterói”; “promover o uso de energias renováveis e substituição gradual dos combustíveis fósseis por outros com menor potencial de emissão de gases de efeito estufa, excetuada a energia nuclear” e inciso VI: “formular e integrar normas de planejamento urbano e uso do solo, com a finalidade de estimular a mitigação de gases de efeito estufa e promover estratégias da adaptação aos seus impactos”. (Niterói (RJ), 2019 p.60).

O plano conta ainda, com uma subseção onde são estabelecidas diretrizes para a melhoria do clima Local, dentre estas cabe destacar o inciso IX, do art.132: “detalhar o mapeamento das bacias aéreas do Município e sua influência direta na qualidade do ar, suas estruturas e características de funcionamento, bem como a concentração de fontes poluidoras, condições de circulação atmosférica, concentração e dispersão de poluentes, relevo, entre outros” (Niterói (RJ), 2019 p. 61).

Apesar de todos os feitos realizados pelos gestores da cidade nos últimos anos a fim de minimizar os impactos decorrentes das ações antrópicas no meio ambiente e buscando a partir de um planejamento eficiente o desenvolvimento urbano sustentável, a cidade não possui atualmente um instrumento eficiente de monitoramento e gestão da qualidade do ar.

Usualmente, o controle da poluição atmosférica em escala local ou regional é realizado através de uma rede de monitoramento da qualidade do ar. Esta rede constitui uma ferramenta útil para a segurança da saúde humana e do ambiente. Os produtos adquiridos não só permitem um acompanhamento da qualidade do ar na área monitorada, como também se constituem em elementos básicos para elaboração de diagnóstico da qualidade do ar, visando subsidiar as ações governamentais no que tange ao controle das emissões, com vistas à saúde e melhoria da qualidade de vida da população.

A instalação de uma rede de monitoramento de qualidade do ar é um trabalho que exige um planejamento apropriado de forma que se consiga chegar aos objetivos pretendidos. Desta forma, é preciso conhecer uma série de informações, como: os poluentes a serem monitorados, o período de monitoramento, a frequência, o relevo, mapeamento das fontes emissoras e receptoras, infraestrutura da região (eletricidade e segurança), as condições meteorológicas da área de interesse, além dos métodos e equipamentos adequados a serem utilizados. Em relação à escala espacial da rede de monitoramento, é importante saber que a sua configuração está associada aos objetivos das medições, que irão definir a sua espacialização e abrangência da área de monitoramento. (SOARES DA SILVA, M.; PIMENTEL, L.C. G., 2017).

1.1 Objetivo Geral

O OBJETIVO desse estudo visa avaliar de forma propositiva os procedimentos previstos na legislação brasileira e mundial para o dimensionamento e implementação de uma rede de monitoramento da qualidade do ar como estratégia de controle da poluição atmosférica em Regiões Metropolitanas e Megacidades.

1.1.1 Objetivos Específicos

UTILIZAR a cidade de Niterói como projeto piloto para o dimensionamento e implementação da rede de monitoramento de qualidade do ar, seguindo as premissas encontradas nas avaliações dos procedimentos e nas características urbano-industriais da

Cidade, a fim de identificar pontos críticos de estagnação da qualidade do ar ambiente e por fim, a indicação de possíveis pontos de monitoramento.

1.2. Estrutura da Monografia

A estrutura do presente trabalho é descrita a seguir:

No **Capítulo 2** é apresentada uma fundamentação teórica que dispõe sobre o conceito de qualidade do ar, tipos de poluentes e fontes de emissão, bem como os padrões de qualidade do ar utilizados no Brasil, segundo a legislação vigente.

No **Capítulo 3** é apresentada a metodologia empregada no estudo, segundo as orientações contidas no Guia Técnico de Monitoramento da Qualidade do Ar (MMA, 2019). Assim, é apresentado as fontes e ferramentas utilizadas para o levantamento e tratamento dos dados relativos às fontes de emissão, variáveis meteorológicas e características físicas da cidade.

No **Capítulo 4** é apresentada a caracterização física da cidade de Niterói. Também é feita uma caracterização das fontes de poluentes atmosféricos e variáveis meteorológicas.

O **Capítulo 5** traz os resultados encontrados, apresentando uma avaliação da rede de monitoramento atual da cidade e a proposição de implementação de uma rede de monitoramento da qualidade do ar mais completa, oferecendo uma gestão da qualidade do ar eficiente.

O **Capítulo 6** traz as conclusões deste estudo e propõe recomendações para trabalhos futuros no que tange ao monitoramento da qualidade do ar.

Espera-se que os resultados deste estudo possam trazer uma contribuição atualizada tanto para a comunidade científica local, como para os órgãos que discutem políticas de gestão e programas de qualidade do ar, uma vez que lhes será disponibilizada uma ferramenta de uso simples para a avaliação e implementação das ações relativas a essa questão.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Conceito de Qualidade do Ar

A Política Nacional de Meio Ambiente – **PNMA**, define poluição em seu artigo Art. 3º, inciso III como:

À degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; c) afetem desfavoravelmente a biota; d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (Brasil, 1981, [s.p.]).

Em seu art. 23, inciso VI a Constituição Federal de 1998, estabelece que a proteção ao meio ambiente e o combate à poluição em qualquer de suas formas – inclusive a atmosférica – é da competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal, que poderá legislar sobre a proteção do meio ambiente e o controle da poluição. Já em seu art. 225, prevê que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (Brasil, 1998 [s.p.]).

Em países, como a Alemanha, poluição atmosférica é definida como a inserção direta ou indireta de materiais na atmosfera em quantia suficiente para afetar a sua qualidade e composição resultando em efeitos nocivos ao bem-estar humano, a natureza viva e não viva, aos ecossistemas, aos materiais, aos recursos naturais e à utilização do meio ambiente (BRETSCHNEIDER e KURFÜRST, 1987). Durante a Convenção da Comissão Econômica Europeia sobre Poluição Atmosférica Transfronteiriça de Longo Alcance (UNECE, 2004) essa

concepção foi amplificada estabelecendo que, poluição atmosférica, não se restringe apenas a emissão de substâncias materiais no ar, mas também a emissão de qualquer forma de energia capaz de causar impactos negativos.

Após a Revolução industrial, que ocorreu em meados do século XVIII, observou-se um processo acelerado de urbanização no mundo, ampliando a demanda por energia e a exploração de combustíveis fósseis, especialmente o carvão mineral e o petróleo, resultando na intensificação de emissões atmosféricas. De acordo com Machado (2005), a partir deste período os efeitos das ações antrópicas no meio ambiente tomou dimensões em escalas continentais e até mesmo globais (GERBATIM, 2018).

Segundo Manzoli (2009), a poluição do ar ocorre um fenômeno que acontece majoritariamente no cenário urbano-industrial, no entanto, por apresentar inúmeras fontes e por sua natureza difusa os danos dessas emissões podem alcançar áreas afastadas de forma distinta (GERBATIM, 2018).

2.2 Poluentes Atmosféricos

De acordo com a resolução Conama n° 03/90 "*Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar: impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem-estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora; prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e as atividades normais da comunidade*"(CONAMA, 1990 p.342).

Ao discorrer sobre fontes de poluentes atmosféricos se faz necessário primeiramente, introduzir alguns conceitos básicos que irão contextualizar as informações sobre poluentes atmosféricos. Poluentes atmosféricos podem ser emitidos para a atmosfera ou formados no interior da própria atmosfera (OMS, 2005). Sendo divididos em poluentes primários e poluentes secundários (Quadro 1).

Quadro 1: Classificação dos Poluentes

Poluentes Primários	Poluentes Secundários
São aqueles emitidos pelas fontes poluidoras diretamente na atmosfera.	São formados na própria atmosfera, como resultado dos mecanismos de cinética de reações químicas entre os poluentes primários e outros constituintes normalmente encontrados na atmosfera.

Fonte: (SOARES DA SILVA, M.; PIMENTEL, L.C.G, 2017).

2.2.1 Poluentes atmosféricos primários

Os poluentes atmosféricos, emitidos a partir de uma fonte, como uma chaminé de fábrica ou escapamentos de veículos, ou por meio de suspensão de poeiras contaminadas transportadas pelo vento, são classificados como poluentes primários. Sendo assim, é viável mensurar a quantidade emitida na própria fonte. No que se refere a chaminé (fonte fixa) ou tubo de exaustão de um veículo (fonte móvel), isso é relativamente simples, mas ao tratar de fontes difusas, como poeiras advectadas pelo vento, torna-se mais complexo. O conjunto dessas fontes constituem um inventário de emissões atmosféricas primárias (OMS, 2005).

2.2.2 Poluentes atmosféricos secundários

Os poluentes atmosféricos secundários são formados na própria atmosfera através de reações químicas entre os poluentes primários e elementos naturais da atmosfera, como água, oxigênio e nitrogênio. O mais comum é o ozônio que surge de reações químicas que diferem com a altitude na atmosfera. Devido a maneira como se formam os poluentes secundários não podem ser inseridos prontamente nos inventários de emissões, apesar de ser viável realizar estimativas das taxas de formação por unidade de volume da atmosfera por unidade de tempo (OMS, 2005).

Além de serem classificados em primários e secundários a OMS pontua outra discriminação importante que deve ser feita em relação ao estado físico de um poluente, sendo elas poluentes gasosos e particulados.

2.2.3 Poluentes gasosos do ar

Poluentes gasosos do ar constituem pequenas moléculas capazes de passar pelos filtros, sem que reajam quimicamente com o meio filtrante, como gases e vapores. Esses poluentes são levados imediatamente para o sistema respiratório humano, quando solúveis em água podem rapidamente se depositar no trato respiratório superior e não penetrar no pulmão profundo (OMS,2005).

2.2.4 Poluentes particulados do ar

Poluentes particulados do ar consistem materiais em fase sólida ou líquida, suspensos na atmosfera. Essas partículas podem ser primárias ou secundárias e envolvem uma vasta variedade de tamanhos. Partículas secundárias recém-formadas podem ser tão pequenas quanto 1-2 nanômetros [nm] de diâmetro ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ metro [m]}$), enquanto a poeira grossa e as partículas de sal marinho podem ser tão grande como 100 micrômetros [μm] ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$) ou 0,1 milímetro [mm] de diâmetro. Todavia, ficam por pouco tempo suspensas na atmosfera, precipitando rapidamente através de processos de deposição seca ou úmida. Desta forma, existem poucas partículas na atmosfera excedendo 20 μm de diâmetro, à exceção de áreas muito próximas das fontes de emissão. É possível separar os gases atmosféricos succionando o ar através de um filtro suficientemente fino para reter as partículas, ou acelerando o ar através de um jato que os dispara em uma placa fixa, na qual as partículas são coletadas. Poluentes particulados do ar apresentam numerosas composições que são extremamente dependentes de sua fonte (OMS, 2005).

2.3 Tipos de Fontes de Emissão de Poluentes

Segundo a OMS, há diversas maneiras de classificar as fontes e suas principais subdivisões e características. A principal categorização é a distinção entre fontes fixas e móveis. Os veículos rodoviários, ferroviários, marítimos, aéreos e afins, são classificados como fontes móveis. Já as fontes fixas compreendem as emissões industriais, domésticas e afins. Eventualmente os estudos relativos à poluição do ar não irão atentar-se as emissões de fontes fixas ou móveis individuais, mas sim com a concentração combinada por um período definido de tempo, como o de todos os veículos que trafegam em uma determinada via de tráfego ou a atividade de um conglomerado de fontes estacionárias em uma indústria e/ou distrito industrial (OMS, 2005).

Para a elaboração de um inventário de emissões, por exemplo, a classificação mais utilizada são: pontuais, linha e de área.

Ao tratarmos uma fonte como pontual, estamos nos referirmos às fontes que aparecem como pontos individuais no contexto de grade em um inventário de emissões, que pode resolver as emissões espacialmente até uma escala de 1×1 quilômetro [km] ou inferior. Assim, uma estação de energia por exemplo, pode ser considerada como uma fonte pontual, mesmo que tenha mais de uma chaminé. Assim, áreas industriais geralmente são consideradas como fontes pontuais de poluição, exceto quando ocorrem emissões em diferentes alturas. Nesse contexto, para se obter uma modelagem da dispersão do poluente pode ser necessário cada ponto individual de emissão ser considerado como uma fonte pontual separada. Todavia, no que tange a elaboração de inventários de emissões, que destinam-se a avaliar principalmente as massas de poluentes emitidos em oposição a outras características do lançamento, os sítios individuais da empresa são frequentemente considerados como fontes pontuais (OMS,2005).

Como citado acima, quando se trata de um inventário de fontes, as fontes de emissões de veículos individuais não são consideradas. Via de regra, considera-se que um grupo das referidas fontes transitam ao longo da via de tráfego, formando a denominada fonte linha, do ponto de vista de uma fonte de emissões. Assim, essas emissões são somadas para compilar um inventário do total de emissões de tráfego (OMS, 2005).

No que versa sobre fontes mais difusas, que se encontram espalhadas por um espaço significativo, como por exemplo as emissões de caldeiras utilizadas para aquecimento, ou a

ocorrência de fogo em vegetação, estas não se ajustam nem à fonte pontual nem à fonte de linha. Assim, elas são geralmente agregadas em uma área, como um quadrado de grade em um inventário ou sobre uma cidade e a mesma é tratada como uma fonte uniforme dentro dessa área. Para que isso seja viável é fundamental que essas emissões se encontrem distribuídas de forma relativamente homogênea, para que a modelagem de dispersão possa considerar essa fonte como uma área de emissões (OMS,2005).

Além disso, as fontes de emissões ainda podem ser classificadas como naturais ou antrópicas. Segundo carvalho (2004), as fontes naturais compreendem vulcões, decomposição de vegetais e animais, ressuspensão de poeira, erosão eólica, aerossóis marinhos, entre outros e as fontes antrópicas são oriundas dos processos e operações industriais, queima de combustível, incineração de lixo e poeira fugitiva provocada pela movimentação de veículos em vias não pavimentadas.

O Quadro 2 enquadra as fontes descritas e apresenta os principais poluentes emitidos pelas mesmas.

Quadro 2: Fontes e os principais poluentes.

Origem	Classificação		Definição	Exemplos
Natural	Biogênica		Relacionada à atividade biológica	COV, NO _x , CH ₄ , N ₂ O e CO ₂ associados à vegetação, às atividades microbianas do solo e aos ecossistemas marinhos.
	Não Biogênica		Relacionada à atividade geológica e meteorológica.	Material particulado, SO ₂ , sulfeto de hidrogênio (H ₂ S), COV, NO e CH ₄ , associados aos processos vulcânicos ou gêiseres e aos relâmpagos, além dos incêndios florestais naturais, dispersão de areia pelo vento e aerossóis oceânicos.
Antropogênica	Móvel	Pontual	Relacionada à atividade humana originada de uma fonte individual (on-road ou nonroad)	Material particulado, CO, CO ₂ , SO _x , NO _x , hidrocarbonetos, aldeídos e ácidos orgânicos associados aos escapamentos de veículos automotores que transitam em vias públicas e veículos automotores e equipamentos que não utilizam vias públicas (escavadeiras, tratores, aviões, helicópteros, embarcações marítimas, locomotivas e equipamentos de pavimentação).
		Linear	Relacionada à atividade humana originada do transporte, estimadas ao longo das trajetórias percorridas	Material particulado, CO, CO ₂ , SO _x , NO _x , hidrocarbonetos, aldeídos e ácidos orgânicos associados a rodovias, ferrovias, navegação e transporte aéreo.
	Estacionária ou Fixa	Pontual	Relacionada à atividade humana originada de uma fonte individual, normalmente associada à combustão, a partir de operações na indústria, agricultura, queima de biomassa ou atividades microbianas durante o tratamento de efluentes.	Material particulado, CO, CO ₂ , SO _x , NO _x , e hidrocarbonetos, associados a processos industriais ou de geração de energia a partir da utilização de caldeira, fornos, turbinas, compressores, flares e chaminés.
		Área	Fontes menores que as fontes pontuais, cujas emissões individuais são pequenas, entretanto, devido ao grande número de fontes, tem emissões significativas do ponto de vista coletivo.	Lavanderias, padarias, hotéis e hospitais.

Fonte: Oliveira (2008) - <https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/4340/2/386.pdf>

2.4 Os poluentes e seus efeitos na Saúde

O aumento das emissões de poluentes atmosféricos está diretamente relacionado ao crescimento desordenado do espaço urbano e industrial, aumento da demanda de energia e a exploração de combustíveis fósseis, principalmente o carvão mineral e o petróleo. De acordo com Braga (2001/USP), estes processos não foram acompanhados de análises que pudessem avaliar seu impacto sobre o meio ambiente, a toxicidade dos resíduos produzidos ou os prováveis danos à saúde.

Nas últimas décadas, cientistas no mundo todo vem alertando sobre os efeitos adversos que a poluição do ar pode causar na saúde das pessoas. Esses impactos podem variar entre pequenas irritações nos olhos e garganta, dificuldade para respirar, doenças cardiovasculares, bem como problemas relacionados à gravidez, afetando no desenvolvimento do feto e até mesmo predispondo a outros desfechos negativos na vida adulta. A potencialidade com que um poluente pode afetar a saúde humana está diretamente ligada ao tempo de exposição e sua toxicidade (WRI, 2021).

Desde 1987 a OMS fornece diretrizes para a qualidade do ar com o objetivo de minimizar os impactos da poluição do ar na saúde. Essas diretrizes baseiam-se na avaliação de especialistas das evidências científicas atuais. Atualmente segundo dados do portal de poluição do ar da Organização Mundial de Saúde (OMS), cerca de 91% da população mundial está exposta a níveis de poluição superiores aos limites das diretrizes da OMS, o portal mostra também que o número de mortes relacionadas a exposição à poluição do ar ambiente e doméstico chega a 7 milhões por ano (OMS, 2021).

Em setembro de 2021, a OMS publicou as novas diretrizes Globais de Qualidade do Ar (AQGs), que fornecem fortes indícios que a saúde humana sofre danos relativos à poluição com concentrações ainda mais baixas que as compreendidas nos documentos anteriores. Assim, buscando resguardar a saúde da população, as novas diretrizes recomendam novos níveis de qualidade do ar, reduzindo os níveis dos principais poluentes atmosféricos, alguns dos quais responsáveis também pelas mudanças climáticas.

As novas diretrizes apresentam níveis de qualidade do ar para os poluentes onde os indicadores dos impactos nocivos à saúde devido à exposição da poluição do ar avançaram. São esses: Material Particulado (MP), Ozônio (O₃), Dióxido de Nitrogênio (NO₂), Dióxido de Enxofre (SO₂) e Monóxido de Carbono (CO). Suas características e seus efeitos sobre a saúde são citados a seguir.

2.4.1 Material Particulado (MP)

Segundo a OMS (2005), material particulado (MP) em ambientes urbanos e não urbanos é uma mistura complexa de componentes com diferentes características químicas e físicas. Devido a essa heterogeneidade, a interpretação de resultados relativos a pesquisas sobre a exposição e risco ao poluente é complexa. O potencial para causar danos varia de acordo com o tamanho, características físicas, composição química e fontes. Desta forma, diferentes características podem ser relevantes para diferentes efeitos sobre a saúde.

Segundo a CETESB (2021- site), O MP pode ser classificado como:

⇒ Partículas Totais em Suspensão (PTS): Partículas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 50 µm. Uma fração dessas partículas é inalável e pode resultar em problemas à saúde, a outra pode prejudicar as condições estéticas do ambiente afetando negativamente a qualidade de vida da população, e dificultando as atividades normais da comunidade.

⇒ Partículas Inaláveis (MP₁₀): Partículas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 10 µm.

⇒ Partículas Inaláveis Finas (MP_{2,5}): Partículas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 2,5 µm.

⇒ Fumaça (FMC): Está relacionada ao material particulado suspenso na atmosfera oriundo dos processos de combustão. O método utilizado para de determinação da fumaça é fundamentado na medida da refletância da luz que incide na poeira (coletada em um filtro), por isso este parâmetro está correlacionado ao teor de fuligem na atmosfera.

O MP é originado principalmente pela combustão de combustível em diferentes setores, incluindo transporte, energia, residências, indústria e agricultura. Devido ao seu tamanho são particularmente importantes, quando o assunto é saúde pública. Tanto o MP₁₀ como o MP_{2,5}

são capazes de adentrar profundamente nos pulmões, podendo até entrar na corrente sanguínea, ocasionando principalmente impactos cardiovasculares e respiratórios.

2.4.2 Dióxido de enxofre (SO₂)

O dióxido de enxofre é gerado a partir da combustão de combustíveis fósseis contendo enxofre e é um importante poluente do ar em muitas partes do mundo. A oxidação de dióxido de enxofre, sobretudo na superfície das partículas, na presença de catalisadores metálicos, leva à formação de ácidos sulfuroso e sulfúrico. O ácido sulfúrico é produzido a partir da reação do trióxido de enxofre (SO₃) com a água, e pode ser transportado pelo vento antes de precipitar como chuva ácida, efeito global de poluição atmosférica responsável pela deterioração de diversos materiais, acidificação de corpos d'água e destruição de florestas (ONURSAL et al, 1997 e XSIMPEP, 2003).

2.4.3 Dióxido de nitrogênio (NO₂)

Existem variadas espécies químicas de óxidos de nitrogênio. No entanto, o dióxido de nitrogênio é o poluente do ar de maior interesse, quando tratamos dos impactos à saúde humana. O dióxido de nitrogênio possui um tom marrom avermelhado e um odor pungente característico. É um gás oxidante forte e reage com a água para produzir ácido nítrico e óxido nítrico (OMS, 2005).

O dióxido de nitrogênio é um importante gás residual na atmosfera, não apenas por causa de seus impactos na saúde, mas também porque: (a) absorve a radiação solar visível e prejudicando a visibilidade atmosférica; (b) absorve radiação visível e tem um papel potencialmente direto na mudança climática global; (c) é, junto com o óxido nítrico, um dos principais reguladores da capacidade oxidante da troposfera livre, controlando a formação e o destino de espécies radicais, incluindo radicais hidroxila; e (d) exerce um papel crítico na determinação das concentrações de ozônio na troposfera porque a fotólise do dióxido de nitrogênio é o poluente chave da formação fotoquímica do ozônio, seja em atmosferas poluídas ou não poluídas. (OMS, 2005)

Segundo BRAGA *et al.*, 2001, o NO₂ quando inalado, atinge as porções mais periféricas do pulmão devido à sua baixa solubilidade. Seu efeito tóxico está relacionado ao fato de ser um agente oxidante.

2.4.4 Monóxido de Carbono (CO)

É um gás incolor e inodoro, resultado da queima incompleta de combustíveis de combustíveis carbonosos como madeira, petróleo, carvão, gás natural, querosene etc. Comumente é encontrado em altas concentrações em cidades, devido principalmente a emissão por veículos automotores (OMS, 2005).

Os impactos deste poluente à saúde humana estão ligados principalmente à capacidade de transporte de oxigênio pelo sangue, isso porque o CO apresenta maior afinidade pela hemoglobina do que o oxigênio, competindo com ele na combinação com a hemoglobina. Isso faz com que uma pequena quantidade de CO possa saturar uma grande quantidade de moléculas de hemoglobina, diminuindo a capacidade do sangue de transportar oxigênio, pois forma-se a carboxihemoglobina (BRAGA et al, 2001).

2.4.5 Ozônio (O₃)

Ozônio, assim como outros oxidantes fotoquímicos são poluentes que não são emitidos diretamente para atmosfera por fontes primárias. Eles compreendem um grupo de espécies químicas geradas por meio de uma série de reações complexas na atmosfera estimuladas por energia transferida para as moléculas de dióxido de nitrogênio (NO₂) quando elas absorvem luz da radiação solar ultravioleta (OMS, 2005).

O dióxido de nitrogênio e os compostos orgânicos voláteis (VOCs) não metano, especialmente os VOCs insaturados, são os poluentes que mais contribuem para a geração de espécies oxidantes na atmosfera. O metano é bem menos reativo que outros VOCs, porém está presente em quantidades muito mais altas, devido principalmente à combustão incompleta dos combustíveis fósseis e atividades do agronegócio. A cadeia fotoquímica envolvendo o metano é responsável por grande parte do aumento do ozônio sobre os oceanos e áreas remotas, entre 30 µg/m³ a 75 µg/m³, respectivamente (OMS, 2005).

Segundo Braga (2001), o ozônio é um poderoso oxidante, Citotóxico (provoca lesão das células), que alcançam as porções mais profundas do sistema respiratório.

2.4.6 Novas Diretrizes OMS 2021

O ar puro é essencial para a saúde. Sabe-se que devido ao pequeno tamanho das partículas, os poluentes podem penetrar na corrente sanguínea através dos pulmões e circular todo o corpo. Desde a última atualização global da OMS de 2005, houve um crescente aumento de indícios que apontam como a poluição do ar afeta diferentes aspectos da saúde. Assim, a nova atualização global da OMS, traz evidências ainda mais fortes sobre como a poluição do ar pode impactar negativamente a saúde da população. Uma informação importante que o documento traz é que a carga de doenças relacionadas à exposição da qualidade do ar, hoje encontra-se em igualdade com outros grandes riscos à saúde como dietas não saudáveis e tabagismo.

O desenvolvimento das diretrizes da OMS possui um rigoroso processo de revisão e avaliação de evidências envolvendo um grupo de especialistas. A seleção dos poluentes prioritários levou em consideração os resultados críticos de saúde. Assim, foram identificados os seguintes resultados de saúde associados aos poluentes do ar: mortalidade por todas as causas (não acidental), (doravante denominada como todas as causas de mortalidade); mortalidade por causa específica, relacionados à Saúde : cardiovascular, câncer de pulmão e respiratório; internações hospitalares e visitas ao pronto-socorro relacionadas à asma; e internações hospitalares e visitas à emergência relacionadas a DIC; em última análise, restrito ao infarto do miocárdio.

O quadro 3 dá uma visão geral das diferentes causas incluídas no processo de elaboração das novas diretrizes.

Quadro 3: Impactos na saúde incluídos nas novas diretrizes.

EXPOSIÇÃO DE CURTO PRAZO		
Poluente	Resultados de saúde usados na atualização global de 2005	Resultados de saúde selecionados para atualização nas diretrizes de qualidade do ar de 2021
SO ₂	Mortalidade em todas as idades e doenças respiratórias infantis	Internações hospitalares e visitas ao pronto-socorro relacionadas à asma Mortalidade por todas as causas Mortalidade respiratória
NO ₂	Capacidade de resposta brônquica em asmáticos	Internações hospitalares e visitas ao pronto-socorro relacionadas à asma Mortalidade por todas as causas

O ₃	Mortalidade diária	Internações hospitalares e visitas ao pronto-socorro relacionadas à asma Mortalidade por todas as causas
MP _{2.5} e MP ₁₀	Níveis de CO _{Hb} abaixo de 2% no sangue de não fumantes (também protetor para exposição de longo prazo) (Escritório Regional da OMS para a Europa, 2000a, 2010)	Mortalidade por todas as causas Mortalidade cardiovascular Mortalidade respiratória
CO	Níveis de COHb abaixo de 2% no sangue de não fumantes (também protetor para exposição de longo prazo) (Escritório Regional da OMS para a Europa, 2000a, 2010)	Admissões hospitalares e visitas ao pronto-socorro relacionadas a DIC
EXPOSIÇÃO DE LONGO PRAZO		
NO ₂	Efeitos respiratórios em crianças	Mortalidade por todas as causas Mortalidade respiratória
O ₃	Sem orientação de longo prazo forneceu	Mortalidade por todas as causas Mortalidade respiratória
MP _{2.5} e MP ₁₀	Total, cardiopulmonar e mortalidade por câncer de pulmão	Mortalidade por todas as causas Mortalidade cardiovascular (todos, cerebrovasculares, IHD) Mortalidade respiratória (qualquer, DPOC, aguda inferior infecções respiratórias) Mortalidade por câncer de pulmão

Fonte: OMS, 2021.

2.5 Padrões de Qualidade do ar

Após o levantamento de todas essas informações a respeito dos efeitos deletérios que os poluentes atmosféricos podem provocar a saúde humana. A OMS propõe alguns padrões de qualidade do ar a serem seguidos, mesmo não sendo juridicamente vinculativos, as propostas realizadas pela OMS são importantes ferramentas para os gestores na sistematização de políticas públicas a fim de reduzir os níveis de poluição do ar e conseqüentemente a carga de doenças resultantes da exposição a esses poluentes.

2.5.1 Padrões de qualidade do Ar no Brasil

No Brasil, os Padrões de Qualidade do Ar foram determinados pela Resolução CONAMA nº 03/1990, baseada na legislação norte-americana de 1980 e contemplando os seguintes poluentes: Partículas Totais em Suspensão, Partículas Inaláveis, Dióxido de Enxofre, Monóxido de Carbono, Ozônio, Dióxido de Nitrogênio e Fumaça. No ano de 2018, a Resolução CONAMA nº 491 foi aprovada, revogando, portanto, a CONAMA nº 03/90.

Segundo a Resolução CONAMA nº 03/90: “Os Padrões de Qualidade do Ar se constituíam das concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderiam afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral”. (CONAMA, 1990 p.347)

Na 03/90 (quadro 4) os padrões estabelecidos abordavam 2 (dois) tipos: Primários e Secundários. Os Padrões Primários de qualidade do ar eram relacionados às concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderiam acarretar efeitos nocivos à saúde da população. Os Padrões Secundários se referiam às concentrações de poluentes atmosféricos, abaixo das quais se previa o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral (CONAMA, 1990).

Quadro 4: Padrões de qualidade do ar, segundo a Resolução CONAMA nº 03/90.

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)⁽¹⁾	Padrão Secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas Totais em Suspensão	24 horas	240	150
	MGA ⁽²⁾	80	60
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	24 horas	365	100
	MAA ⁽³⁾	80	40
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	40000	40000
	8 horas	10000	10000
Ozônio (O ₃)	1 hora	160	160
Fumaça	MAA	60	40
Partículas Inaláveis (MP ₁₀)	24 horas	150	150
	MAA	50	50
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	1 hora	320	190
	MAA	100	100

Fonte: Ministério do Meio Ambiente.

Obs.: ⁽¹⁾Não deve ser excedida mais de uma vez por ano;

⁽²⁾MGA - Média geométrica anual;

⁽³⁾MAA - Média aritmética anual.

No ano de 2005, a OMS a partir de novas evidências acumuladas sobre os efeitos causados na saúde pela poluição do ar, publicou-se novas diretrizes para a qualidade do ar (AQG – *Air Quality Guidelines*). A publicação de 2005 veio acompanhada de propostas de concentrações intermediárias que deveriam ser estabelecidas como metas a serem alcançadas (IT - *interim target*). Tais diretrizes não configuram padrões de qualidade do ar e sim concentrações a serem tomadas como referência.

Tendo o conhecimento que o gerenciamento da qualidade do ar varia de acordo com o desenvolvimento de cada país. As diretrizes variam de acordo com a abordagem adotada para balancear riscos à saúde, a viabilidade técnica, as considerações econômicas e vários outros fatores políticos e sociais. Assim, as concentrações propostas pela OMS consideraram essa heterogeneidade, reconhecendo, no entanto, que, ao formularem políticas de qualidade do ar, as condições locais devem ser ponderadas antes de se adotar os valores propostos como padrões nacionais.

Se baseando nas valores-guia de qualidade do ar, recomendados pela Organização Mundial da Saúde – OMS, em 2005, bem como seus critérios de implementação, a nova Resolução CONAMA nº 491/18 adotou os seguintes padrões:

- a) Padrões de Qualidade do Ar Intermediários - PI: padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas;
- b) Padrão de Qualidade do Ar Final - PF: valores-guia definidos pela Organização Mundial da Saúde - OMS em 2005.

Segundo o Artigo 4º da CONAMA 491, os Padrões de Qualidade do Ar definidos deverão ser adotados sequencialmente, em quatro etapas, a saber:

1º - A primeira etapa, que entrou em vigor a partir da publicação da Resolução – que ocorreu em 20/11/18, abrange os Padrões de Qualidade do Ar Intermediários PI-1.

2º - Para os poluentes Monóxido de Carbono - CO, Partículas Totais em Suspensão - PTS e Chumbo - Pb foi adotado o Padrão de Qualidade do Ar Final, a partir da publicação da Resolução.

3º - Os Padrões de Qualidade do Ar Intermediários e Final - PI-2, PI-3 e PF devem ser adotados, cada um, de forma subsequente, dando importância aos Planos de Controle de Emissões Atmosféricas e os Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar, elaborados pelos órgãos estaduais e distrital de meio ambiente.

4º Caso não seja possível a elevação para o padrão subsequente, prevalece o padrão já adotado.

O Quadro 5 apresenta os Padrões de Qualidade do Ar estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/18.

Quadro 5: Padrões de qualidade do ar, segundo a nova Resolução CONAMA nº 491/18.

Poluente	Período de Referência	PI-1 (µg/m³)	PI-2 (µg/m³)	PI-3 (µg/m³)	PF	
					(µg/m³)	ppm
Material Particulado (MP ₁₀)	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado (MP _{2,5})	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	1 hora ²	260	240	220	200	-
	Anual ¹	60	50	45	40	-
Ozônio (O ₃)	8 horas ³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono (CO)	8 horas ³	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 horas	-	-	--	240	-
	Anual	-	--	80	-	
Chumbo (Pb)	Anual ¹	-	--	0,5		

Fonte: CONAMA, 2018.

Obs.: ⁽¹⁾Média Aritmética Anual.

⁽²⁾Média Horária.

⁽³⁾Máxima Média Móvel Obtida no dia.

⁽⁴⁾Média Geométrica Anual.

⁽⁵⁾Medido nas Partículas Totais em Suspensão.

2.5.2 Padrões de qualidade do ar segundo as Diretrizes Globais da OMS 2021

Recentemente a OMS reavaliou essas diretrizes em publicou e em setembro deste ano. Publicou o resultado desses estudos, indicando que concentrações ainda mais baixas já podem provocar efeitos adversos à saúde. No quadro 6 podemos observar os novos valores propostos.

Quadro 6: Padrões de qualidade do ar, segundo a nova diretriz da OMS, 2021.

Poluente	Período de Referência	PI-1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PI-2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PI-3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PI-4 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PF ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
MP _{2,5}	Anual	35	25	15	10	5
	24h ¹	75	50	37,5	25	15
MP ₁₀	Anual	70	50	30	20	15
	24h ¹	150	100	75	50	45
O ₃	Pico ²	100	70	-	-	60
	8 horas ¹	160	120	-	-	100
NO ₂	Anual	40	30	20	-	10
	24h ¹	120	50	-	-	25
SO ₂	24h ¹	125	50	-	-	40
CO	24h ¹	7	-	-	-	4

Fonte: OMS, 2021.

OBS: μg = micrograma

- (1) Percentil 99 (ou seja, 3-4 dias de excedência por ano).
- (2) Média da concentração máxima de 8 horas de O₃ nos seis meses consecutivos com a maior concentração média de O₃ em seis meses.

No documento, a OMS ressalta que diretrizes da qualidade do ar recomendadas em publicações anteriores não cobertos pela atualização, permanecem válidos. Isso engloba os tempos curtos de média para dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono

que foram incluídos na atualização global de 2005 e diretrizes de qualidade do ar interno de 2010 (OMS, 2021).

O quadro 7 mostra as diretrizes de qualidade do ar existentes para dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono com tempos médios curtos.

Quadro 7: Padrões de qualidade do ar, segundo a nova diretriz da OMS 2021, para exposição de curto prazo dos poluentes NO₂, SO₂ e CO

Poluente	Período de Referência	Diretrizes de qualidade do ar que permanecem
		válidas (µg/m ³)
NO ₂	1h	200
SO ₂	10 min	500
CO	8h	10
	1h	35
	15min	100

Fonte: OMS, 2021.

As principais diferenças entre as novas diretrizes e diretrizes anteriores são: Em comparação com as diretrizes anteriores são (OMS, 2021):

- A utilização de novas metodologias para síntese de evidências e desenvolvimento de diretrizes;
- Reforço das evidências sobre os efeitos na saúde;
- Maior asserção sobre as evidências dos efeitos à saúde ocorrendo em níveis mais baixos do que compreendido anteriormente;
- Incremento de níveis de concentração adicionais, como pico O₃ e NO₂ e CO para 24 horas, bem como alguns novos níveis intermediários;
- Apresentam declarações de boas práticas sobre o gerenciamento de alguns tipos de PM (ou seja, carbono negro / carbono elementar, partículas ultrafinas e partículas originadas de tempestades de areia e poeira).

2.6 Monitoramento da qualidade do ar

No Brasil, o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar, PRONAR, que determina a criação da Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade do Ar, foi estabelecido a partir da Resolução CONAMA nº 05, de 15/06/1989, que institui:

“Como um dos instrumentos básicos da gestão ambiental para proteção da saúde e bem-estar das populações e melhoria da qualidade de vida com o objetivo de permitir o desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura, pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica (BRASIL, 1989) ”.

O programa foi estabelecido devido ao acelerado crescimento urbano, industrial e da frota de veículos automotores; do progressivo aumento da poluição atmosférica, principalmente nas regiões metropolitanas; dos seus reflexos negativos à sociedade, à economia e ao meio ambiente; das perspectivas de continuidade destas condições e, da necessidade de se estabelecer estratégias para o controle, preservação e recuperação da qualidade do ar, válidas para todo o território nacional. (ISS, 2019).

2.6.1 Monitoramento da qualidade do ar no Brasil

Segundo relatório publicado em 2014, pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), foi identificado alguma atividade de monitoramento da qualidade do ar, em apenas 11 unidades federativas – Bahia, Distrito Federal, Espírito Santo, Maranhão, Mato Grosso, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, São Paulo e Sergipe.

No mesmo ano um levantamento realizado pelo Instituto de Saúde e Sustentabilidade, identificou 252 estações no país, que cobriam o monitoramento de apenas 1,7% dos seus municípios. A Região Sudeste representava 78% dos municípios monitorados. As regiões

Norte, Centro-Oeste e Nordeste apresentavam enorme carência no acompanhamento da qualidade do ar nos seus domínios (ISS, 2014). Nem todos os poluentes eram monitorados em cada uma das estações, agravando a situação do monitoramento: o material particulado, era monitorado em 82% das estações; o ozônio em 46%; e o dióxido de enxofre em 45%. O MP_{2,5}, poluente que nem constava na CONAMA 03/90, era monitorado apenas nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, respectivamente, em 16% e 22% de suas estações. A maior parte dos Estados gerenciavam suas próprias estações, com exceção da Bahia, onde o gerenciamento era realizado por empresas privadas. (ISS, 2014).

Em 2018, o Procurador Regional da República - PRR 3ª Região, José Leonidas B. de Lima, na condição de membro-coordenador do Grupo de Trabalho (GT) de Qualidade do Ar - constituído no âmbito da 4ª Câmara de Coordenação e Revisão do Ministério Público Federal, por meio da Portaria 4ª CCR nº 17, de 06 de julho de 2017 - solicitou às Secretarias de Meio Ambiente de todas as unidades federativas da união, por meio de um questionário, que prestassem informações sobre a situação atual da rede de monitoramento da qualidade do ar em seus respectivos territórios, porém somente 16 (60%) unidades federativas responderam ao questionário. Dos estados que responderam o questionário, metade afirmaram realizar o monitoramento da qualidade do ar, a saber: Amazonas, Distrito Federal Espírito Santo, Minas Gerais, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e São Paulo, no entanto o Estado do Amazonas informou realizar o monitoramento a partir de estações das universidades UFAN e UEA, para fins acadêmicos, sem atividades rotineiras e sem divulgação de dados para a população, por esse motivo o instituto não computou como um estado que realiza. Considera-se então que somente 7 unidades federativas, entre os respondentes, realizam o monitoramento de fato, ou seja, 26% delas: Distrito Federal e 6 estados, a saber: Espírito Santo, Minas Gerais, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e São Paulo.

Ao comparar os resultados de 2014 e 2019 foi identificado que cinco estados que realizavam o monitoramento de qualidade do ar não foram citados no levantamento mais recente: Paraná, Mato Grosso, Sergipe, Goiás e Bahia.

Assim, nos últimos 5 anos houve uma diminuição no número de estados que realizam o monitoramento da qualidade do ar, no entanto observa-se um número maior de estações 375 versus 252 há cinco anos (ISS, 2014). Das 375 estações, 85% (319) estão ativas. A região

sudeste contempla 93,4% delas (298 estações), seguida pela região sul, 4,1% (13 estações) e regiões CO e NE, igualmente 1,3% cada uma (4 estações, respectivamente). (ISS, 2019)

Em suma, o Brasil não dispõe de um inventário nacional completo de poluentes locais. O 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários foi elaborado em 2011 (MMA, 2011) e o 2º, em 2014 (MMA, 2014). O Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas do Transporte Ferroviário de Cargas foi realizado em 2012 (ANTT, 2012) e o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil, em 2019 (ANAC, 2019). (WRI, 2021)

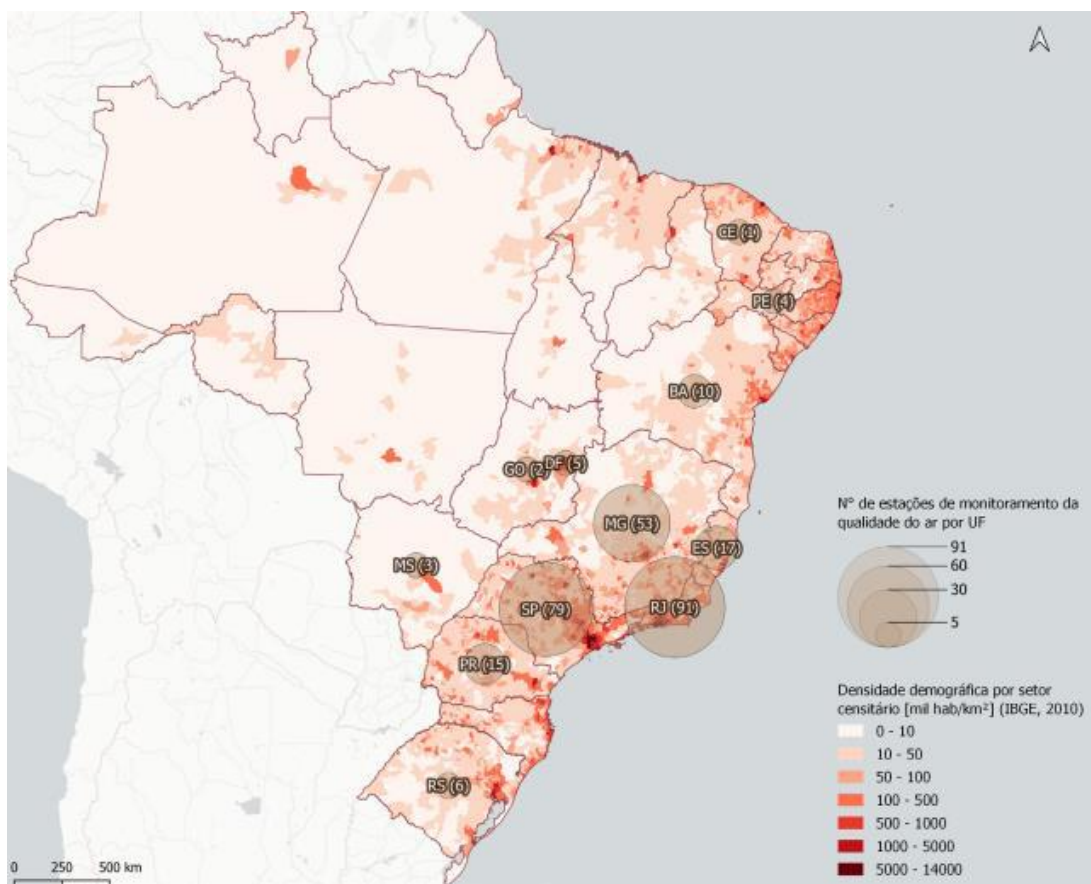


Figura 1: Número de pontos com monitoramento da qualidade do ar sob gestão de órgãos públicos de meio ambiente no Brasil. Fonte: IEMA, 2022

2.6.2 Orientações para implementação de Monitoramento da qualidade do Ar

Segundo o Guia Técnico para o monitoramento e avaliação da qualidade do ar publicado pelo Ministério do meio Ambiente (2019), para a implementação de uma rede de monitoramento da qualidade do ar os seguintes critérios devem ser considerados: Localização geográfica das fontes; Inventários de emissão; dados meteorológicos disponíveis; modelagem de dispersão atmosférica; escolha de parâmetros para o monitoramento; relevo e topografia; uso e ocupação do solo.

O guia ainda cita que considerando os custos elevados para a instalação, operação e manutenção de uma rede de qualidade do ar, em locais onde não há monitoramento, o Material Particulado deve ser considerado um parâmetro prioritário a ser monitorado.

2.6.2.1 Representatividade Espacial das Estações

Ao abordar a representatividade espacial das estações o guia relata que as seguintes considerações devem ser utilizadas: poluente de interesse, proximidade das fontes de emissão, intensidade das emissões, condições da topografia, relevo e transporte dos poluentes. Assim, os resultados do monitoramento realizado devem representar concentrações em uma escala espacial compatível com os objetivos determinados. Desta forma, as seguintes escalas de representatividades são definidas.

- Microescala: representatividade espacial de áreas com dimensão de até 100 metros;
- Mesoescala (ou escala média): representatividade espacial de blocos de áreas urbanas abrangendo dimensões entre 100 a 500 metros;
- Escala de bairro: representatividade espacial de áreas de bairros urbanos com atividade de uniforme e dimensões entre 500 e 4.000 metros; e
- Escala urbana: representatividade espacial de cidades ou regiões metropolitanas, da ordem de 4 a 50 quilômetros.

Tabela 1: Escala de alocação de monitores e objetivo do monitoramento.

Objetivo do monitoramento	Escala apropriada
Concentrações mais altas	Microescala, para impacto de veículos ou fontes fixas difusas. Mesoescala ou bairro, para fontes fixas (chaminé).
Efeitos geral à população	Bairro, urbana.
Impacto de fontes fixas	Microescala, para fontes difusas Mesoescala ou bairro, para chaminés.
Concentração de fundo	Urbana.

Fonte: MMA (2019).

Tendo em vista que no caso das emissões industriais o estudo do posicionamento da estação deve ser avaliado caso a caso, o guia apresenta critérios para a classificação da representatividade com relação às vias de Tráfego. Nas tabelas 2, 3, 4 e 5 são apresentados os parâmetros de distanciamento das vias de tráfegos que devem ser obedecidos para o posicionamento dos monitores de material particulado, monóxido de carbono, dióxido de nitrogênio e ozônio. Esses parâmetros são dados em função do volume de tráfego nas vias.

Tabela 2: Posicionamento de monitores de material particulado

Número médio de veículos/dia (via principal)	Distâncias entre a estação e as vias (m)		
	Mesoescala	Bairro	Urbana
<15.000	-	15 a 80	>80
20.000	15 a 20	20 a 90	>90
30.000	15 a 30	30 a 100	>100
40.000	15 a 40	40 a 110	>110
50.000	15 a 50	50 a 120	>120
60.000	15 a 60	60 a 130	>130
70.000	15 a 70	70 a 140	>140
>80.000	15 a 80	>80	-

Fonte: Cestesb,2013 *apud* MMA,2019.

Tabela 3: Posicionamento de monitores de monóxido de carbono.

Número médio de veículos (via principal)	Escala de bairro
	Distância mínima (m)
<10.000	10
15.000	25
20.000	45
30.000	80
40.000	115
50.000	135
>60.000	150

Fonte: Cestesb,2013 *apud* MMA,2019.

Tabela 4: Posicionamento de monitores de dióxido de nitrogênio.

Número médio de veículos (via principal)	Escala de bairro
	Distância mínima (m)
<10.000	10
15.000	20
20.000	30
40.000	50
70.000	100
>110.000	250

Fonte: Cestesb,2013 *apud* MMA,2019.

Tabela 5: Posicionamento de monitores de ozônio.

Número médio de veículos (via principal)	Escala de bairro
	Distância mínima (m)
<10.000	10
15.000	20
20.000	30
40.000	50
70.000	100
>110.000	250

Fonte: Cesteb,2013 *apud* MMA,2019.

Além dos parâmetros citados anteriormente, outros aspectos devem ser considerados na escolha do local para instalação de uma estação de qualidade do ar como: cobertura ao redor da estação, altura da sonda de amostragem; distanciamento de obstáculos e distância de árvores. Esses critérios irão variar de acordo com o poluente monitorado. A tabela 6 apresenta as características que devem ser consideradas na escolha do local.

Tabela 6: Características e microlocalização de estações de monitoramento

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

Fonte: MMA (2019). (adaptado de EPA, CRF 40, Part 58, Appendix E)

O guia orienta também sobre a frequência com que essas amostragens devem ser coletadas para uma garantia da representatividade dos dados. Para monitores contínuos (estações automáticas) recomenda-se a coleta de médias horárias consecutivas e para amostradores manuais de material particulado as coletas devem ser realizadas pelo menos durante 24h a cada 6 dias (estações semiautomáticas).

No estado do Rio de Janeiro, a Programação Anual de Amostragem é estabelecida pelo Instituto Estadual do Meio Ambiente (INEA).

2.6.2.2 Métodos de Referências e equivalentes

Nesta seção será relacionado os métodos de referência regulamentados e aceitos como válidos para a coleta de cada um dos poluentes. Na resolução no Guia Técnico de monitoramento de qualidade do ar (MMA, 2019).

Tabela 7: Métodos de Referências para análise dos poluentes.

Poluente	Técnica de análise	Faixa de operação
Óxidos de nitrogênio (no, no₂ e no_x)	Método de quimiluminescência em fase gasosa (NO ₂)	0 – 940 µg/m ³ 0 a 0,5 ppm
Monóxido de Carbono (co)	Fotometria infravermelha não dispersiva	0 a 50 ppm
Ozônio (ozone – o₃)	Método de quimiluminescência	0 a 980 µg/m ³ 0 a 0,5 ppm
Dióxido de enxofre (so₂)	Método de fluorescência na região da radiação ultravioleta – fuv	0 a 2620 µg/m ³ 0 a 1 ppm
Determinação do chumbo nas partículas totais em suspensão (pb-pts)	Método icp – pts (realizado em laboratório)	-
Fumaça	Método da refletância da luz	-

Fonte: MMA, 2019

Tabela 8: Métodos de Referências para análise dos poluentes particulados.

Poluente	Técnica	Faixa de medição
Partículas totais em suspensão (pts) (diâmetro de 25-50 µm)	Amostrador de grande volume (PTS)	2 a 750 µg/m ³ .
MP₁₀ - material particulado (10 micrômetros)	Amostrador de grande volume (MP ₁₀)	0 a 300 µg/m ³
MP_{2,5} – material particulado (2,5 micrômetros)	Amostrador de grande volume (MP _{2,5})	2 a 200 µg/m ³

Fonte: MMA, 2019

3. METODOLOGIA

O desenvolvimento desse estudo tem como base o guia Técnico de Monitoramento e Avaliação da qualidade do ar (MMA, 2019), bem como as resoluções Conama nº 03/90 e nº 491/18. Os referidos documentos foram utilizados como fonte para o levantamento das orientações necessárias para a implementação e ampliação de uma rede de monitoramento de qualidade do ar, ambos os documentos destacam e reforçam que a viabilização de uma RMQAR necessita, primeiramente, do levantamento de informações da região pretendida para instalação da rede.

São elas, a caracterização física (relevo e topografia), uso e ocupação do solo, localização das fontes de emissão, inventário de emissões, caracterização meteorológica, modelagem atmosférica e escolha dos parâmetros. Assim, o fluxograma a seguir (Figura 2), demonstra resumidamente os dados e ferramentas utilizadas para elaboração de cada um dos produtos.

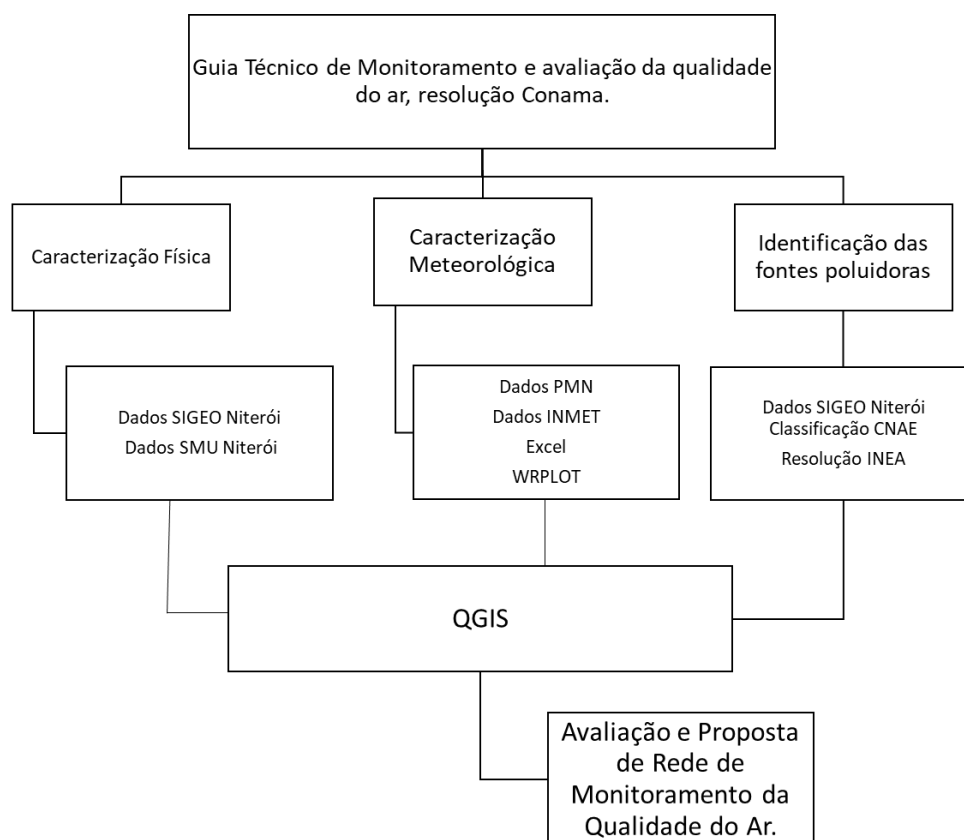


Figura 2: Fluxograma metodológico para levantamento e tratamento dos dados.

3.1 Caracterização Física

Para realizar a caracterização física da cidade, com a demonstração do relevo da mesma, foram utilizados dados de hipsometria obtidos a partir do CPRM. Foram utilizados dados também do Sistema de Gestão da Geoinformação (SIGEO) do município de Niterói. Para realização do mapa foi utilizado o software QGIS, utilizando o sistema de coordenada UTM e Geográfica e o sistema Geodésico SIRGAS 2000.

3.2 Caracterizações meteorológica

Para caracterização meteorológica da região foram utilizados médias mensais da precipitação, temperatura, umidade, velocidade e direção do vento. O período de dados avaliado compreendeu os anos 2016 a 2020. Os dados referem-se à estação meteorológica automática (EMA) do INMET localizada no bairro do Barreto, e as EMAs da Prefeitura Municipal de Niterói (PMN) localizadas no bairro de Charitas e Piratininga. Para compreender melhor o comportamento da precipitação, na cidade foram utilizados também dados referentes aos 30 pluviômetros da PMN distribuídos por todo o território do município, a série de dados compreendeu os 2018 a 2020. A distribuição espacial da rede encontra-se apresentada na Figura 3.

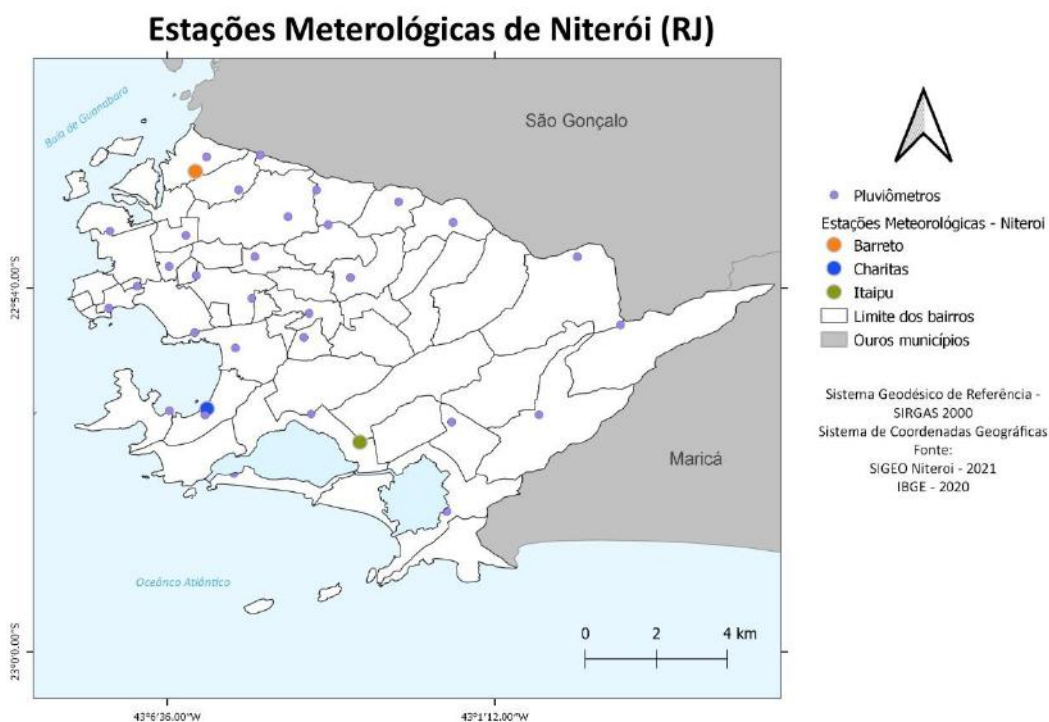


Figura 3: Distribuição espacial da rede de estações meteorológicas e pluviométricas.

Para análise dos dados de temperatura, umidade e precipitação foram elaborados gráficos a partir do excel, já para visualização e análise dos dados de vento foram elaboradas rosas dos ventos a partir do software WRPLOT para espacialização das rosas dos ventos foi utilizado o Google Earth.

3.3 Caracterização das fontes poluidoras

Segundo a *European Environment Agency* - EEA (2002), o inventário de emissões atmosféricas é uma ferramenta primordial para o desenvolvimento de programas de gerenciamento da qualidade do ar. A partir do inventário de emissões é possível realizar uma avaliação quantitativa e qualitativa dos diferentes tipos de poluentes que estão sendo emitidos na região de estudo, porém, a elaboração de um inventário de emissões é um trabalho complexo que envolve diversas etapas como visitas técnicas, envio de questionários, cálculos das emissões entre outras que demandam planejamento e tempo. Por esse motivo, o estudo realizado ficou restrito somente a identificação e localização das fontes potencialmente poluidoras existente na área de interesse.

As fontes foram divididas em fixas, móveis e áreas. Para identificação das fontes fixas foi realizado o levantamento do cadastro de empresas da cidade a partir do SIGEO e identificação dos portos operantes na cidade a partir do sistema da ANTAQ (Agência Nacional de Transportes Aquaviários). Foram localizadas 35.604 (Figura 4) empresas no banco de dados do SIGEO divididas por uso comercial, serviços, residencial, Atividade culturais e diversão, industrial, atividades religiosas, transporte e comunicação. Para identificação das fontes potencialmente poluidoras o estudo se concentrou nas empresas de uso industrial onde foram localizadas um total de 128 (Figura 5), a partir desse primeiro filtro o próximo passo foi identificar a atividades relacionadas a cada uma dessas empresas, uma das informações contidas no banco de dados do SIGEO é o código CNAE (Classificação Nacional de Atividades Econômicas) a partir dele é possível classificar as atividades por seção, divisão, grupo, classe e subclasse. Na Figura 6 é possível observar de que forma essa informação é apresentada no site do CONCLA (Comissão Nacional de Classificação).

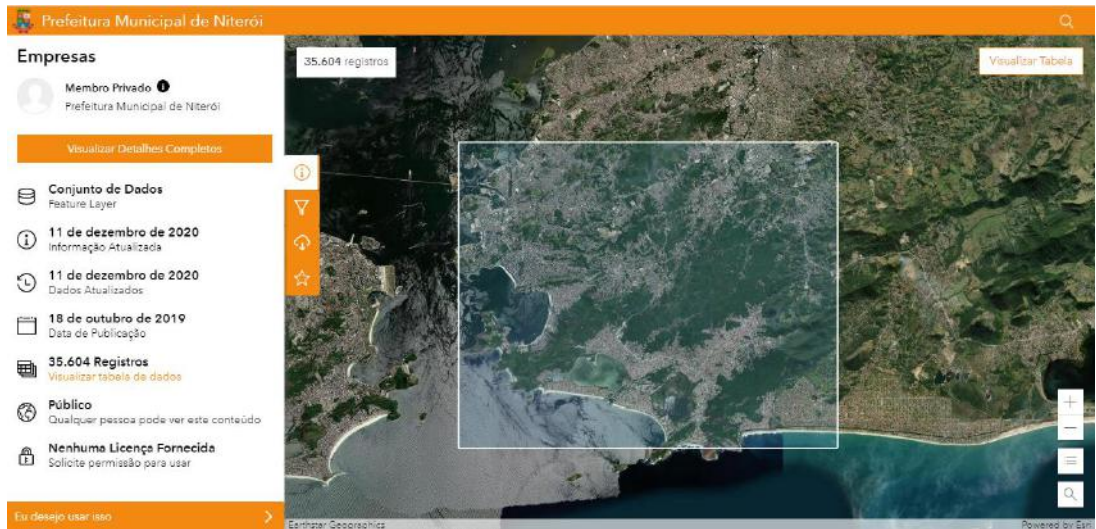


Figura 4: Visualização do banco de dados do SIGEO

Prefeitura Municipal de Niterói

Filtrar conforme movimento do mapa

Exibição 25 de 128 linhas

Visualizar Mapa

	Logradouro	Número	Complemento	Bairro	Uso	CNAE
DE BE...	RUA DR MARIO VIANA, 411	411		SANTÁ ROSA	2 - INDUSTRIAL	S9602501
	RUA ENG FABIO GOULART, ...	605		ILHA DA CONCEICAO	2 - INDUSTRIAL	S9430800
	TRAVESSA BRAGA, 2	2		BARRETO	2 - INDUSTRIAL	Q8630504
	RUA DR. MARCH, 108	108	GALPAO PARTE	BARRETO	2 - INDUSTRIAL	Q8630501
	RUA MARIO TRILHA, 271	271		ILHA DA CONCEICAO	2 - INDUSTRIAL	P8599604
O DE...	RUA MALDEODORO, 263	263		CENTRO	2 - INDUSTRIAL	P8531700
ATIV...	RUA DR BORMAN, 6	6	201	CENTRO	2 - INDUSTRIAL	N8211300
	RUA ENG FABIO GOULART, ...	605		ILHA DA CONCEICAO	2 - INDUSTRIAL	N8211300
	RUA MARIO TRILHA, 136	136		ILHA DA CONCEICAO	2 - INDUSTRIAL	N8211300
	RUA MNS RAEDER, 58	58		BARRETO	2 - INDUSTRIAL	N8211300
O DE...	RUA ENG FABIO GOULART, ...	605		ILHA DA CONCEICAO	2 - INDUSTRIAL	N8129000

Uso

- 3 - COMERCIAL 40,67%
- 4 - SERVICOS 29,85%
- 1 - RESIDENCIAL 29,00%
- 6 - ATVCULT.E.DIV. 0,64%
- 2 - INDUSTRIAL 0,26%
- 5 - ATVRELIGIOSAS 0,28%
- 7 - TRANSP-COMUNIC. 0,12%

Selecionar filtros de atributo (11)

Número
0 para 95.000

Complemento
1.000 valores

Bairro
55 valores

Uso
7 valores

Figura 5: Visualização do banco de dados do SIGEO

CONCLA
COMISSÃO NACIONAL DE CLASSIFICAÇÃO

Esta página disponibiliza as classificações estatísticas nacionais, para temas selecionados, usadas no sistema estatístico e nos cadastros administrativos do País e as classificações internacionais a elas associadas.

apresentação | classificações | documentação | busca online | estruturas | links | central de dúvidas

Este sistema de busca permite:

Pesquisar códigos ou atividades econômicas na CNAE. O usuário pode encontrar, a partir da digitação da descrição de uma dada atividade ou de uma palavra-chave, os códigos das classes CNAE ou subclasses CNAE, que contêm as palavras digitadas, ou a partir da especificação de um código, o conjunto de atividades a ele associadas;

Indicar a posição de cada código na estrutura da CNAE, incluindo o desdobramento de subclasses CNAE e as Notas Explicativas de seu conteúdo.

Atividades | Estrutura

classificação

Hierarquia

Seção:	INDÚSTRIAS DE TRANSFORMAÇÃO
Divisão:	17 FABRICAÇÃO DE CELULOSE, PAPEL E PRODUTOS DE PAPEL
Grupo:	17.2 Fabricação de papel, cartolina e papel-cartão
Classe:	17.21-4 Fabricação de papel
Subclasse:	1721-4/00 Fabricação de papel

Figura 6: Estrutura do código CNAE

Após realizar a classificação das empresas segundo o CNAE, o segundo passo foi identificar quais possuíam potencial poluidor segundo a resolução INEA nº 52 de 19 de março de 2012 que estabelece os novos códigos para o enquadramento de empreendimentos e atividades poluidores ou utilizadores de recursos ambientais, bem como os capazes de causar degradação ambiental, sujeitos ao licenciamento ambiental. A listagem do INEA classifica as atividades com potencial poluidor inicial mínimo (PPIM) em insignificante, baixo, médio e alto. Após a comparação das 128 atividades de uso industrial encontradas na cidade com a listagem do INEA, descartou-se todas com a classificação insignificante e chegou-se a um total de 74 empresas com potencial poluidor instaladas na cidade, sendo a sua maioria com a classificação baixo. Ressalta-se que em alguns casos em que a atividade não era encontrada na listagem do INEA, foi necessário a correlação com atividades similares.

A partir dos dados disponibilizados na ANTAQ foram mapeados também os portos que se encontram operantes na cidade. Após a identificação e localização dos pontos foi utilizado o software QGIS para espacialização dos dados obtidos.

Para identificação das fontes móveis foi utilizado como fonte principal para o levantamento das informações o plano de mobilidade urbana sustentável (PMUS) publicado pela PMN no ano 2019. O documento conta com informações importantes levantadas sobre a malha rodoviária da cidade, como hierarquização da malha viária dividida em principal, secundária e coletora, vias com maior intensidade de fluxo nos horários de pico e contagem de veículos nas principais vias da cidade. Além das informações coletadas a partir do PMUS foi utilizado a contagem de veículos obtidas através das câmeras da NITTRANS bem como o aplicativo *google maps* na sua interface de trânsito para observar o fluxo nas vias de tráfego durante os horários de pico. Todos esses dados são de extrema importância para identificar a contribuição dos veículos automotores na poluição do ar na cidade, como para a determinação do posicionamento e escolha do local ideal para instalação dos monitores como exposto na seção 2.6.2.

Outro fator importante que contribui para a poluição do ar, são as queimadas, Niterói sendo uma cidade com 56% do seu território composto por áreas verdes conservadas (Atlas das Unidades de Conservação do Município de Niterói, 2018) sofre com ocorrências de queimadas, principalmente em períodos de condições extremas de umidade relativa do ar baixa, elevadas temperaturas e estiagem. Desta forma, essas ocorrências foram classificadas nesse estudo como fontes áreas de poluição. Para o levantamento das áreas mais suscetíveis a ocorrência de incêndio em vegetação, foram utilizados dados do relatório realizado pela empresa nova terra no ano de 2014, neste ano a PMN contratou a empresa para realizar um levantamento das áreas afetadas por ocorrência de incêndios depois que a cidade passou por um período de estiagem prolongado. Diante do número alarmante de ocorrência de incêndios durante esse período, a PMN buscou soluções tanto para o combate nos momentos de crise, quanto na prevenção do risco. Assim foi contratado junto a empresa nova terra os seguintes serviços:

O imageamento em alta resolução do Município de Niterói por satélite, nas datas mais apropriadas para documentar a crise e os danos à vegetação; Mapeamento dos focos de incêndio e áreas atingidas pelo fogo; Análise dos danos causados à vegetação pelas ocorrências de incêndio; Análise do risco de novos eventos, baseado no mapeamento atual e condições fisiográficas. Assim, as áreas classificadas a partir desse estudo como alto risco de incêndio em vegetação juntamente com dados de ocorrências de fogo em vegetação obtidos a partir do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro CBMERJ para os anos de 2019 a 2021, foram considerados como fontes áreas. Por serem áreas com incidência recorrente de incêndios em vegetação essas áreas devem ser consideradas na avaliação da implementação de uma rede de monitoramento.

4. RESULTADOS

O entendimento da dinâmica dos poluentes na atmosfera está intimamente ligado às características físicas e meteorológicas da região de estudo. Segundo Sewell (1978), os fatores que determinam a severidade da poluição do ar podem ser classificados em duas grandes categorias, uma associada às atividades humanas e a outra ao meio natural. As pessoas planejam as tecnologias e selecionam as fontes de energia que conduzem às descargas poluidoras, mas, há um conjunto de fatores naturais que influenciam a localização e severidade de um problema de poluição. Os mais importantes são meteorológicos (relacionados com a atmosfera e seus fenômenos, especialmente o clima) e topográficos.

4.1 Caracterização Física

O Município de Niterói insere-se na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, sudeste do Brasil e abrange uma área aproximada de 133,757 km², com população estimada em 516.981 habitantes, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). Subdivide-se em cinco regiões de planejamento: Região Norte, Praias da Baía, Pendotiba, Leste e Oceânica totalizando 52 bairros (Figura 7). Seus limites políticos se dão a oeste com a Baía de Guanabara, a sul com o Oceano Atlântico, a norte com o município de São Gonçalo e a leste com o município de Maricá. (SMDCG, 2020)

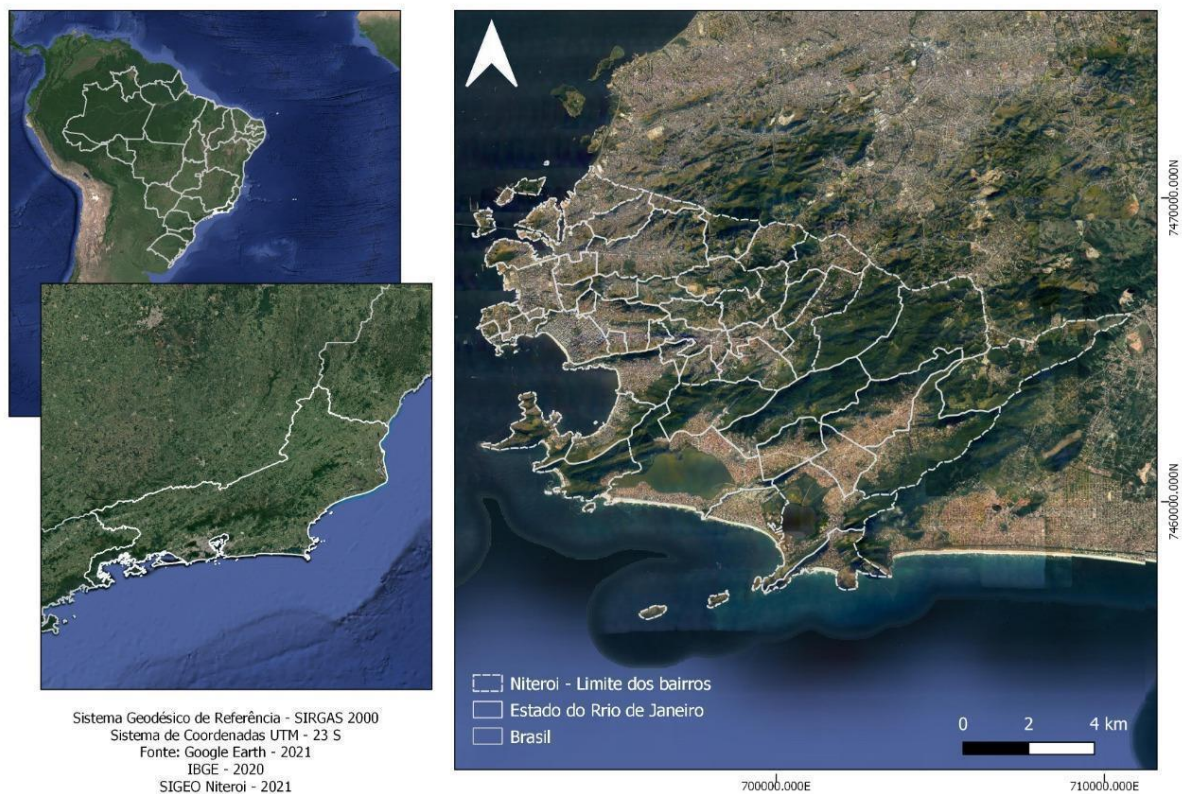


Figura 7: Localização do município de Niterói/RJ e Limite dos Bairros.

O relevo do Município de Niterói caracteriza-se pela conjugação de extensas faixas de planícies, notadamente junto ao litoral, que são interrompidas por conjuntos alongados de morros que alcançam altitudes da ordem de algumas centenas de metros.

Ao Sul, os morros se alinham formando uma série de cordões montanhosos de orientação NE-SW. Ao Norte, predomina um relevo mais baixo composto por colinas dissecadas formando o denominado “mar de morros” ou “Morraria de Niterói-São Gonçalo (Figura 8). Encontram-se também alguns morros isolados como o Morro da Penha, o da Ilha da Conceição e a Ilha da Boa Viagem principalmente.

Nas áreas de planície, distinguem-se aquelas com orientação E-W para a Baía de Guanabara (Centro, Icaraí e São Francisco) e aquelas com orientação NE-SW para o Oceano Atlântico (Piratininga e Itaipu). (SMDCG, 2020)

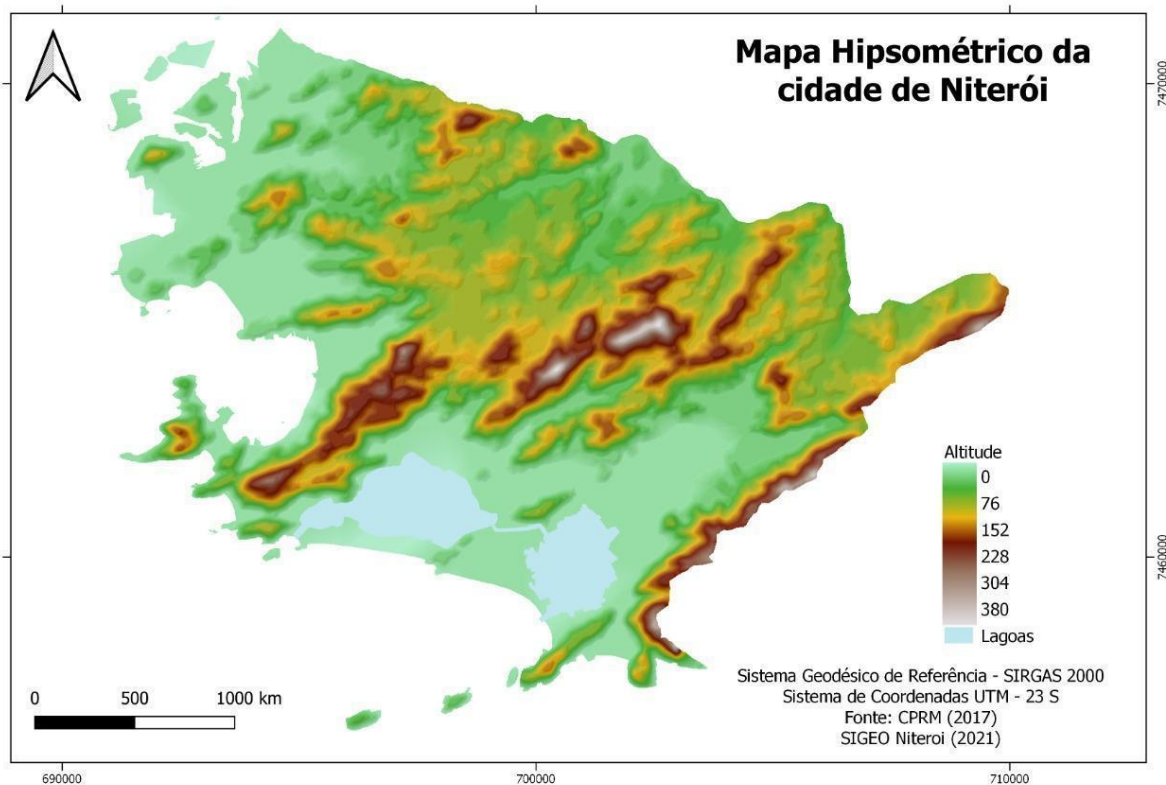


Figura 8: Relevo do Município de Niterói

O Uso do Solo do município de Niterói (Figura 9) foi classificado em diferentes categorias, sendo estas: afloramento rochoso, agrícola, cemitério, cobertura vegetal, corpo Hídrico, exploração mineral, praia, rocha, uso misto e urbano. Na tabela abaixo pode-se observar a relação das categorias pela sua área correspondente em Km². Observa-se que o município possui uma área de 49,09 km² com uso do solo do tipo urbano. Essas áreas são importantes polos geradores de viagens devido a demanda de deslocamento de pessoas, o que acarreta em um grande fluxo de veículos nessas regiões se tornando assim áreas potencialmente poluidoras. Destaca-se que no ponto de vista ambiental a preservação da cobertura vegetal em Niterói ainda é um dos grandes feitos da cidade com uma área de 59,72 km².

Uso do solo no município de Niterói (RJ)

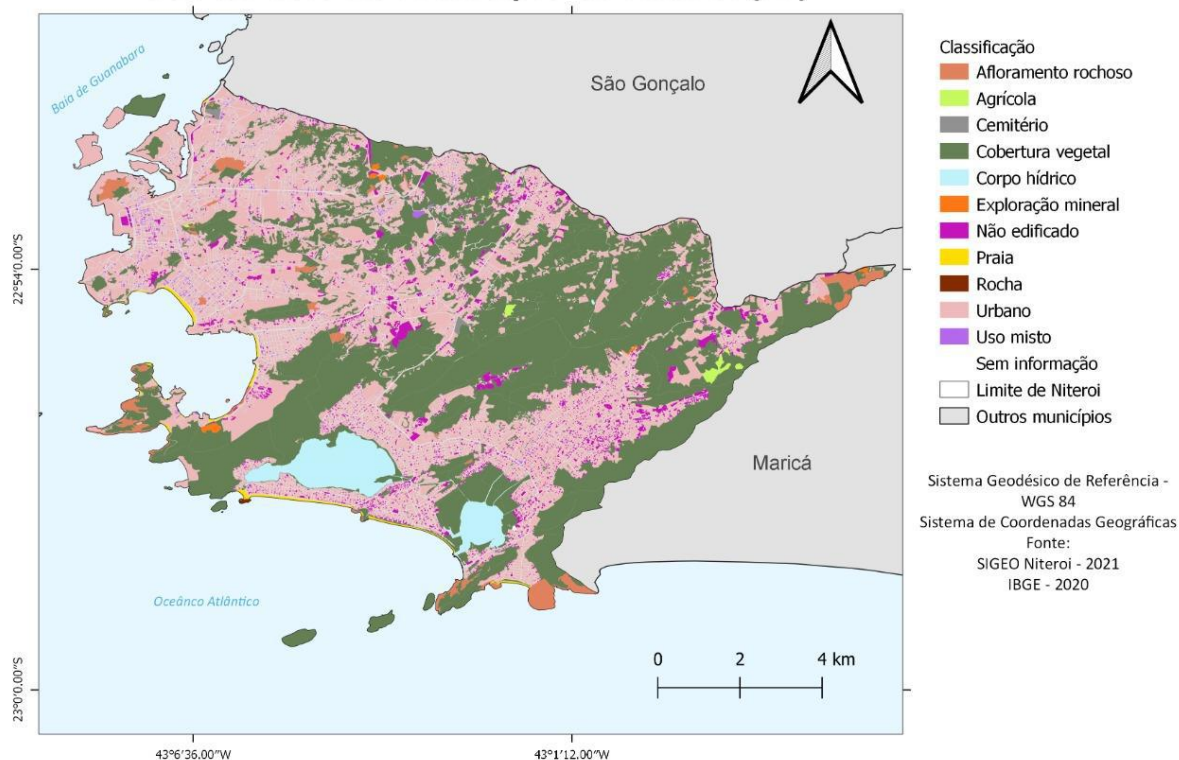


Figura 9: Uso do Solo do Município de Niterói

Quadro 7: Uso do solo do município de Niterói

Categorias	Área (km ²)
Afloramento Rochoso	0,0178
Agrícola	0,00020793
Cemitério	0,05843
Cobertura Vegetal	59,72
Corpo Hídrico	0,003664
Exploração Mineral	0,0213
Não edificado	5,66
Praia	0,5
Rocha	0,0186
Uso Misto	0,000759
Urbano	49,09

4.2 Caracterização Meteorológica

A determinação da qualidade do ar em uma região está diretamente relacionada as interações dos processos físicos e químicos da atmosfera, por este motivo o conhecimento das características meteorológicas da região é fundamental para o estudo da poluição do ar.

A Região Sudeste permanece sob a influência de grandes fenômenos meteorológicos ao longo do ano, e que em conjunto, influenciam diretamente no clima do município de Niterói, que está classificado como tropical do tipo Aw com verões quentes e invernos moderados. Assim, um Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) influencia as condições atmosféricas na maior parte do tempo, ocasionando pouca nebulosidade, temperaturas mais elevadas e ventos de direção nordeste de fraca intensidade. A chegada de frentes frias, ciclones extratropicais e atuação de áreas de instabilidade, geradas por ventos em altitude ou pela junção do calor com umidade, interrompem esta estabilidade na maior parte das vezes, ocasionando aumento de nebulosidade e chuva, e em convecções mais profundas, raios, rajadas de vento e granizo. Em especial, durante os meses de novembro a março é comum a ocorrência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que se caracteriza por uma banda de nebulosidade convectiva, estendendo-se em geral desde a Amazônia, até o Oceano Atlântico, numa direção noroeste-sudeste. A atuação deste fenômeno por vários dias, ocasiona grandes volumes de chuva. No inverno, as frentes frias deslocam-se mais rapidamente e não conseguem entrar no interior do continente, não induzindo assim, atividade convectiva sobre o Sudeste do Brasil. Com isso, na cidade de Niterói, o período chuvoso se encontra nos meses pertencentes à estação primavera e verão, e o período seco às estações outono e inverno. Em relação às temperaturas, na primavera e no verão é comum a permanência de uma massa de ar quente, associada ao ASAS, e também o um maior aquecimento continental, favorece a maior frequência de temperaturas máximas elevadas. No outono e no inverno, massas de ar mais secas e frias, atuam na Região, favorecendo temperaturas mais amenas.

Nesta seção serão apresentados dados oriundos das estações instaladas na cidade de Niterói. Das 5 regiões administrativas existentes na cidade 3 possuem registros de dados meteorológicos, região norte, região praias da baía e região oceânica sendo as estações localizadas nos bairros do Barreto, Charitas e Piratininga (Figura 10). O período de dados disponíveis compreende entre o ano de 2016 e 2021 conforme Quadro 8.

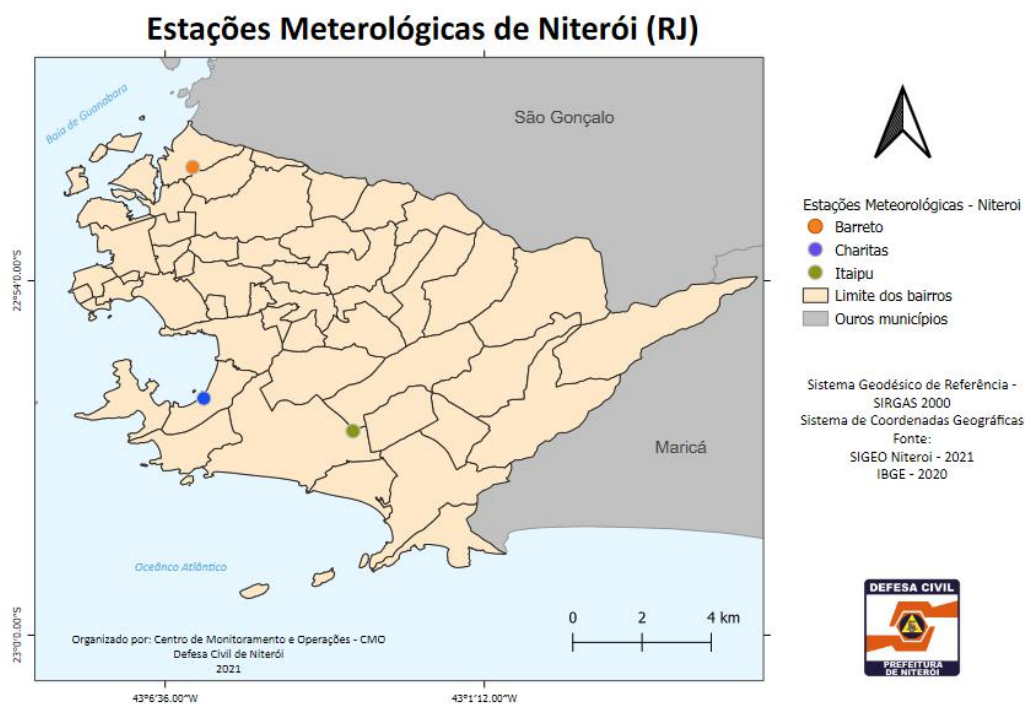


Figura 10: Estações Meteorológicas instaladas na cidade de Niterói.

Quadro 8: Período de Funcionamento de cada EMA de Niterói.

Nome da estação	Órgão	Início	Fim
Normal Climatológica	IMMET	1931	1960
Barreto	INMET	14/07/2018	*
Charitas	PMN	01/09/2016	31/01/2020
Piratininga	PMN	01/12/2016	31/01/2020
* estação operante até os dias atuais.			

Fonte: SMDCG, 2021 e INMET, 2021.

4.2.1 Temperatura

Os dados apresentados a seguir foram obtidos a partir das normais climatológicas fornecidas pelo INMET, estação meteorológica automática do INMET localizada no bairro do Barreto e das estações da PMN localizadas em Charitas e Piratininga.

A Figura 11 apresenta as médias das temperaturas máximas, médias e mínimas compreendidas entre julho de 2018 e julho de 2021. É possível identificar o comportamento

sazonal, com temperaturas mais baixas no período do inverno e temperaturas mais elevadas no período do verão.

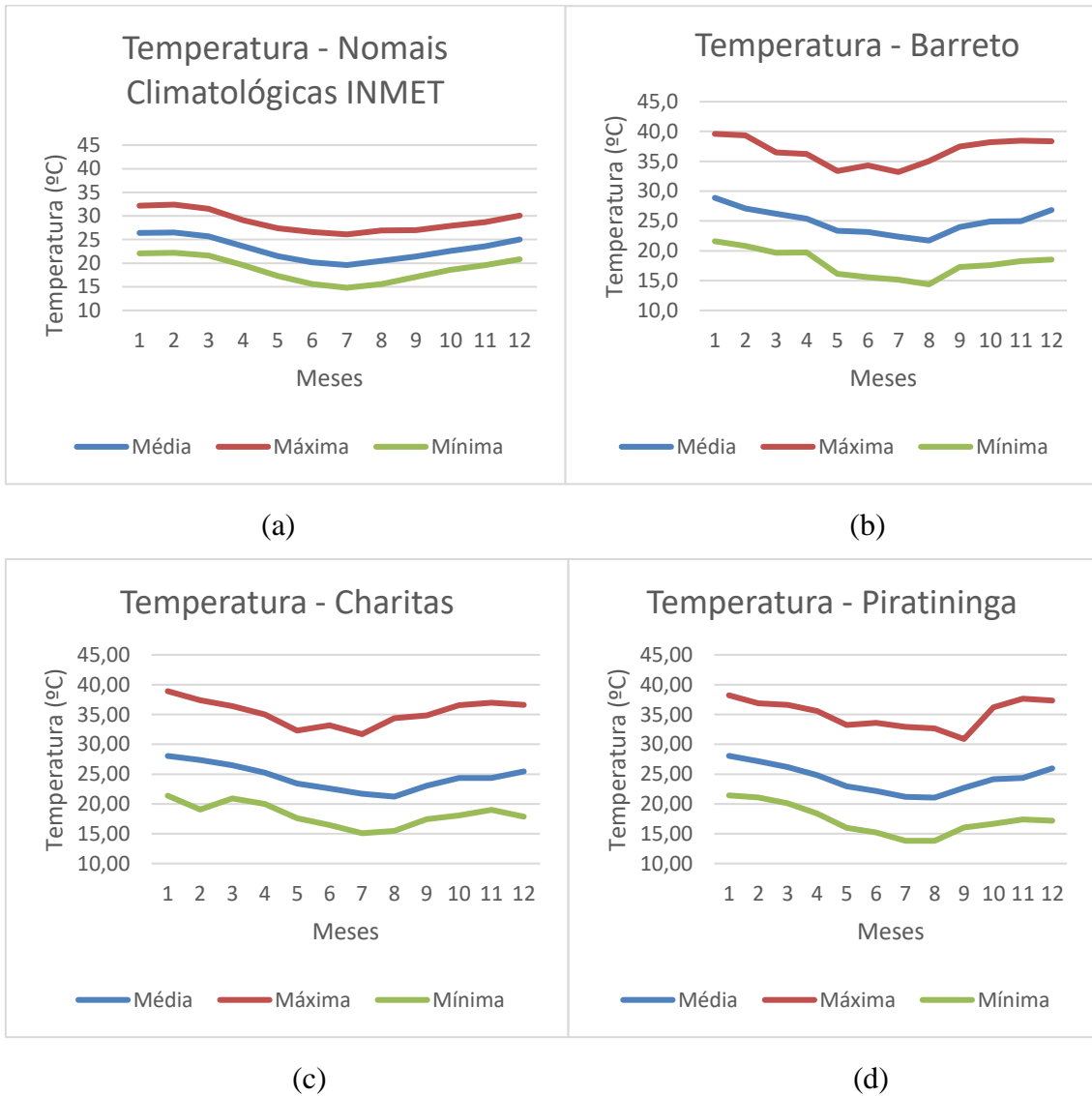


Figura 11: Temperatura média na cidade de Niterói. (a) Normais climatológicas, (b) Barreto, (c) Charitas, (d) Piratininga. Fonte: SMDCG, 2021 e INMET, 2021.

Quadro 9: Temperaturas Médias na cidade de Niterói

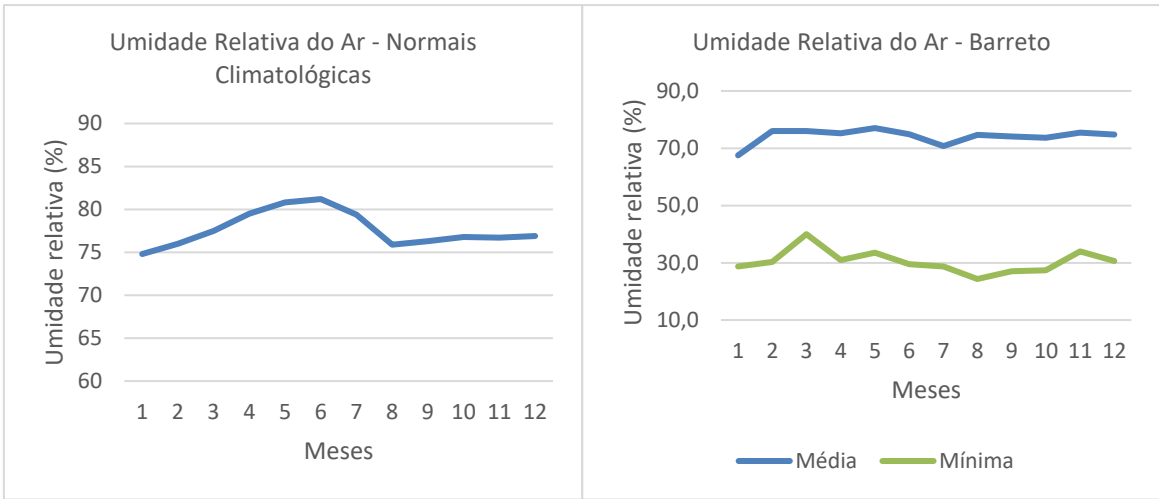
Fonte: SMDCG, 2021 e INMET, 2021.

Normais climatológicas - INMET													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Máxima	32,2	32,4	31,5	29,1	27,4	26,6	26,1	26,9	27	27,9	28,7	30,1	28,83
Média	26,4	26,5	25,7	23,6	21,5	20,2	19,6	20,5	21,4	22,6	23,6	25	23,05
Mínima	22,1	22,2	21,6	19,6	17,3	15,6	14,8	15,6	17,1	18,6	19,6	20,8	18,74
Barreto													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Máxima	39,6	39,3	36,5	36,3	33,4	34,3	33,2	35,0	37,5	38,2	38,5	38,4	36,7
Média	28,9	27,1	26,2	25,4	23,4	23,2	22,4	21,7	24,0	24,9	25,0	26,8	24,9
Mínima	21,6	20,8	19,7	19,7	16,2	15,6	15,1	14,4	17,3	17,6	18,3	18,5	17,9
Charitas													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Máxima	38,9	37,4	36,4	35,0	32,3	33,2	31,7	34,4	34,8	36,5	37,0	36,6	35,3
Média	28,0	27,4	26,5	25,2	23,4	22,6	21,7	21,2	23,1	24,3	24,3	25,4	24,4
Mínima	21,4	19,0	20,9	20,0	17,6	16,4	15,1	15,5	17,4	18,1	19,0	17,9	18,2
Piratininga													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Máxima	38,2	36,9	36,6	35,6	33,2	33,6	32,9	32,6	30,9	36,2	37,6	37,3	35,1
Média	28,1	27,2	26,2	24,8	23,0	22,1	21,2	21,1	22,7	24,2	24,4	26,0	24,2
Mínima	21,4	21,1	20,1	18,4	16,0	15,2	13,8	13,8	16,0	16,7	17,4	17,2	17,3

A partir dos dados é possível inferir que a temperatura média anual na região de estudo varia de 23,0 a 24,9°C, com temperaturas acima de 21°C durante todo o ano. As maiores médias ocorrem entre os meses de dezembro e março, sendo janeiro o mês mais quente (28,9°C). As menores temperaturas médias ocorrem entre maio e setembro, sendo agosto o mês mais frio (21,7°C). As temperaturas médias máxima variam de 33,2°C (julho) a 39,3°C (fevereiro). Os dados de temperatura média mínima variam de 14,4°C (agosto) a 21,6°C (janeiro).

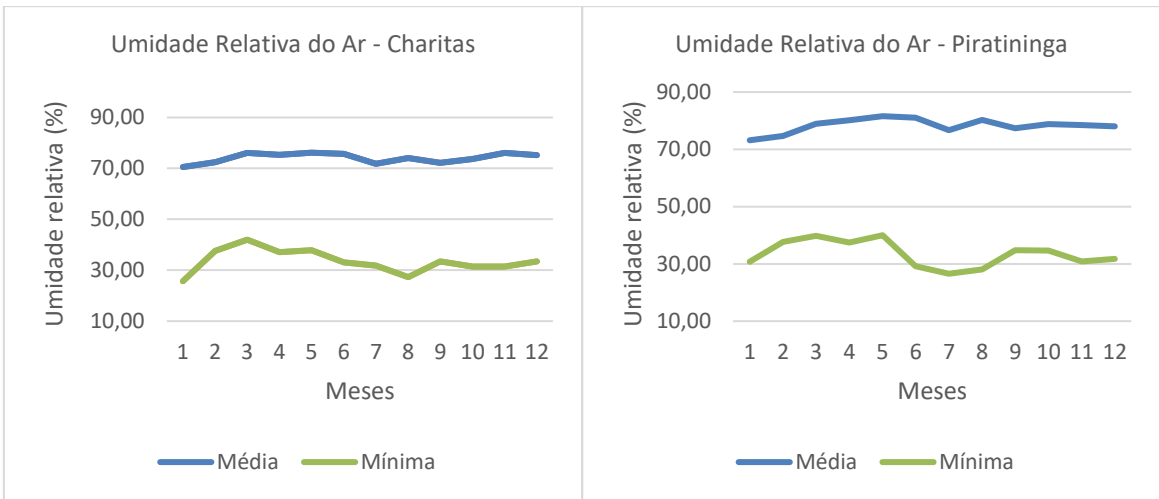
4.2.2 Umidade Relativa

A partir da análise dos dados apresentados na Figura 12 é possível observar que os valores de umidade relativa média variam entre 67,5 e 81%, apresentando uma amplitude de aproximadamente 13 %, observa-se também uma variação de aproximadamente 44% entre a média e mínima umidade relativa, variando entre 74,1 e 30,4%.



(a)

(b)



(c)

(d)

Figura 12: Umidade média na cidade de Niterói. (a) Normais climatológicas, (b) Barreto, (c) Charitas, (d) Piratininga. Fonte: SMDCG, 2021 e INMET, 2021.

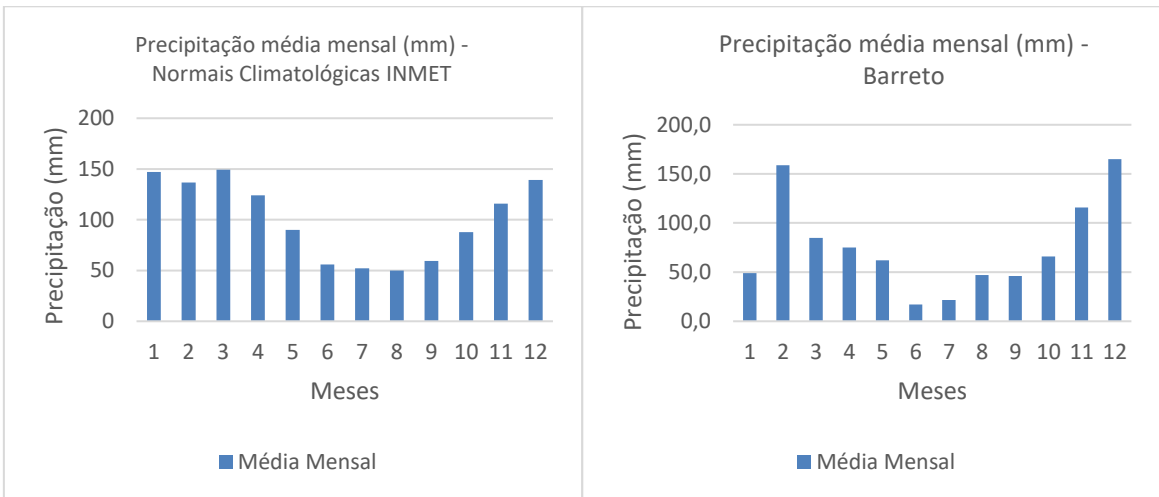
Quadro 10: Umidade Média na cidade de Niterói.

Normais climatológicas - INMET													
Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Média	74,80	76,00	77,50	79,50	80,80	81,20	79,40	75,90	76,30	76,80	76,70	76,90	77,65
Barreto													
Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Média	67,52	76,00	76,06	75,18	77,05	74,85	70,75	74,70	74,12	73,67	75,50	74,77	74,18
Mínima	28,7	30,3	40,0	31,0	33,5	29,5	28,7	24,3	27,0	27,3	34,0	30,7	30,4
Charitas													
Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Média	70,56	72,43	76,08	75,40	76,18	75,72	71,77	74,12	72,25	73,75	76,10	75,18	74,13
Mínima	25,70	37,57	42,00	37,10	37,80	33,10	31,77	27,27	33,47	31,50	31,50	33,50	33,50
Piratininga													
Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Média	73,17	74,65	78,89	80,10	81,58	81,00	76,69	80,23	77,33	78,84	78,50	78,06	78,26

Fonte: SMDCG, 2021 e INMET, 2021.

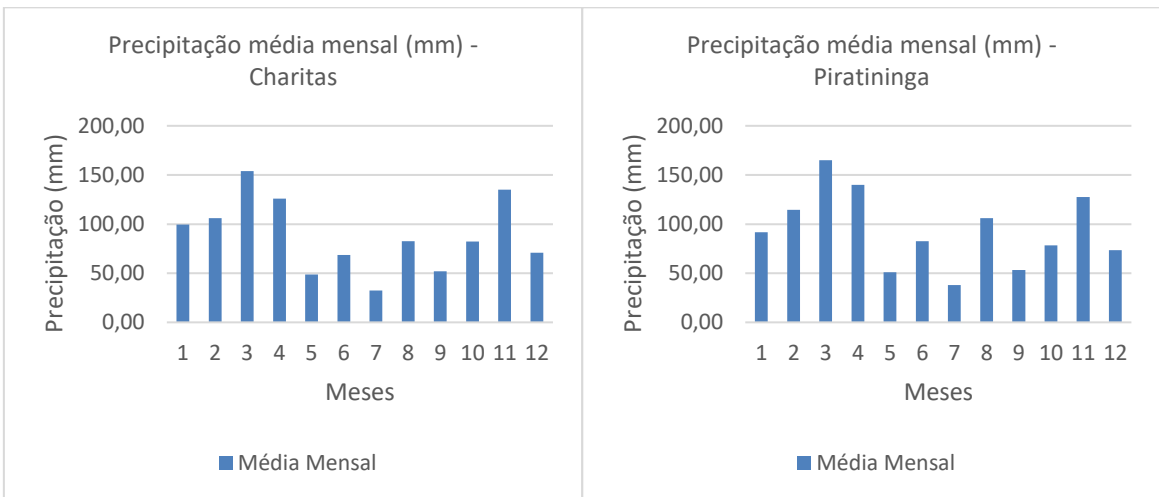
4.2.3 Precipitação

Para o período de observação (2018-2021), a precipitação média anual foi de 75,7 mm, observa-se que os meses do verão (dezembro-março) apresentam os maiores índices pluviométricos, exceto janeiro que neste período avaliado apresentou valores baixos de precipitação. Nos meses de junho a agosto, são observados os menores índices pluviométricos marcando a estação mais seca do ano, sendo o mês de junho o mês mais seco. A ocorrência de chuvas intensas no verão está associada, em muitos casos, com sistemas frontais, e com a ZCAS. De acordo com a análise de Dereczynski et al. (2009), para um período de 10 anos (1996-2006), os sistemas convectivos e a ZCAS estavam associados à 77% e 13% (respectivamente) dos casos de chuva intensa no RJ.



(a)

(b)



(c)

(d)

Figura 2: Precipitação média na cidade de Niterói. (a) Normais climatológicas, (b) Barreto, (c) Charitas, (d) Piratininga. Fonte: SMDCG, 2021 e INMET, 2021.

4.2.4 Intensidade e Direção do Vento

A partir da análise das rosas dos ventos (Figura 16) observa-se que a estação do Barreto, localizada na região norte da cidade apresenta em sua composição uma significativa ocorrência de ventos de Sul, Nordeste, Leste seguido da direção Sudoeste, sendo a direção sul a com maior frequência. Os períodos da madrugada e manhã contribuem de maneira significativa para a direção nordeste e Leste observada na composição diária (figura 16b e 16c), enquanto o período da noite contribui para a direção sul predominante (figura 16e). Identifica-se um padrão de giro do vento ao longo do dia no sentido anti-horário. Além disso, o período com maior frequência de calmaria é o período da tarde com 25,16%.

A estação Charitas localizada na região Praias da Baía, apresenta um padrão bem definido de vento predominante de sudeste (figura 17), sendo influenciada pela sua proximidade com o Parque Municipal Natural de Niterói (PARNIT). Observa-se que os ventos de sudeste são predominantes na maior parte do dia, sendo o período da tarde o que apresenta ventos com maior intensidade. O período da manhã é o único que apresenta um padrão diferente, apresentando maior frequência de ventos de Noroeste, Leste e Sudeste. O Período da madrugada é o período com maior ocorrência de calmaria com 27,68%.

Na estação Piratininga, localizada na região Oceânica da Cidade observa-se uma notável atuação de ventos de Norte e Oeste, seguido de ventos de Sudeste (figura 18), sendo influenciado pelo relevo da região e proximidade com o mar e lagoas de Piratininga e Itaipu. Os ventos de Norte recebem uma maior contribuição dos períodos na noite e madrugada (figura 18a e 18e). A direção oeste pode ser observada durante todo o dia, porém apresenta uma maior ocorrência no período da manhã (figura 18b), enquanto a direção sudeste recebe uma contribuição maior do período da tarde (figura 18d). Nota-se no período da tarde ventos com maior intensidade.

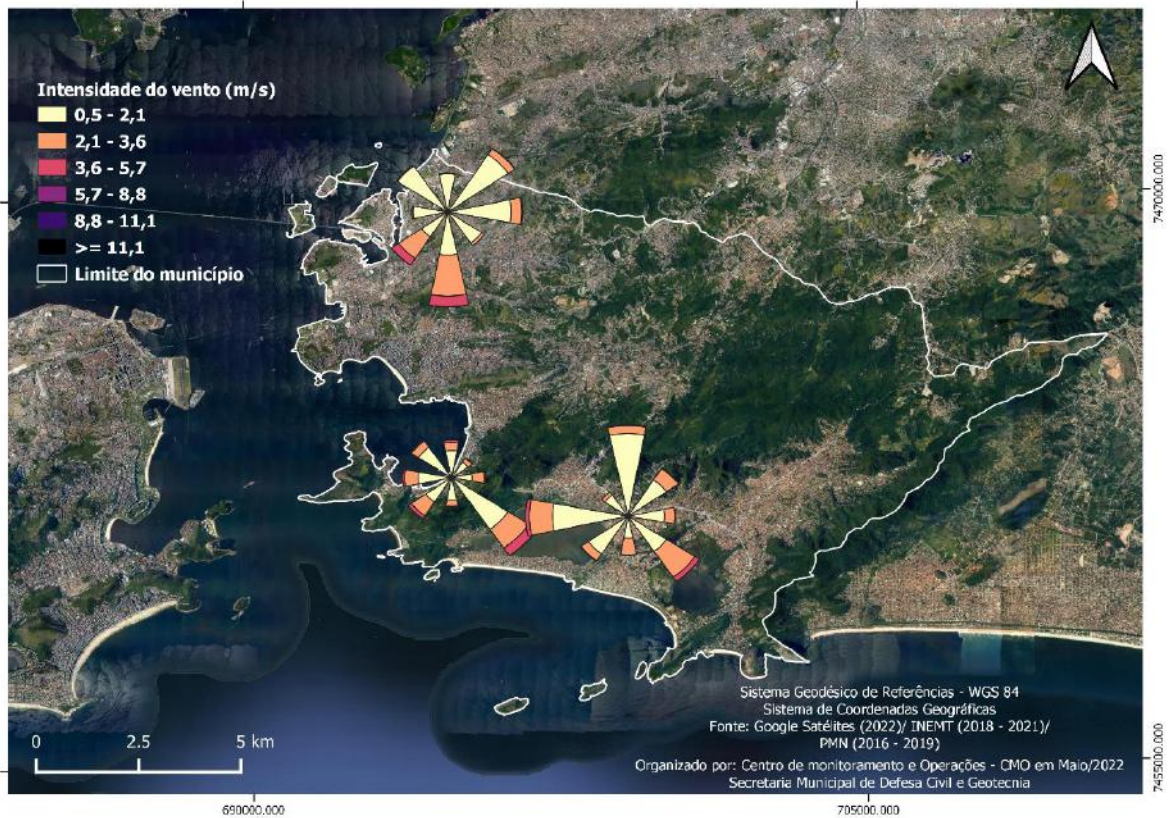


Figura 3: Comportamento da direção e intensidade do vento na cidade de Niterói.

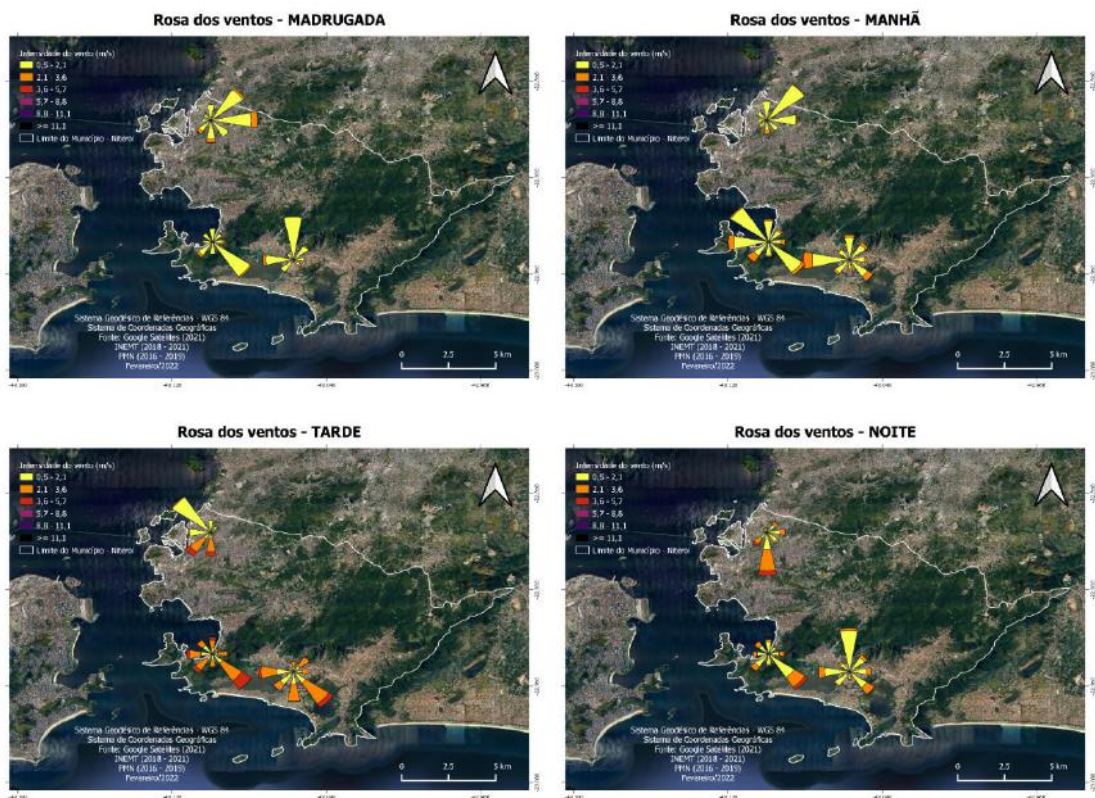


Figura 4: Distribuição de frequência dos ventos nas estações do Barreto, Charitas e Piratininga referente aos períodos da madrugada, manhã, tarde e Noite. Fonte: SMDCG, 2021 e INMET, 2021.

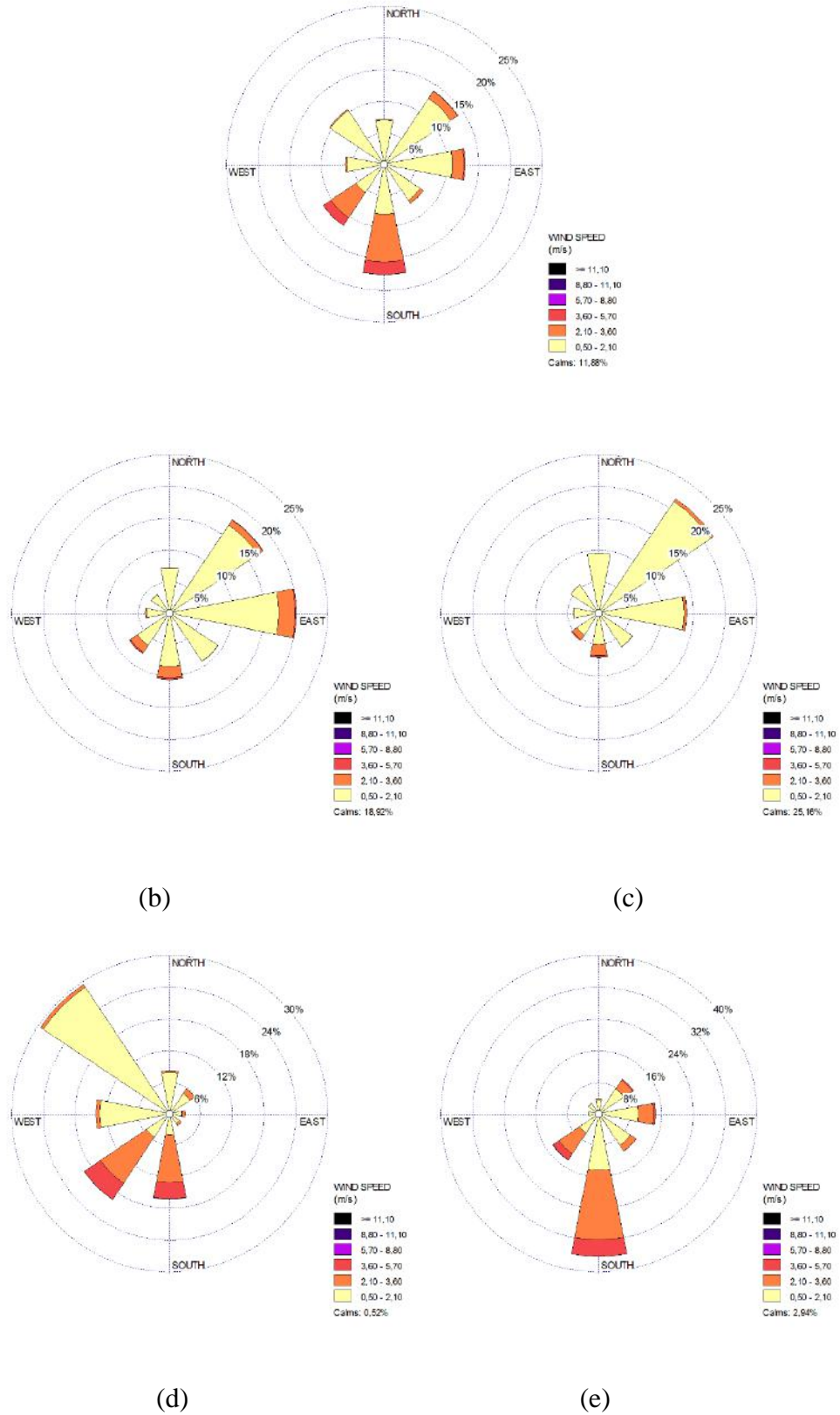
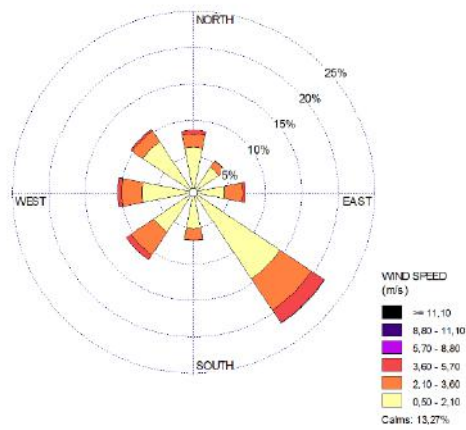
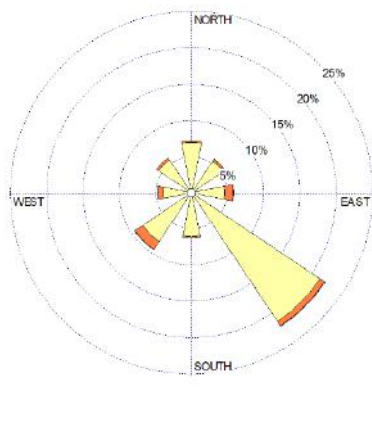


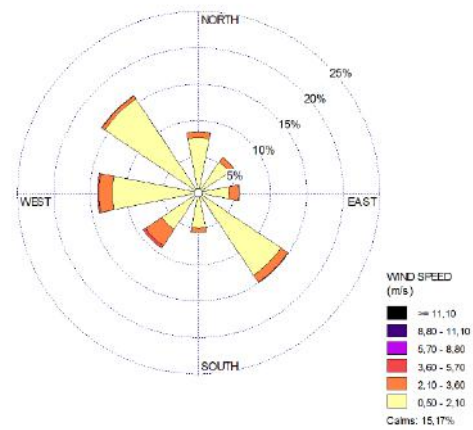
Figura 5: Rosa dos ventos da Estação do Barreto: (a) madrugada, (b) manhã, (c) tarde e (d) noite.



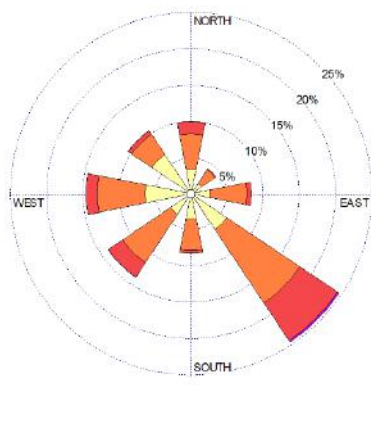
(a)



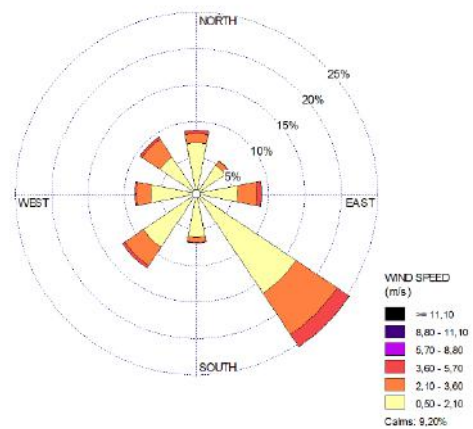
(b)



(c)

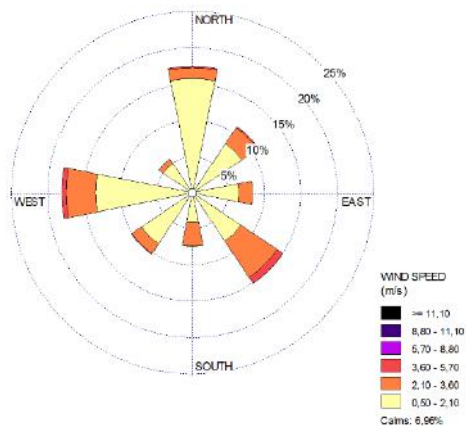


(d)

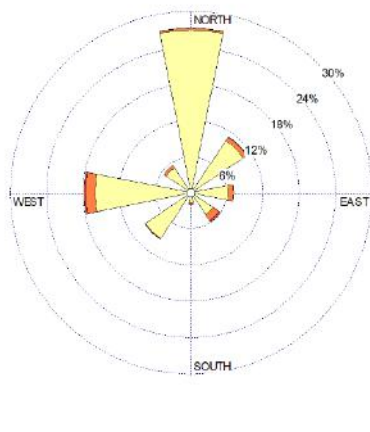


(e)

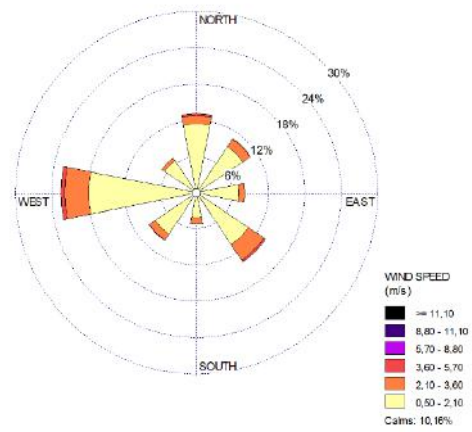
Figura 6: Rosa dos ventos da Estação de Charitas: (a) diária, (b) madrugada, (c) manhã, (d) tarde e (e) noite.



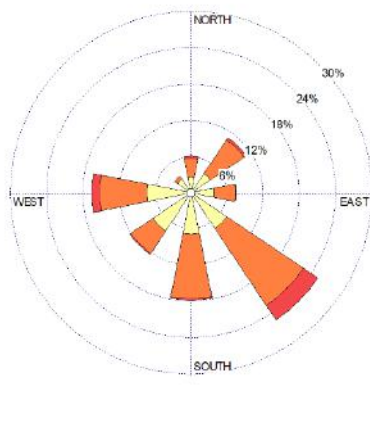
(a)



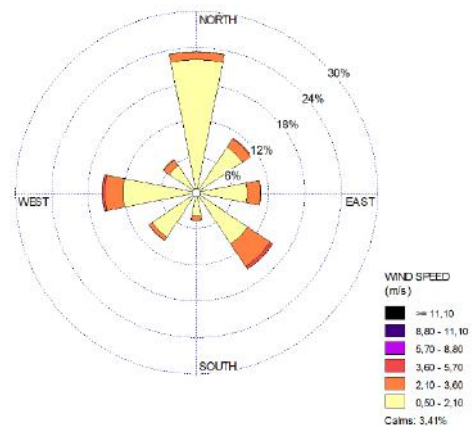
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 7: Rosa dos ventos da Estação de Piratinga: (a) diário, (b) madrugada, (c) manhã, (d) tarde e (e) noite.

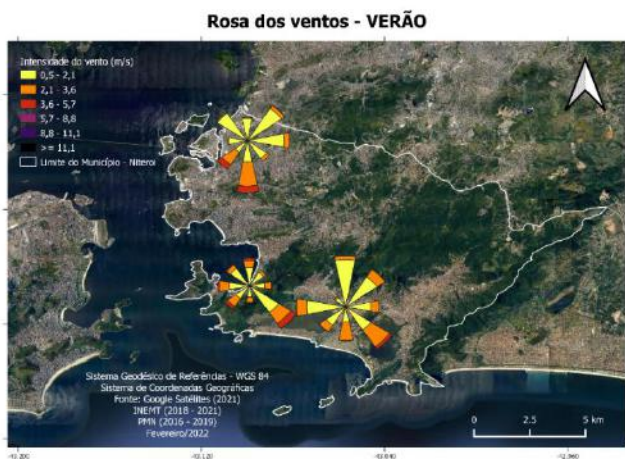
4.2.4.1 Análise Sazonal

A partir da análise das rosas dos ventos é possível identificar o comportamento do regime de vento na cidade durante o verão (figura 19a). Há uma maior ocorrência de ventos de S na região norte seguidos de ventos de NE e E. Na região praias da baía e ventos SE são predominantes, já na região oceânica da cidade há ocorrência de ventos de SE, mas também observa-se a ocorrência de ventos de N e O.

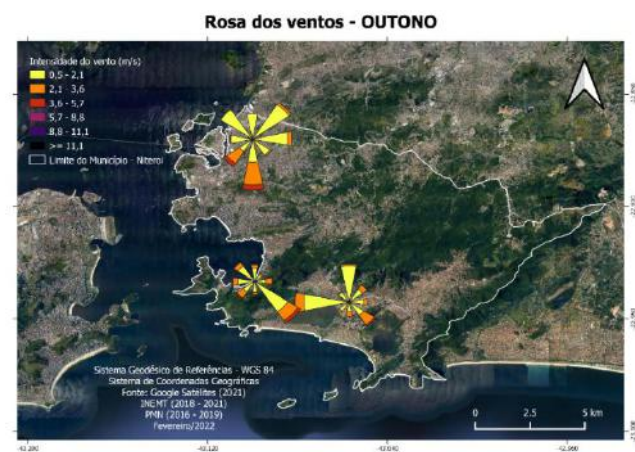
Durante o outono (figura 19b) a região norte e praias da baía não apresentam muita diferença no regime de vento permanecendo uma predominância de ventos de S, seguido de NE e E na região norte e SE na região praias da baía. Na região oceânica observa-se uma redução na ocorrência de ventos de SE sendo as direções predominantes O e N.

Durante o inverno (figura 19c) as regiões norte e praias da baía permanece com padrões semelhantes as estações do verão e outono. Na estação de Piratininga observa-se um aumento na ocorrência de ventos de SO, em relação as estações anteriores.

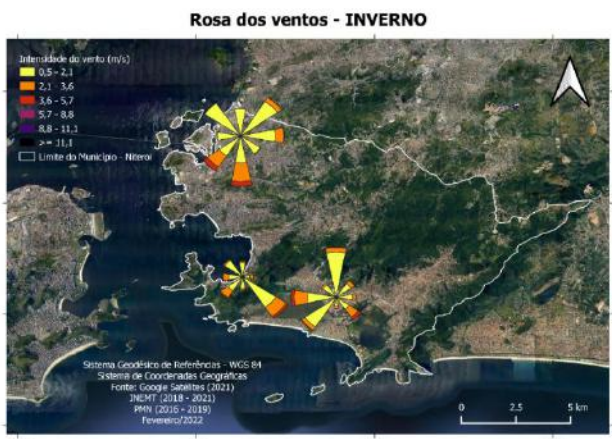
Na primavera (figura 19d) é possível identificar uma maior variabilidade na direção do vento nas estações do Barreto e Charitas, mas ainda apresentando uma maior ocorrência de ventos de Sul, Sudeste respectivamente. A estação de Piratininga voltar a apresentar um regime semelhante à estação do verão com ventos de SE, N e O sendo os mais recorrentes.



(a)



(b)



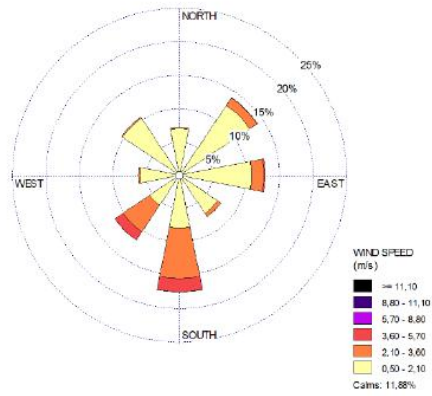
(c)



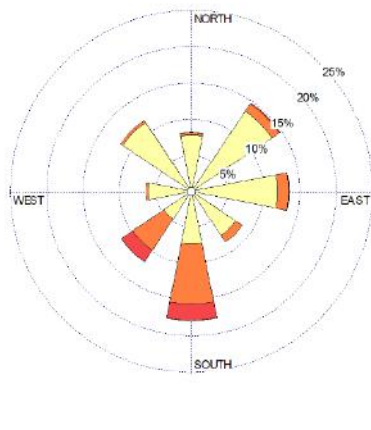
(d)

Figura 8: Análise espacial do comportamento médio da direção e intensidade do vento durante o verão na cidade de Niterói. (a) verão, (b) Outono, (c) Inverno e (d) Primavera.

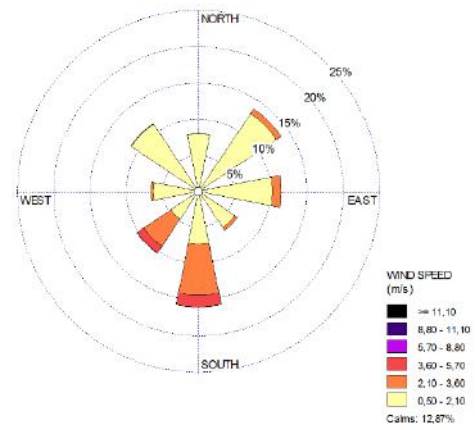
Fonte: SMDCG, 2021 e INMET, 2021.



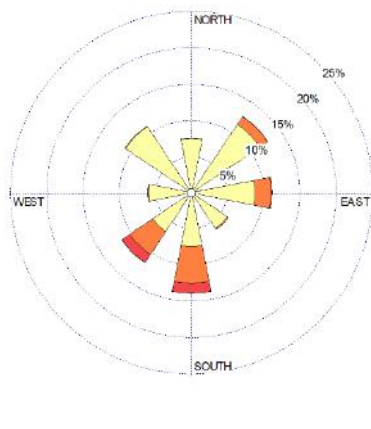
(a)



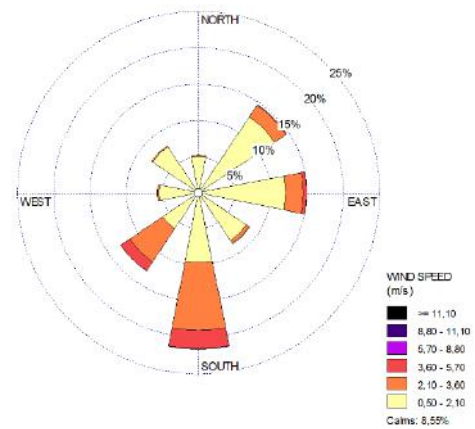
(b)



(c)

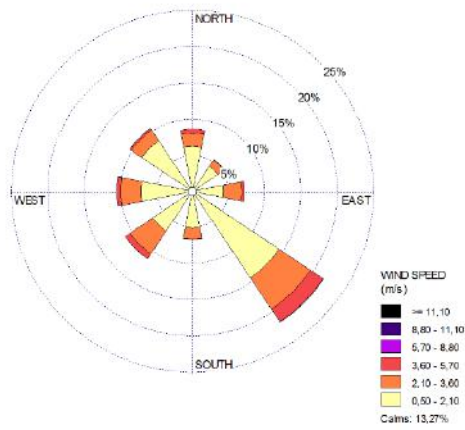


(d)

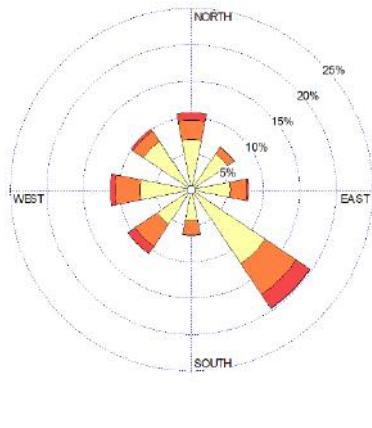


(e)

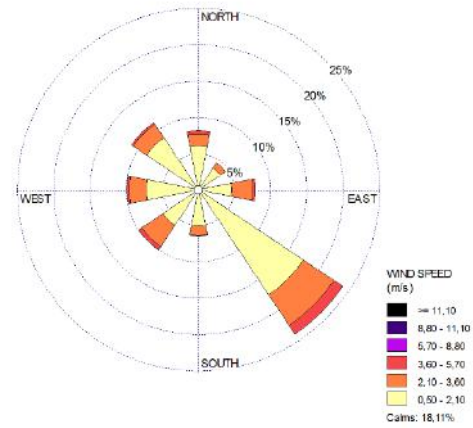
Figura 20: Rosa dos ventos estação Barreto - (a) anual, (b) verão, (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.



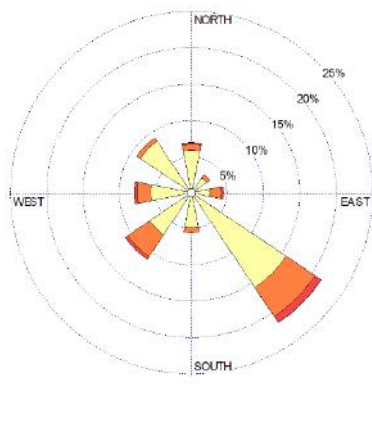
(a)



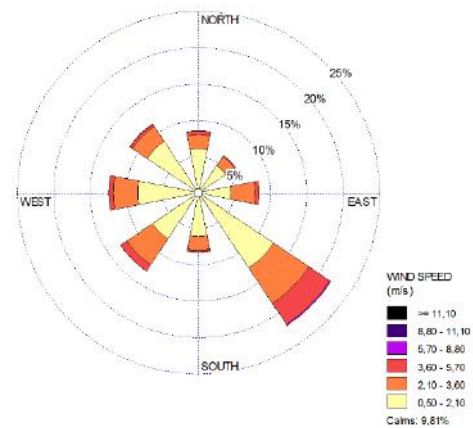
(b)



(c)

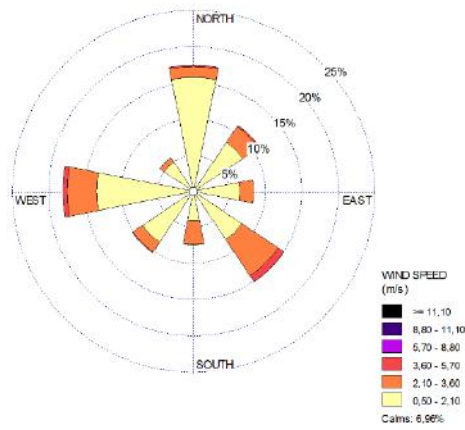


(d)

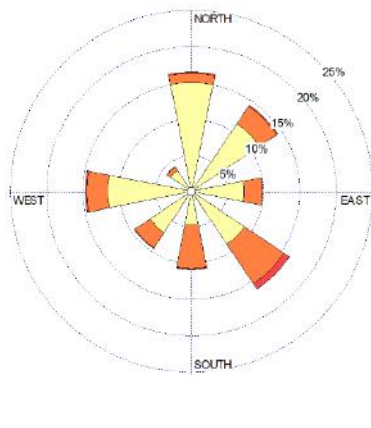


(e)

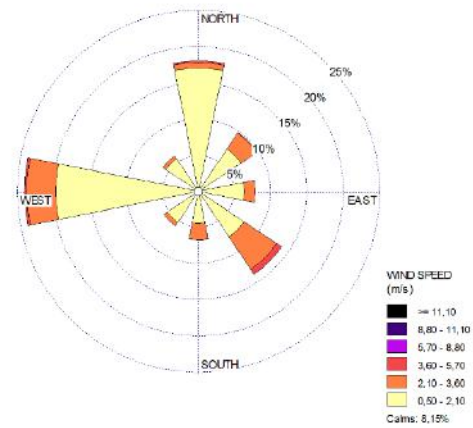
Figura 21: Rosa dos ventos estação Charitas - (a) anual, (b) verão, (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.



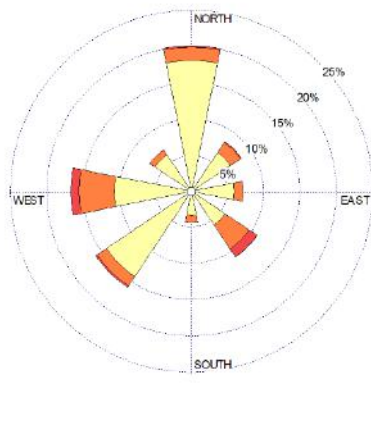
(a)



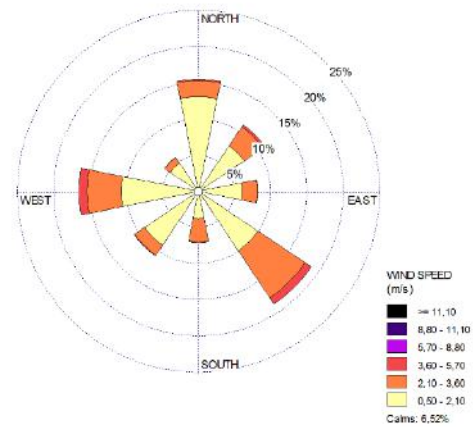
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 22: Rosa dos ventos estação de Piratinga: (a) anual, (b) verão, (c) outono, (d) inverno e (e) primavera.

4.2.5 IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DAS FONTES POLUIDORAS NA CIDADE DE NITERÓI

4.2.5.1 Fontes Fixas

O Plano de Planejamento Urbano e Sustentável da cidade de Niterói (PMUS) indica algumas das principais vocações econômicas da cidade de Niterói, e como estas se distribuem no território municipal. No quadro 12 é apresentado um resumo dessas vocações municipais.

Quadro 11: Vocações econômicas Municipais.

Setor Econômico	Descrição
Indústria naval e <i>offshore</i>	A indústria naval faz parte do desenvolvimento urbano da cidade e se instalou na área central e se estende para a Região Norte do município. Nos anos 80 essa indústria seguiu a tendência nacional de recessão e desde então foi sendo repensada dentro cenário nacional. Com o renascimento da indústria naval no início da década de 2000, vários estaleiros se instalaram na cidade. Porém desde de 2015 vem sofrendo com um processo de retração produtiva em função da crise nacional, paralisação das obras do COMPERJ e, principalmente, pela mudança de política na produção de petróleo nacional.
Óleo e gás	Niterói é um dos 14 municípios que fazem parte da área de influência do Complexo

	<p>Petroquímico do Rio de Janeiro (Comperj) e sua indústria naval atende principalmente o setor de óleo e gás. Essa indústria está associada a Indústria Naval e de Offshore se concentrado na área central em direção a região norte da cidade de Niterói</p>
<p>Turismo: parques naturais, cultura, eventos corporativos e ecoturismo</p>	<p>O município de Niterói é uma das cidades do Estado do Rio de Janeiro com maior potencial turístico, por dois aspectos – por seu patrimônio cultural material e imaterial e pelo seu patrimônio ambiental.</p> <p>O primeiro aspecto podemos exemplificar através do Caminho Niemeyer, que se localiza na área central da cidade e se estende até ao MAC (Museu de Arte Contemporânea no Ingá). O projeto de Requalificação da Área Central e das Orlas são de extrema importância para melhoria de acesso ao este patrimônio cultural;</p> <p>O segundo aspecto está relacionado aos Parques Municipais e Estaduais presentes no Município e toda a extensão de praias. As unidades de conservação que estão distribuídos pela cidade, como: Hortos (Fonseca e Itaipú), Campo de São Bento (Icaraí), Parque da Cidade (São Francisco), Parque Estadual Serra da Tiririca (Região Oceânica/Leste), PARNIT (Região Oceânica)</p>
<p>Centros universitários</p>	

	<p>O Complexo Universitário da Cidade tem sua concentração na área central da cidade com os Campus da UFF sendo a maior concentração de estudantes e funcionários. Na área central também há uma rede de ensino superior particular, em destaque a Universo, Estácio e Cândido Mendes.</p>
<p>Centros de saúde</p>	<p>Niterói possui parcela expressiva de seus empregos formais alocados em atividades de prestação de serviços de saúde de maior complexidade. Em particular nas redondezas do Hospital Universitário Antônio Pedro no Centro, há outros três hospitais: Complexo Hospitalar de Niterói, Hospital Icaraí e Hospital Municipal Carlos Tortely. A presença dessas instituições e de outras localizadas em outras partes da cidade compõe uma base para a exploração de economias de aglomeração relacionadas à prestação de serviços de saúde.</p>

Fonte: Niterói, 2019.

Segundo o PMUS essas atividades possuem uma espacialização bem definida sendo a área central concentrando as atividades do polo industrial (naval, offshore e óleo e gás), bem como o polo universitário. Já a região oceânica concentra as atividades com potencial desenvolvimento turístico associado a preservação e conservação ambiental bem como um polo gastronômico em desenvolvimento.

Afim de identificar a localização das fontes fixas emissoras de poluentes da cidade para embasar o estudo de implementação de uma rede de monitoramento da qualidade do ar, foi realizado o levantamento de dados a respeito dos empreendimentos instalados na cidade. Segundo informações obtidas a partir do banco de dados do SIGEO a cidade de Niterói possui

35.604 empresas com CNPJ ativo cadastradas, das quais a maior parte foi classificada como uso comercial (14.265), serviços (10536) e residencial (10.324) e apenas 128 são classificadas como uso industrial. (Figura 23).

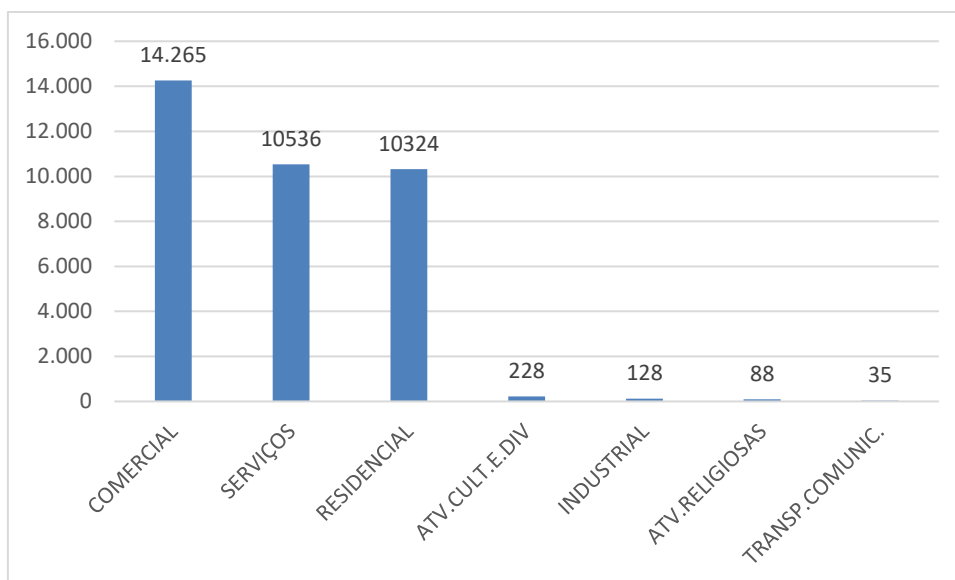


Figura 23: Classificação por uso em números das empresas ativas na cidade de Niterói.

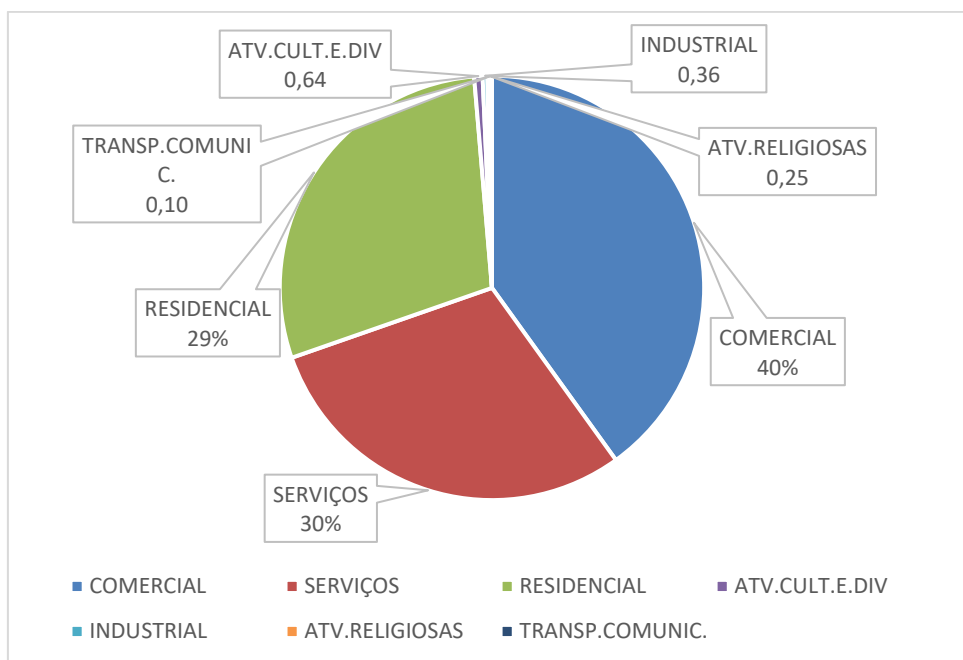


Figura 24: Classificação por uso em porcentagem das empresas ativas na cidade de Niterói.

A partir da Figura 24 observa-se que as empresas de uso industrial representam menos de 1% das empresas cadastradas na cidade, das quais 50 foram classificadas como potencial poluidor

baixo ou médio segundo a resolução do INEA nº 52/2012 as demais foram classificadas como insignificante e por isso foram descartadas da avaliação. Dentre as 50 empresas mais de 50% estão inseridas na seção de indústria da transformação, muitas relacionadas ao setor naval, indo de encontro aos dados relatados no PMUS, sendo essa, a classe que apresenta maior potencial poluidor. Com base nos dados levantados foi elaborado um mapa apresentando as atividades com potencial poluidor da cidade apresentado na Figura 25.

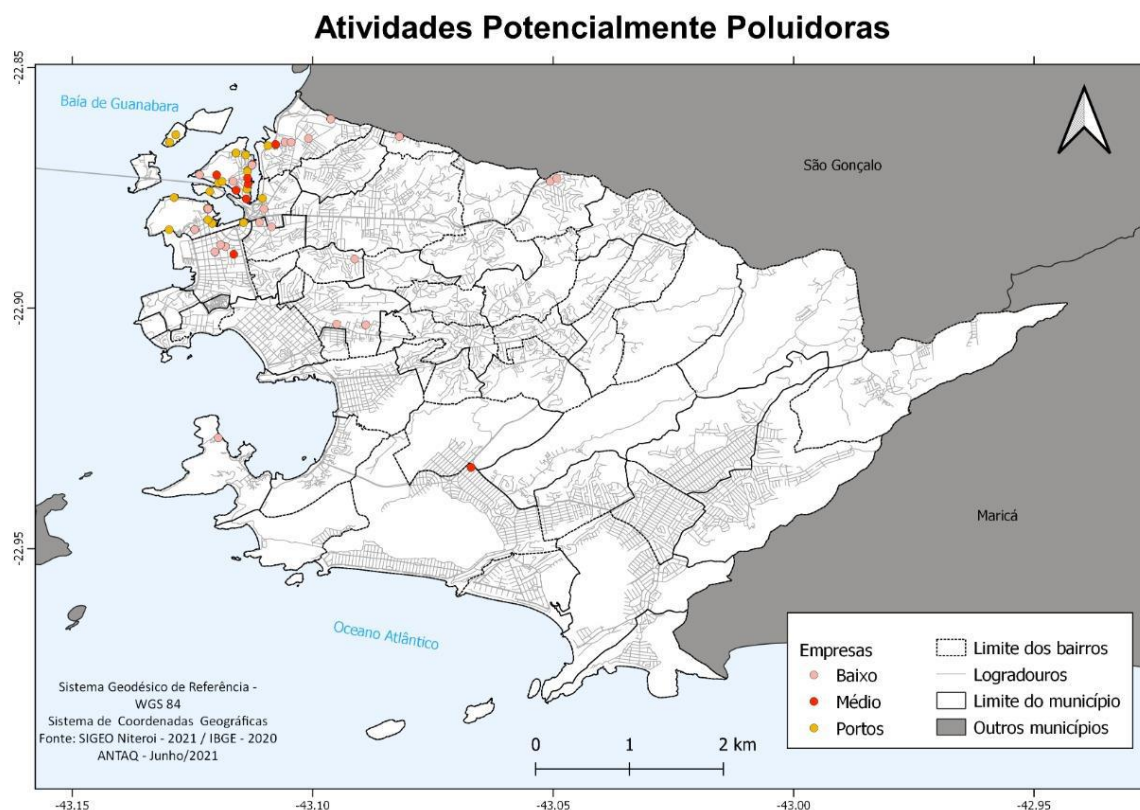


Figura 9: Atividades potencialmente poluidoras ativas na cidade de Niterói.

A partir do mapa observa-se que Niterói não é uma cidade com quantidade expressiva de atividade potencialmente poluidoras e as atividades que possuem esse potencial encontra-se concentradas na região norte da cidade, principalmente no bairro da ilha da Conceição. Na sua maioria relacionadas a área da indústria naval e extração de óleo e gás.

Sabe-se que a área do setor naval é responsável pela emissão de diversos poluentes na atmosfera, como relatado em diversos documentos disponíveis na literatura (COOPER, 2002; ECOLOGUS, 2010; IMO, 2012), os principais poluentes emitidos pelas atividades portuárias

são: SO₂; MP₁₀; óxido de nitrogênio – NO_x; CO; aldeídos – RCHO; hidrocarbonetos totais – THC. (Pontes, 2015).

Por esse motivo a região norte da cidade é uma região de especial interesse para avaliação da emissão e dispersão dos poluentes, sendo uma das áreas em destaque a ser contemplada com a instalação de monitores para monitoramento e controle da poluição atmosférica.

4.1.5.2 Fontes Móveis

O setor de transporte é uma importante fonte de poluentes urbanos, do qual 90% das emissões de gases poluentes e de dióxido de carbono são oriundos da queima de combustíveis de veículos do modal rodoviário (Corrêa, 2010). Vale ressaltar que, segundo Carvalho (2011), nos grandes centros urbanos brasileiros, o transporte individual responde por cerca de 57% das emissões de dióxido de carbono, o transporte público coletivo, por 27% das emissões, enquanto veículos pesados para transporte de carga, por 12%. Poluentes são emitidos pelos setores aéreo, marítimo, hidroviário e rodoviário por meio da queima de combustíveis, em especial combustíveis fósseis, mas também biocombustíveis. As emissões do setor de transporte rodoviário estão relacionadas à sua fonte energética, tecnologias de controle de poluição embarcadas, condições operacionais, participação de diferentes modais de transporte, tamanho da frota, entre outros fatores. Em relação à fonte energética, combustíveis fósseis como óleo diesel e gasolina ainda representam respectivamente cerca de 43% e 27% do consumo do modo rodoviário (EPE, 2020). Porém, é relevante ressaltar que biocombustíveis também geram poluentes atmosféricos (Guarheiro *et al.*, 2011), embora sua queima produza diferentes poluentes e, portanto, provocam impactos distintos na qualidade do ar. Os veículos movidos a diesel, principalmente caminhões e ônibus, emitem óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) por combustão, representando respectivamente 91% e 96% do total emitido pelo transporte rodoviário em 2012 (MMA, 2014). Já os combustíveis como gasolina e etanol estão mais relacionados à emissão do monóxido de carbono (CO), dos hidrocarbonetos não metano (NMHC) e dos aldeídos (RCHO), representando respectivamente 86%, 78% e 98% do total desses gases emitidos pelo transporte rodoviário em 2012 (MMA, 2014). Vale destacar o uso do transporte rodoviário como principal meio de deslocamento urbano, em 2018, responsável por cerca de 63% dos deslocamentos em cidades com mais de 1 milhão de habitantes (ANTP, 2020). Já o modal rodoviário por meio de caminhões foi amplamente

utilizado para a circulação de carga no país e, em 2015, representava 65% dessa movimentação (EPL, 2018). Nos últimos dez anos, o setor de transporte apresentou a maior taxa média de crescimento de demanda por energia, tornando-se, a partir de 2018, seu principal consumidor (EPE, 2019, 2020; SEEG, 2018) O consumo elevado não deve ser atribuído somente à representatividade no total de viagens realizadas, mas também à ineficiência no uso da energia. Toma-se como exemplo os automóveis, que apesar de representarem apenas 25% do total de viagens no país, consomem 60% do total de energia destinada à mobilidade urbana (ANTP, 2020). O mesmo se aplica ao transporte de carga, no qual o consumo de combustível para transportar uma tonelada de carga por caminhão é 2,7 vezes maior do que o consumo por trem (WRI, 2020 *apud* Roitman e Silva, 2018).

Niterói como município polo para a região do leste fluminense, exerce forte influência nos deslocamentos metropolitanos, seja como gerador ou atrator de viagens para outras cidades da RMRJ. O sistema viário da cidade tem uma relação intrínseca com sua evolução urbana podendo ser caracterizado a partir de dois momentos, antes e depois da criação da Ponte Rio-Niterói (Niterói, 2019).

Anterior a ponte, a malha viária tinha como principal indutor de desenvolvimento e ocupação urbana o sistema de bonde conectado às barcas (ligação Rio-Niterói), configurando a cidade em uma forma compacta por priorizar pequenas distancias a serem percorridas integrada a esse sistema de bonde/barcas. A mobilidade urbana era baseada no transporte público, tendo o transporte marítimo papel estruturante do sistema. O uso do automóvel era residual, restrito às viagens internas ao município. A partir de 1974, com inauguração da Ponte Rio-Niterói, este sistema começa a mudar. A conexão feita com o Rio de Janeiro se desloca da Praça Arariboia para as alças de acesso, onde o uso do automóvel aumenta cada vez mais. Os automóveis que por ali passam, tem por objetivo ir para outros municípios ou buscar moradia em outras regiões de Niterói, como na Região Pendotiba, na Região Oceânica e na Região Leste. Dessa forma, a ocupação urbana caracterizou-se por um espraiamento urbano através da cultura do carro particular. O sistema viário se tornou extenso e distribuído por todo o município, ocorrendo sobreposições de diferentes modos de transportes nas vias e um grande volume de infraestrutura viária construída como podemos observar na Figura 26.

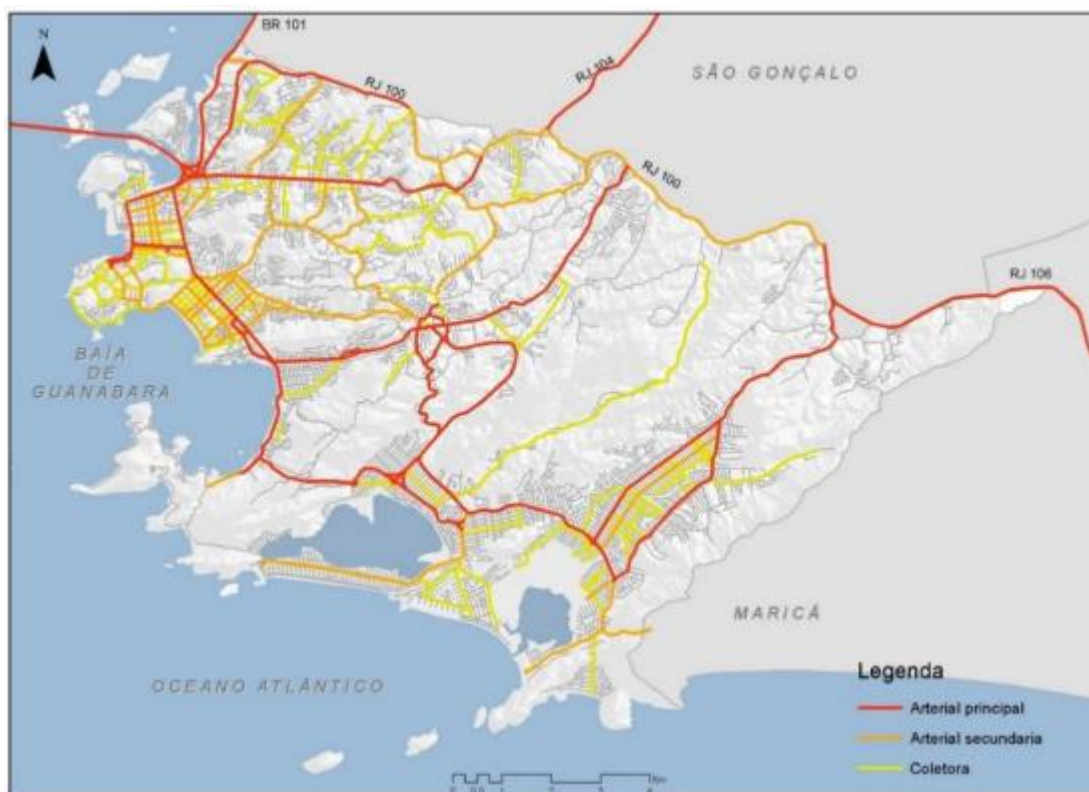


Figura 10: Hierarquização viária da cidade de Niterói

Fonte: SMU - Niterói

A crise na mobilidade urbana, caracterizada pelo aumento nos tempos de viagem nos grandes centros urbanos, possui estreita relação com a evolução da frota de automóveis. De uma frota mundial de apenas 70 milhões em 1950, registrou-se a marca de 1 bilhão de veículos em 2010.

O crescimento médio mundial é de cerca de 6,0% ao ano, com mais de 60 milhões de veículos são produzidos anualmente. Este fenômeno também foi observado no município de Niterói com o levantamento da frota de veículos nos últimos 14 anos. Sua evolução foi comparada à do estado do Rio de Janeiro e do Brasil, conforme o quadro a seguir.

Quadro 12: Crescimento da frota da cidade de Niterói comparada ao Brasil e Estado do RJ.

Ano	Frota Niterói	Frota Estado do RJ	Frota Brasil
2002	147.882	2.754.376	35.523.633
2003	152.789	2.894.882	36.658.501
2004	156.532	3.034.980	39.240.875
2005	160.791	3.186.100	42.071.961
2006	166.806	3.360.294	45.372.640
2007	175.622	3.602.571	49.644.025
2008	185.584	3.878.557	54.506.661
2009	197.632	4.158.935	59.361.642
2010	208.986	4.489.680	64.817.974
2011	220.192	4.844.198	70.543.535
2012	233.293	5.212.996	76.137.191
2013	243.790	5.568.514	81.600.729
2014	252.353	5.915.612	86.700.490
2015	257.954	6.184.773	90.686.934
2016	261.748	6.377.484	93.867.015
2017	264.586	6.539.166	97.091.956
2018	268.251	6.725.822	100.746.553
2019	272.581	6.950.941	104.784.375
2020	275.740	7.087.797	107.948.371

Fonte: IBGE, 2021

Neste período, observou-se que o crescimento em Niterói foi inferior ao do Estado do Rio de Janeiro e do Brasil, conforme a tabela a seguir. No entanto no ranking estadual, encontra-se na 4º posição. A cidade perdeu a 3ª posição no ranking em 2017 para Duque de Caxias.

NITERÓI NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

1º	Rio de Janeiro	2950213
2º	São Gonçalo	332024
3º	Duque de Caxias	294949
4º	Niterói	275740
5º	Nova Iguaçu	274920

Figura 11: Ranking da frota veicular no estado do RJ. Fonte: IBGE, 2021.

Quadro 13: porcentagem do Crescimento da frota de veículos e crescimento Médio Anual.

	Crescimento 2002-2020	Crescimento Médio Anual
Niterói	86,5 %	3,54%
Estado RJ	157,3 %	5,41 %
Brasil	203,9 %	6,40 %

Fonte: IBGE, 2021

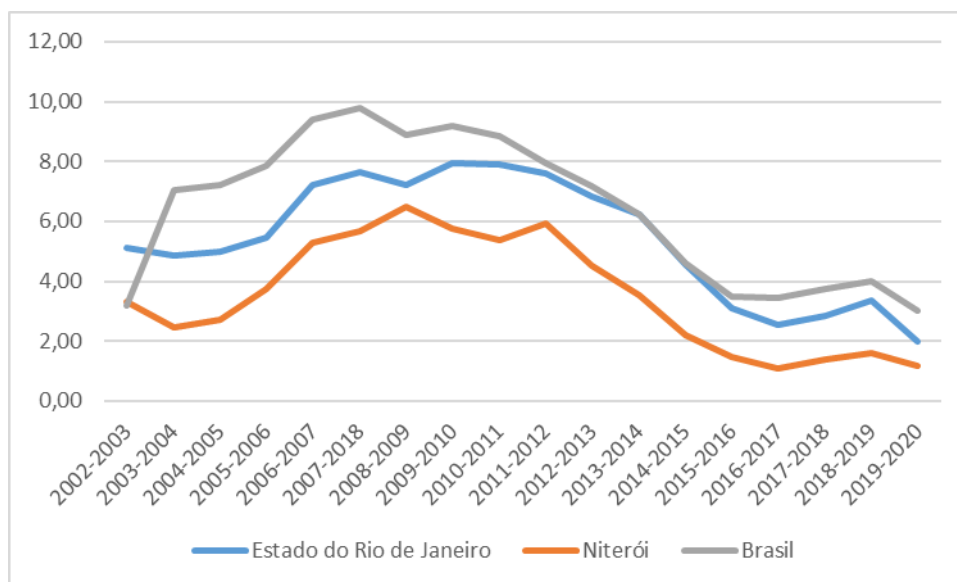


Figura 12: Taxa de crescimento de veículos. Fonte: IBGE, 2021.

Apesar da frota municipal ter menor crescimento em relação às médias do Estado e do país, a cidade apresenta um maior número de veículos por habitante em relação ao Estado do Rio de Janeiro e do Brasil. A esta relação, dá-se o nome de “índice de motorização”. A tabela a seguir apresenta o índice municipal com a população estimada no ano de 2020.

Tabela 2: Índices de Motorização de Veículos.

	Veículos	Habitantes	Veículos/habitantes
Niterói	275.740	515.317	0,53
Estado do RJ	7.087.797	17.366.189	0,40
Brasil	107.948.371	211.755.692	0,50

Fonte: IBGE, 2021.

Assim, para cada 1000 pessoas existem aproximadamente 535 veículos, um número bem superior se comparado ao valor estadual de aproximadamente 408 veículos para cada 1000 pessoas.

A questão do trânsito constitui-se em um dos maiores problemas enfrentados pela população das grandes cidades, já que se configura como uma das principais preocupações dos cidadãos nas metrópoles do Brasil. Em busca de conforto e maior flexibilidade de horários, uma expressiva parte da população vem optando pelo uso do carro próprio nas últimas décadas, fator verificado principalmente entre as classes mais abastadas. Isto se reflete diretamente no trânsito, visto que a capacidade das vias cresce menos do que a frota circulante de carros, o que se configurará na perpetuação de problemas da mobilidade se a estrutura viária continuar baseada nos carros (UITP, 2015).

Assim as cidades de maior adensamento urbano, sem uma adequada infraestrutura de transporte público de alta capacidade, são as mais suscetíveis a sofrer com as externalidades negativas do aumento da frota (PDTU, 2015).

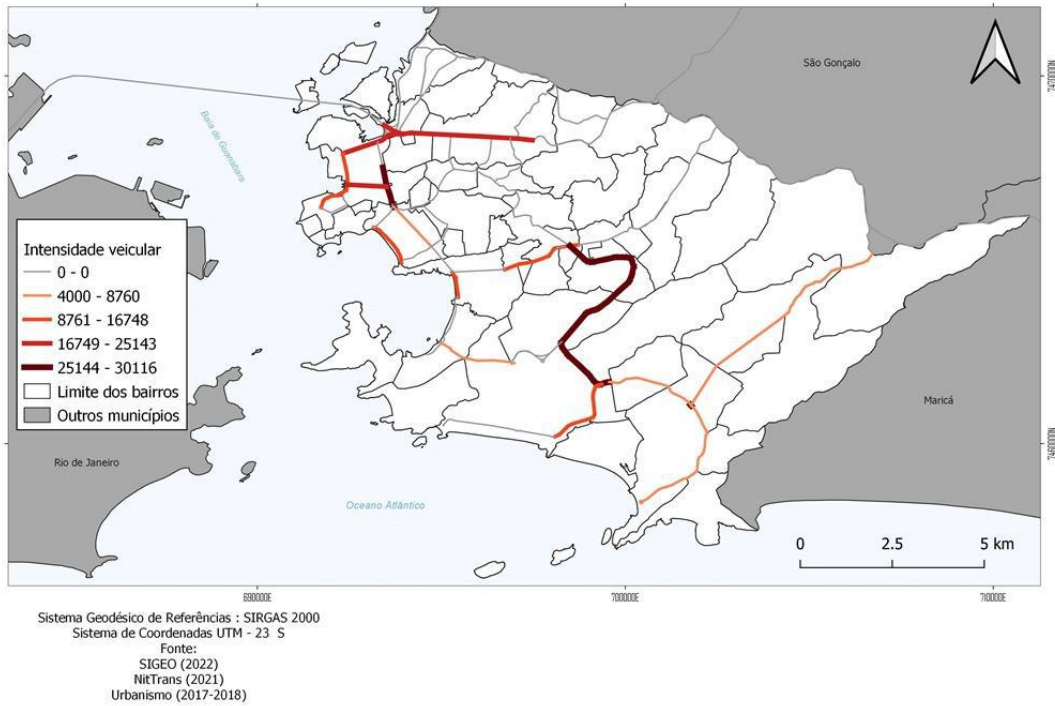


Figura 13: Contagem Veicular nas principais Vias da cidade de Niterói.

Fonte: Nittrans e SMU

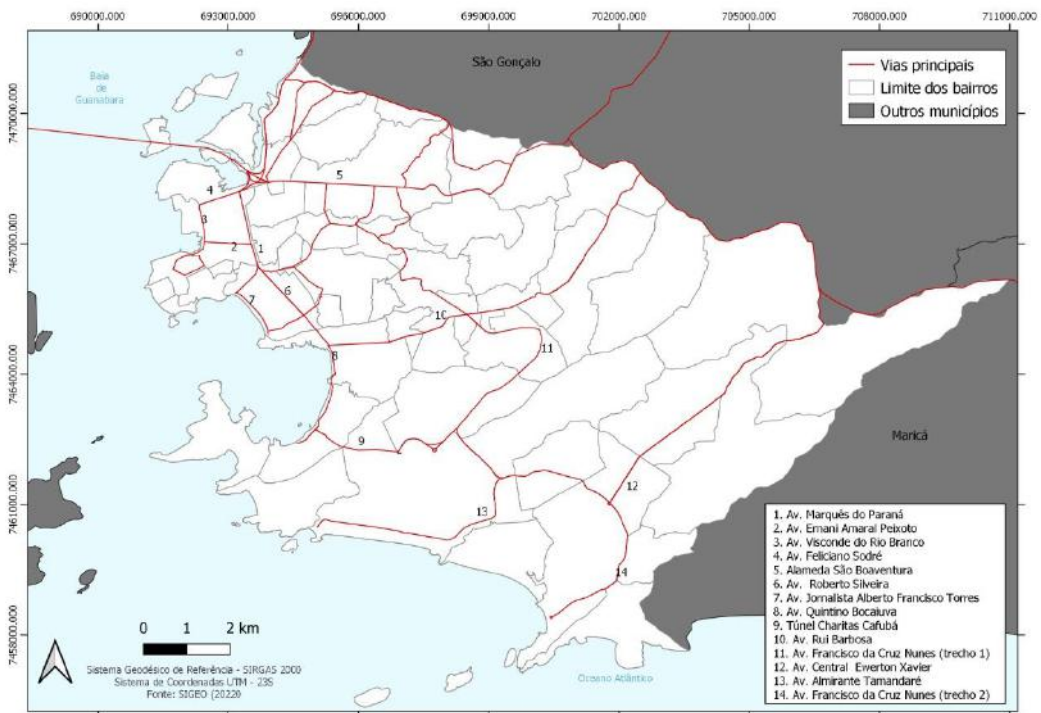


Figura 14: Eixo estrutural Viário.

Fonte: SIGEO Niterói

Na Figura 28 é possível identificar as vias da cidade de Niterói que possuem intenso fluxo de veículos, o mapa foi elaborado a partir de dados levantados através das câmeras da Nittrans, bem como dados de contagem veicular realizados pela SMU. Com intuito de facilitar o entendimento do leitor nas discussões e análises que serão realizadas ao longo deste trabalho foi elaborado um mapa com a localização e nome de algumas das principais vias da cidade (Figura 29), sendo contempladas no mapa somente as vias que contém dados de contagem veicular.

Para corroborar com os dados de contagem veicular e agregar ainda mais informações na avaliação do trabalho, bem como, realizar uma comparação entre as duas fontes de informação, foi realizado o levantamento a partir do aplicativo *google maps* do trânsito típico na cidade de Niterói em horário de pico no período manhã (08h) (Figura 30) e noite (19h) (Figura 31). Observa-se que as informações expostas no mapa na figura 25 encontram-se alinhadas com as informações obtidas a partir do *google maps*, sendo assim, as vias destacadas no mapa são fortes candidatas para a realização do monitoramento da qualidade.

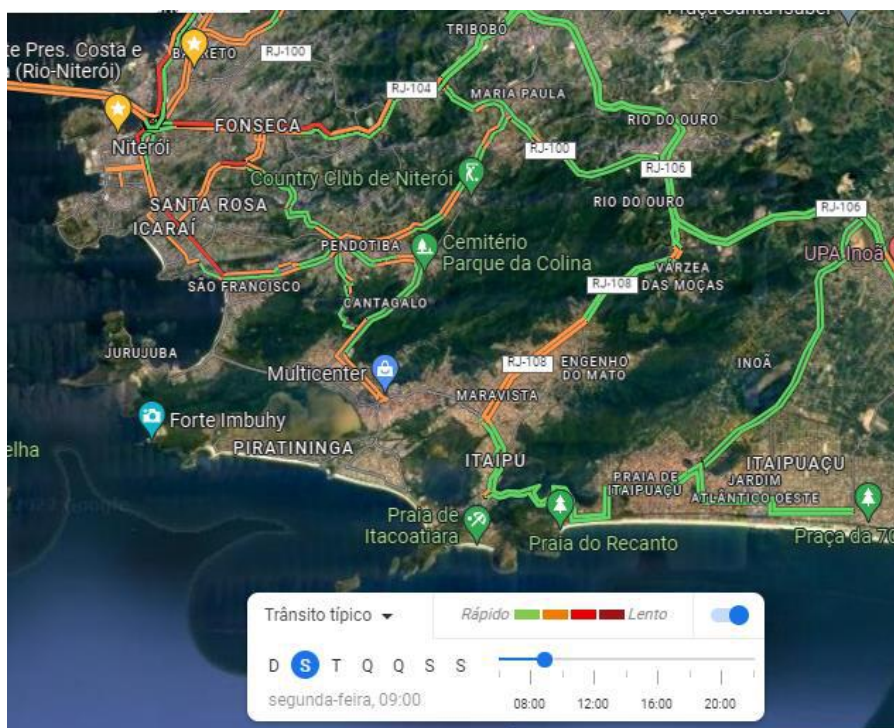


Figura 30: Trânsito típico na cidade de niterói (manhã). Fonte: Google maps

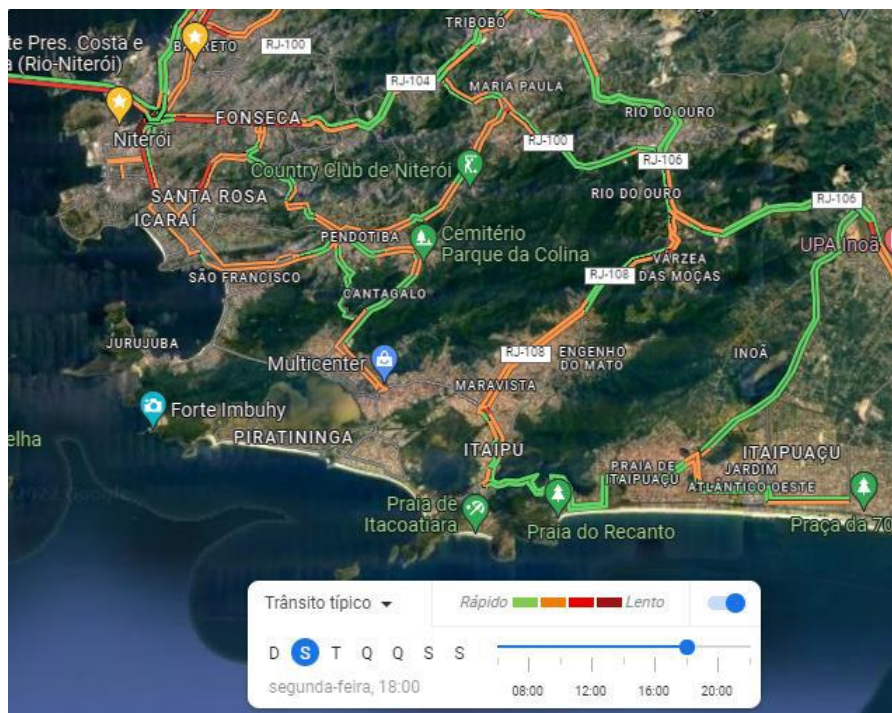


Figura 31: Trânsito típico na cidade de niterói (noite). Fonte: Google maps

A partir da análise das Figuras 28, 30 e 31 observa-se uma concentração de viagens nas regiões centrais do município e Icaraí, por essas regiões constituírem como eixos de ligação entre regiões de expansão recente como Pendotiba e Oceânica e a ponte Rio-Niterói. Devido as suas características geográficas a cidade de Niterói possui uma quantidade limitada de vias que interligam a cidade; com isso as vias principais acabam passando por uma saturação e os usuários sofrendo com longos congestionamentos. (Niterói, 2019).

As vias com fluxos mais intensos no município são as do Corredor Av. Jansen de Melo e Av. Marquês do Paraná (Figura 28) que são exatamente as vias que fazem a ligação entre a Região Central, Icaraí e as regiões de expansão recente (Pendotiba e Oceânica), e são ao mesmo tempo, via de passagem de uma boa parte dos veículos que necessitam acessar a ponte em direção à cidade do Rio de Janeiro.

Notadamente o município sofre uma forte influência do município do Rio de Janeiro. Os grandes eixos de transporte coletivo levam à ponte e ao sistema de barcas. O corredor Alameda São Boaventura em direção à ponte Rio Niterói, mostra grandes volumes, principalmente na chegada da ponte, onde todo o movimento de ônibus se concentra com a chegada também dos ônibus da região central, pela Av. Feliciano Sodré e os ônibus vindos de

Icaraí pela Av. Jansen de Melo. Há também um grande fluxo de ônibus em direção ao sistema de barcas, utilizando da Av. Amaral Peixoto. (Niterói, 2019)

4.2.5.3 Fontes Áreas

As queimadas são uma realidade em diversas regiões do Brasil, sendo um fator de contribuição para emissão de poluentes nocivos ao meio ambiente e a saúde humana. A queimada é um processo de combustão incompleta, tendo como emissões resultantes inicialmente o monóxido de carbono (CO) e material particulado (fuligem). Ainda, segundo (Ribeiro e Assunção, 2002) são resultados também dessa combustão compostos orgânicos simples e complexos representados pelos hidrocarbonetos (HC), entre outros compostos orgânicos voláteis e semivoláteis, como matéria orgânica policíclica - hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, dioxinas e furanos, compostos de alta toxicidade. Além disso, por ser uma combustão ao ar livre, interage com o ar atmosférico, ocorrendo também emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x), em especial o óxido nítrico (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO_2), formados pelo processo térmico e pela oxidação do nitrogênio presente no vegetal.

Segundo (Ribeiro e Assunção, 2002) além das emissões diretas (poluentes primários), acontecem na atmosfera reações entre essas emissões e vários outros componentes do ar, como as reações fotoquímicas com importante participação da radiação ultravioleta do sol, resultando em compostos que podem ser mais tóxicos que os seus precursores: o ozônio (O_3), os peróxidos nitratos (PAN) e os aldeídos. Dióxido de enxofre também é emitido, pois apesar de que em quantidades muito pequenas, o vegetal contém enxofre.

Em Niterói, o quadro não se difere do restante do Brasil, especialmente em períodos de condições severas de baixa umidade, alta insolação e um grande período de dias sem chuvas significativas a cidade é afetada com ocorrências de fogo em vegetação sendo esses focos de incêndio em vegetação uma fonte de emissão dos poluentes citados anteriormente. No ano de 2014, a prefeitura a partir da contratação da empresa *novaterra*, realizou o mapeamento desses focos e áreas atingidas por incêndio na cidade (Figura 32). Assim, este mapeamento bem como os dados de ocorrência em fogo em vegetação coletados a partir do CBMERJ (Figuras 33 e 34) para os anos de 2019 a 2021 serão utilizados como forma de identificação das fontes áreas no

município, consistindo também como uma das fontes balizadoras para o posicionamento das estações de qualidade do ar.

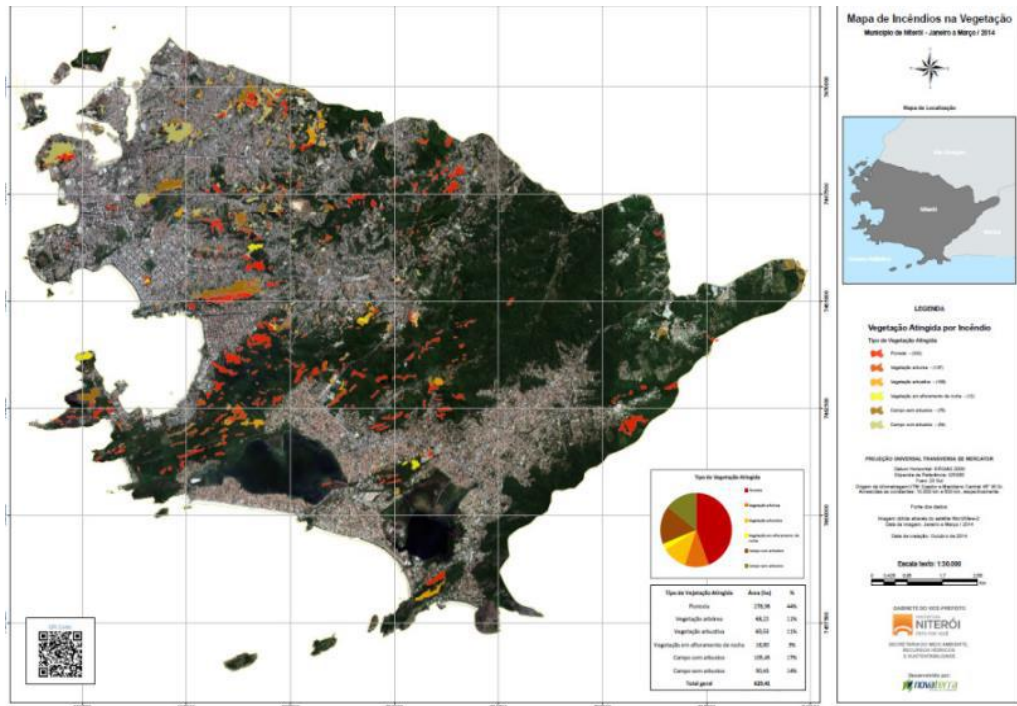


Figura 32: Áreas suscetíveis a ocorrência de queimadas na cidade de Niterói. Fonte: Niterói, 2014.



Figura 15: Ocorrências de fogo em vegetação em áreas protegidas. Fonte: CBMERJ, 2021.

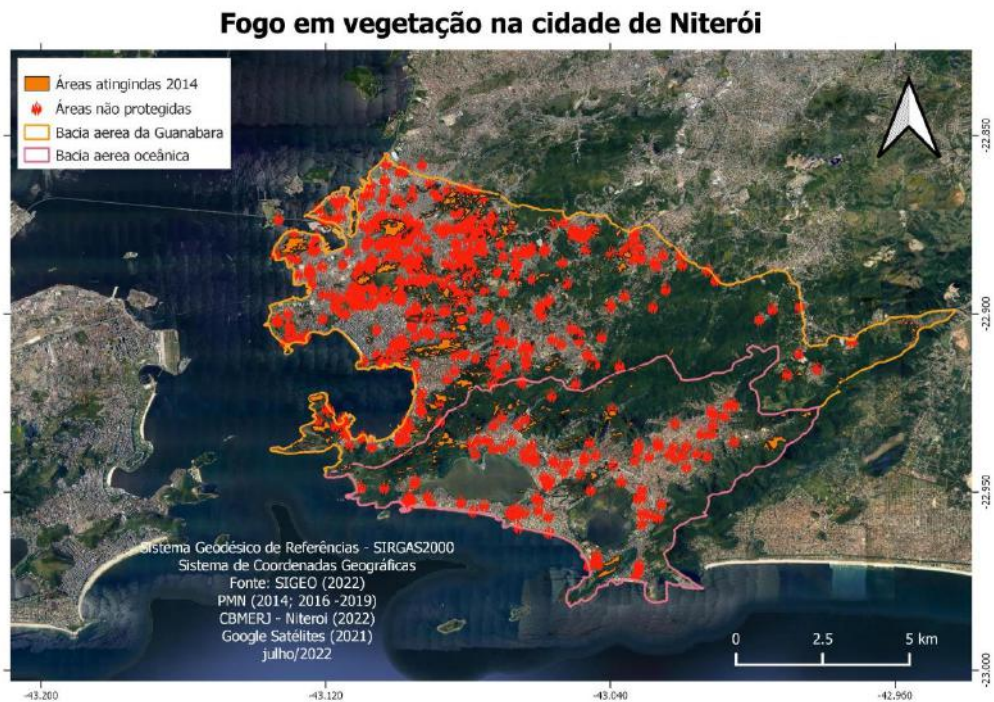


Figura 16: Ocorrências de fogo em vegetação em áreas não protegidas. Fonte: CBMERJ, 2021.

4.2.7 Rede de Monitoramento Atual na Cidade de Niterói

A cidade de Niterói conta atualmente com 6 estações semiautomáticas de material particulado (PTS e MP₁₀). A instalação dessas estações foi realizada no ano 2016, ano em que foi iniciada as obras da transoceânica com a construção do túnel charitas-cafubá. As obras do corredor viário foram avaliadas como potencialmente poluidoras do ar devidos as atividades como escavações, utilização de material explosivo, aumento no tráfego de veículos pesados (caminhões e guindastes), que são consideradas fontes de poluição, aumentando a liberação de materiais particulados na atmosfera. Sabe-se que esses poluentes são extremamente prejudiciais ao meio ambiente e a saúde humana, por isso, há exigências de controles específicos, o que requer um sistema de acompanhamento e fiscalização. Assim, a prefeitura realizou a instalação das estações ao longo do corredor viário como é apresentado na figura 31. Atualmente a rede se encontra inoperante.

Além das estações de PTS e MP₁₀ Niterói conta com 3 estações pertencentes a rede do Instituto Estadual de Ambiente (INEA) instaladas na cidade, 2 estações manuais e uma estação

automática. A estação automática encontra-se instalada no Caio Martins no bairro de Icaraí e as duas estações semi-automáticas encontram-se instaladas uma no centro da cidade e a outra no bairro do Fonseca. O período com dados disponíveis de cada uma das estações levantados a partir do portal de qualidade do ar do Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) encontram-se descritos na Tabela 9.

Tabela 3: Período com dados disponíveis nas estações do INEA. Fonte: IEMA, 2022.

	Período de dados disponíveis
Nit - Caio Martins	jan/2015 a ago/2016
Nit - Policlínica	jan/2015 a mar/2020
Nit - Getulinho	jan/2015 a mar/2020

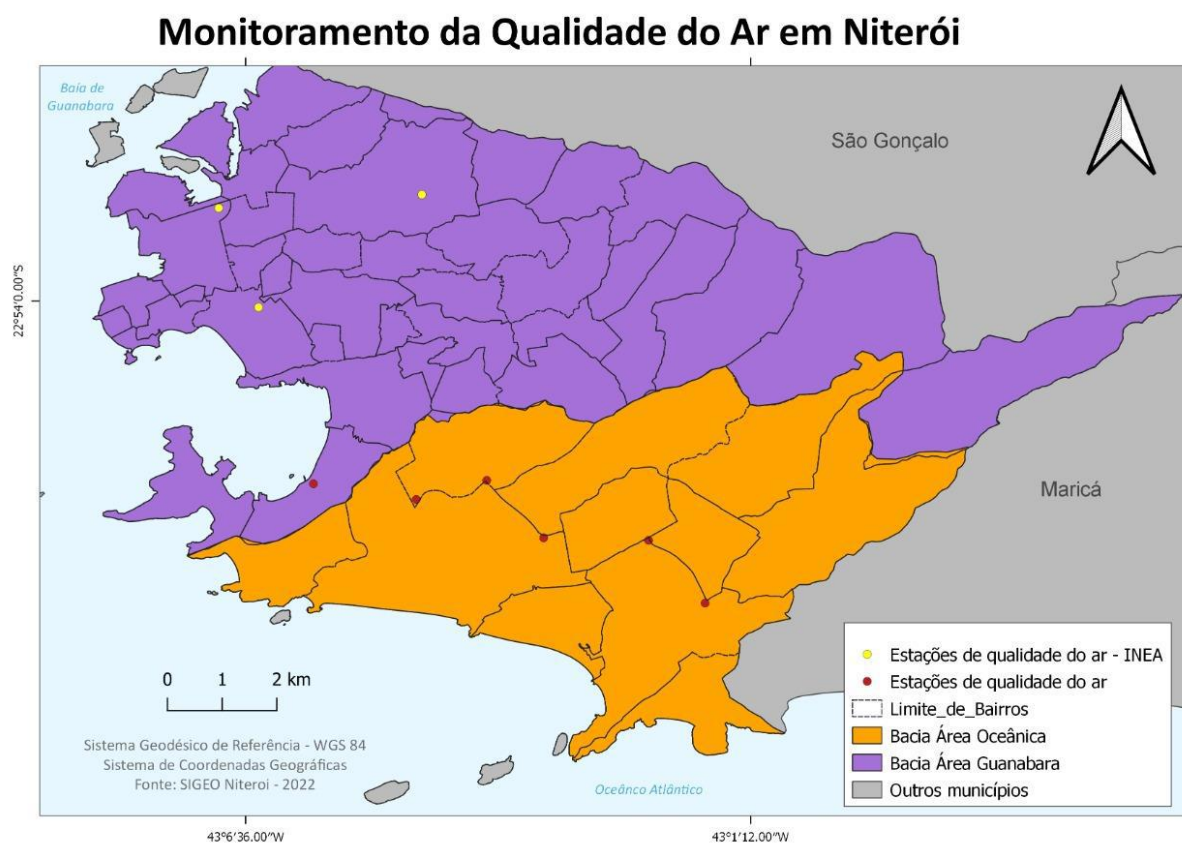


Figura 17: Localização das estações de Qualidade do ar (MP₁₀ e PTS) da cidade de Niterói.

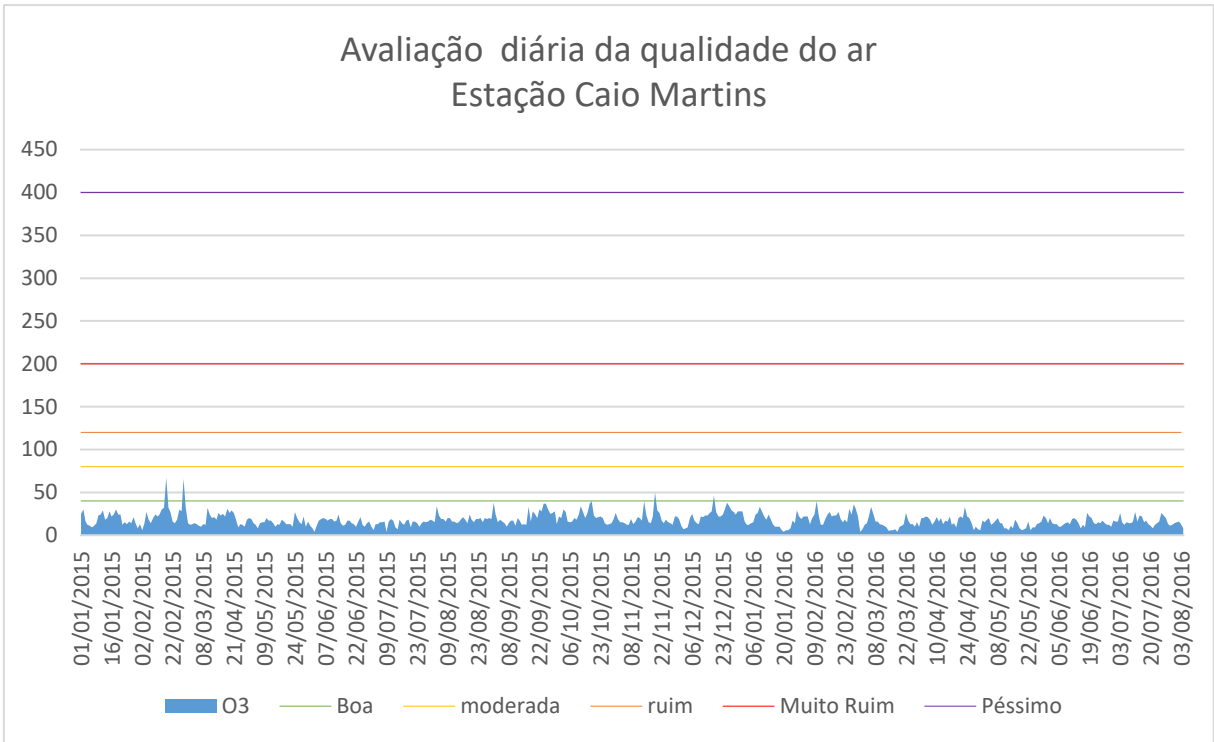


Figura 18: Avaliação diária da qualidade do ar para ozônio na estação automática Caio Martins.

Fonte: IEMA, 2022.

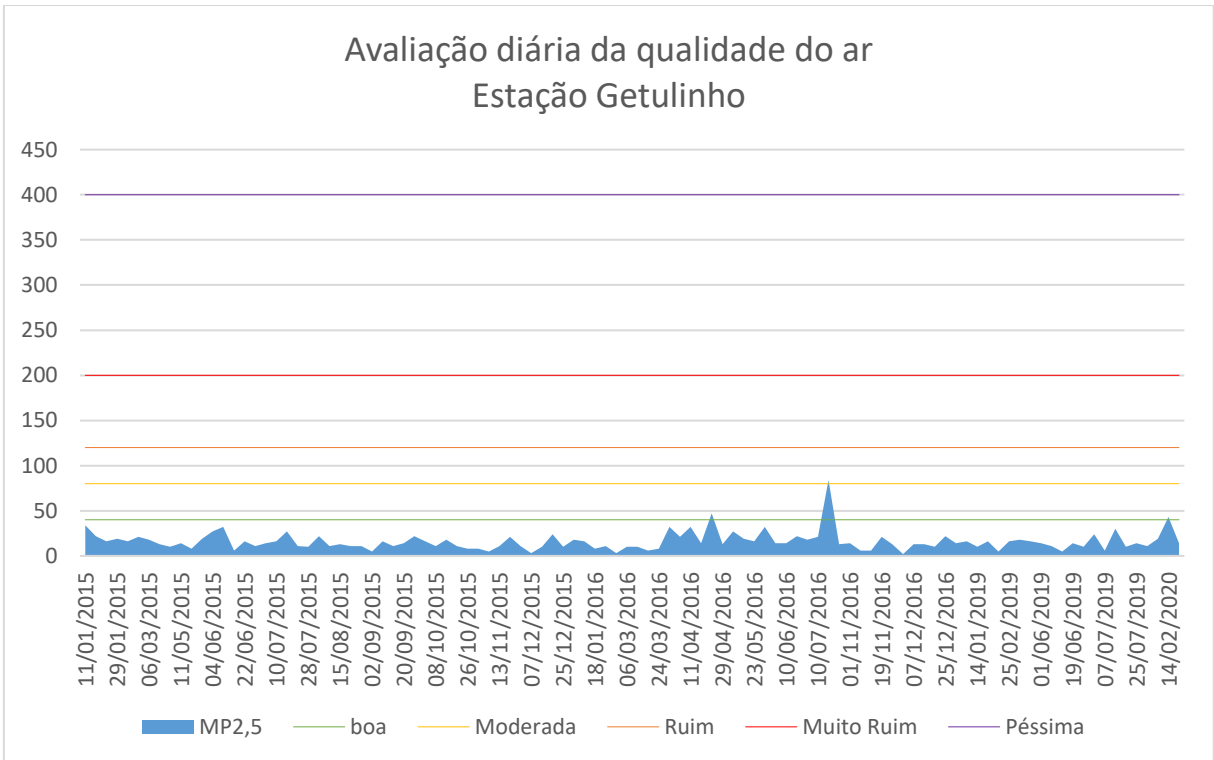


Figura 19: Avaliação diária da qualidade do ar para MP_{2,5} na estação manual Getulinho.

Fonte: IEMA, 2022.

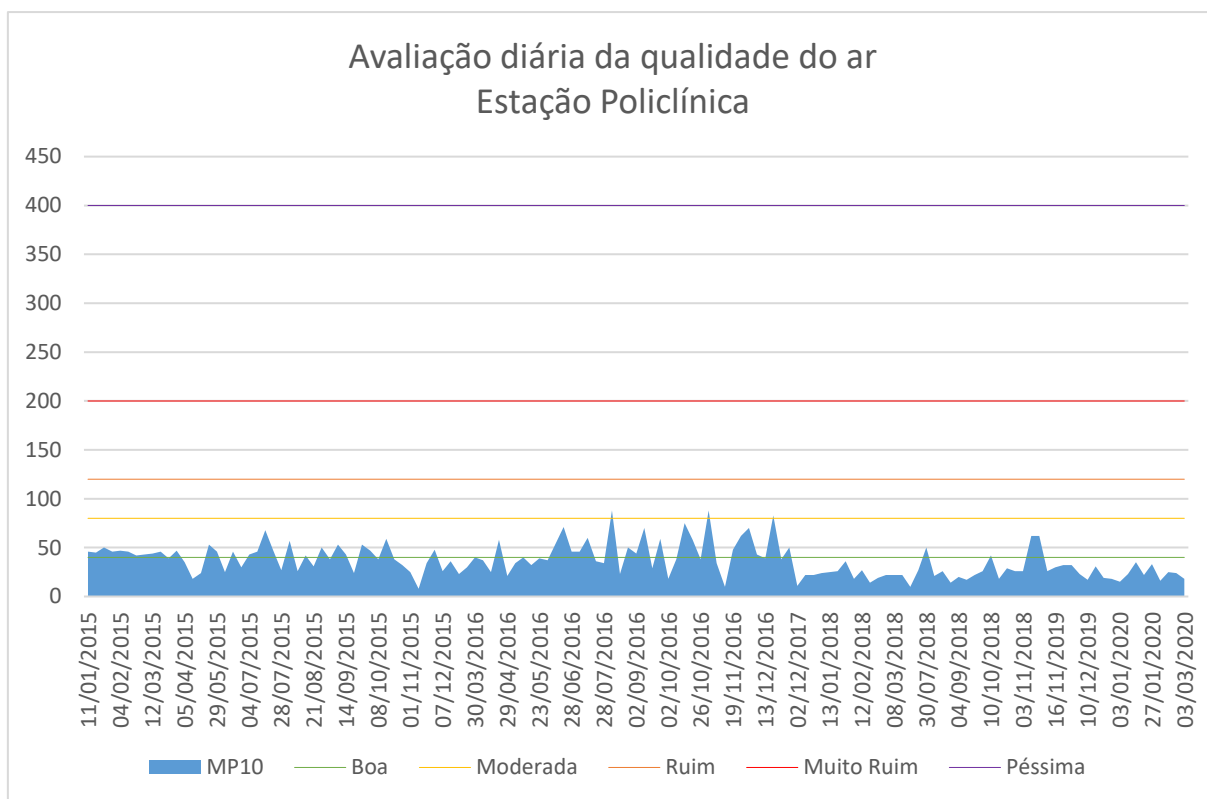


Figura 20: Avaliação diária da qualidade do ar para MP₁₀ na estação manual Policlínica.

Fonte: IEMA, 2022.

Nas Figuras 36, 37 e 38 são apresentados dados relativos ao índice de qualidade do ar na cidade de Niterói. Os dados utilizados para a elaboração dos gráficos referem-se às duas estações manuais getulinho e policlínica e da estação automática Caio Martins, ambas pertencentes à rede do INEA. Os poluentes avaliados foram MP₁₀ e MP_{2,5} para as estações manuais e Ozônio para a estação automática. Os dados foram obtidos a partir da plataforma de qualidade do Ar do IEMA.

A partir da avaliação dos gráficos observa-se que para o ozônio (Figura 36) poluente medido a partir da estação automática do Caio Martins a avaliação da qualidade do ar mostrou-se satisfatória com indicação do índice de qualidade do ar como “boa” na maior parte da série de dados que vai de janeiro de 2015 à agosto de 2016, com poucos episódios de moderada e nenhum episódio de ruim, muito ruim ou péssima.

Para o MP_{2,5} (Figura 37) poluente medido a partir da estação manual Getulinho, o mesmo padrão se repete tendo a avaliação da qualidade do ar como “boa” em grande parte da série de dados que vai de janeiro 2015 a março 2020. Já a avaliação para o MP₁₀ (Figura 38), o cenário

muda, com um número expressivo de dias com a qualidade do ar moderada até o ano de 2017 e até alguns episódios com indicação de qualidade do ar ruim, a partir do ano de 2018 há uma diminuição na quantidade de dias com qualidade do ar moderada. Não são observados episódios com avaliação muito ruim ou péssima. A partir da avaliação dos dados fica claro que uma rede de monitoramento de qualidade do ar com o número de estações adequado e com a medição de outros poluentes são de extrema importância para uma avaliação eficaz da qualidade do ar na cidade.

4.2.8 Proposição de uma Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar para a cidade de Niterói.

Afim de obter uma melhor visualização da espacialização das fontes poluidoras na cidade, buscando identificar onde ficam as regiões com maior concentração de emissões atmosféricas foi elaborado um mapa com a junção dos três tipos de fontes discutidas nas seções anteriores: fixas, móveis e áreas. Para diminuir a poluição visual do mapa e facilitar o entendimento do mesmo foi utilizado a densidade de kernel, com o raio de 400m para espacialização dos dados de ocorrências de fogo em vegetação. Para agregar a avaliação da proposição da rede de monitoramento foi produzido também um mapa com as características físicas do município e com as rosas dos ventos de cada estação meteorológica da cidade, essa informação possibilita uma melhor avaliação as áreas onde essas emissões estão sendo dispersas ou se mantendo estagnadas.

A partir da análise de todas as informações expostas no mapa é possível identificar que a região norte da cidade é uma região de especial interesse para o monitoramento da qualidade do ar visto que a região reúne uma alta concentração de fontes fixas, concentradas no bairro da ilha da conceição, fontes móveis e fontes áreas. Além disso é possível identificar na área do centro uma forte concentração de veículos nas vias Marquês de paraná, Amaral Peixoto e Visconde de Rio Branco bem como uma grande concentração de ocorrência de fogo em vegetação. Na região oceânica, apesar de não encontrarmos uma grande concentração de atividades poluidoras é possível identificar um grande fluxo de veículos na Estrada Francisco da Cruz Nunes. Para facilitar a realização do estudo e aplicação dos procedimentos encontrados no “guia de monitoramento, implementação e avaliação da qualidade do ar (MMA)” para a

identificação dos pontos para instalação das estações de monitoramento da qualidade do ar foram selecionadas 5 regiões de interesse, como pode ser observado na Figura 39.

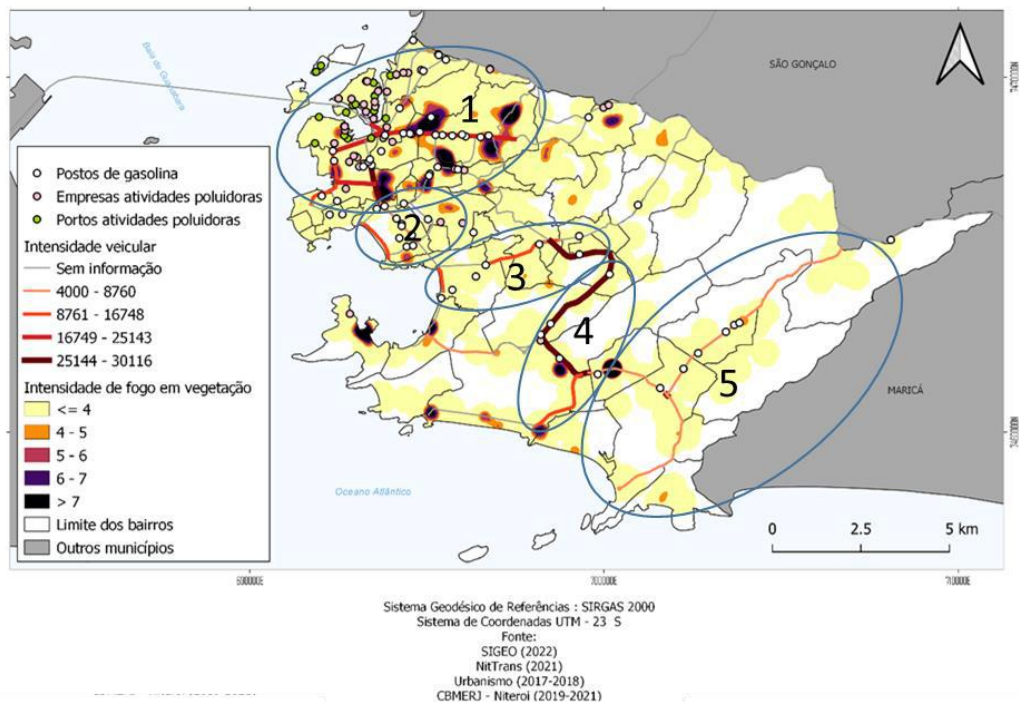


Figura 39: Fontes poluidoras na cidade de Niterói e divisão de regiões para avaliação.

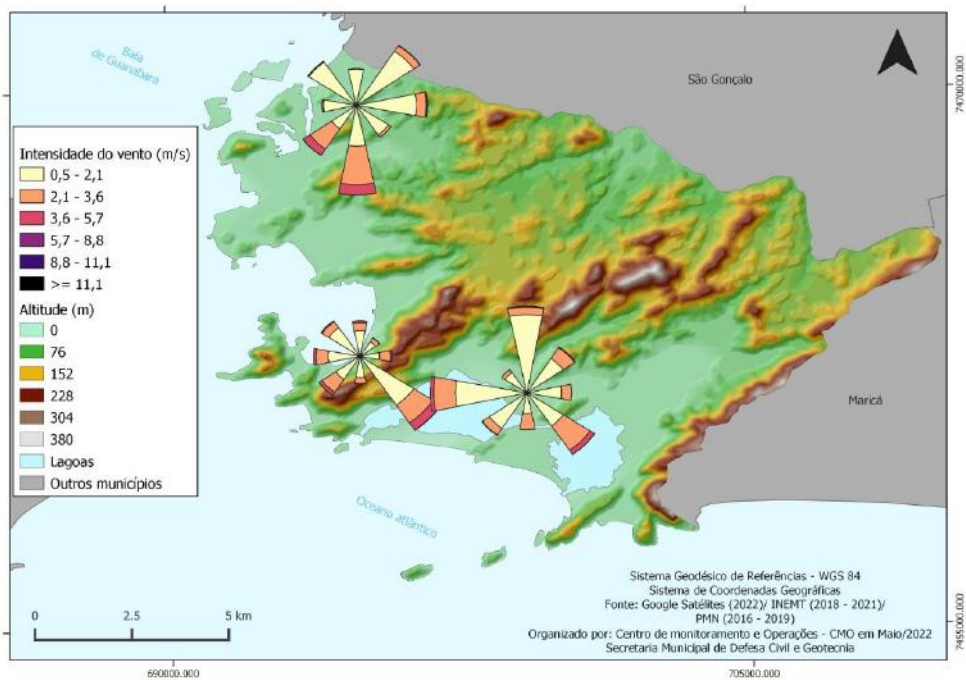


Figura 40: Mapa da topografia do município de Niterói e especialização das rosas dos ventos.

A partir da avaliação dos dados apresentados nas Figuras 39 e 40 podemos identificar alguns possíveis padrões de transporte de poluentes na cidade, para afirmarmos seria necessário a utilização de modelos de dispersão de poluentes. Na região 1 identificamos uma maior frequência e intensidade de ventos do quadrante sul que podem auxiliar no transporte de poluentes da região central para o interior da região norte no limite com o município de São Gonçalo, mas também observa-se o fluxo contrário com ventos de direções nordeste, seguido da direção leste, porém menos intensos.

Nas regiões 2 e 3 apesar da falta de dados de vento disponíveis podemos presumir que devido a sua localização, sofrem influência do efeito de brisa, porém apesar dessa influência o pressupõe que transporte de poluentes dessa região para o interior da cidade sofra uma atenuação devido à disposição do relevo.

As regiões delimitadas como 4 e 5 encontram-se localizadas na região oceânica da cidade e separadas das demais região por uma cadeia de montanhas. A via Estrada Caetano Monteiro é uma das principais vias da região ligando a região oceânica a região central da cidade, o que explica o intenso fluxo de veículos na via exposto na Tabela 10. A partir da avaliação das rosas dos ventos da estação Piratininga observamos uma grande frequência de ventos de norte, auxiliando no transporte de poluentes emitidos a partir do intenso fluxo de veículos da Estrada Caetano Monteiro para a região mais central do bairro, entorno da lagoa, onde concentra-se um maior número de residências e comércios. Nota-se também uma grande frequência de ventos de oeste contribuindo para o transporte de poluentes para o interior do vale formado entorno da via Av. Central Ewerton Xavier.

Além disso, a partir da análise dos dados apresentados nas seções anteriores é possível identificar que as emissões veiculares são determinantes na qualidade do ar na cidade de Niterói visto que a cidade não possui um número grande de indústrias com potencial poluidor. Assim, o posicionamento dos monitores em relação as vias de tráfegos da cidade são de fundamental importância para uma correta representatividade dos dados. Desta forma, o “Guia técnico para monitoramento e avaliação da qualidade do ar” determina o distanciamento mínimo necessário em relação a via de tráfego para a medida correta de cada poluente. Na Tabela 10 foi listado as vias da cidade e suas respectivas contagens veiculares, bem como o distanciamento mínimo

para cada poluente determinado pelo Guia técnico para monitoramento e avaliação da qualidade do ar.

Tabela 4: Constagem veicular de cada via e distanciamento mínimo do monitor para cada poluente.

Vias	C.V	Distância mínima do monitor			
		MP	CO/SO ₂	NO ₂	O ₃
Estrada Franciso da Cruz Nunes (trecho 2)	30.116	30 a 100	80	50	50
Avenida Marquês do Paraná	29.222	30 a 100	80	50	50
Avenida Ernani do Amaral Peixoto	25.143	20 a 90	45	30	30
Avenida Feliciano Sodré	24.790	21 a 90	45	30	30
Alameda São Boa Ventura	21.097	22 a 90	45	30	30
Avenida Quintino Bocaiúva	16.748	15 a 80	25	20	20
Avenida Rui Barbosa	15.605	15 a 80	25	20	20
Avenida Visconde de Rio Branco	14.077	15 a 80	25	20	20
Rua Almirante Tamandaré	13.893	15 a 80	25	20	20
Avenida Jornalista Alberto Francisco Torres	11.571	15 a 80	25	20	20
Túnel Charitas x Cafubá	8.760	15 a 80	10	10	10
Avenida Roberto Silveira	8.285	15 a 80	10	10	10
Avenida Central Ewerton Xavier	8.100	15 a 80	10	10	10
Estrada Franciso da Cruz Nunes (trecho 1)	4.498	15 a 80	10	10	10

Isto posto, para realizar a análise e indicação dos pontos para instalação dos monitores foi utilizado uma ferramenta a partir do software QGIS para delimitação do distanciamento mínimo das vias de tráfego. Sabe-se que uma estação de qualidade do ar comporta todos os monitores em um único contêiner, assim foi utilizado o valor máximo de distanciamento, neste caso na sua maioria o distanciamento determinado para monitorar CO e SO₂, tendo em vista que esse valor atenderia aos outros poluentes também, os valores encontram-se destacados em verde na tabela 10. As indicações de pontos de instalação seguiram a regiões selecionadas anteriormente. Na Figuras 41 e 42 segue a indicação de pontos para instalação na região 1. Na Alameda São Boa ventura foram posicionadas duas estações uma no início próximo ao cruzamento com outras vias de grandes fluxos na cidade como Av. Feliciano Sodré e Rua Benjamin constante além de se encontrar próximo a um dos acessos a ponte Rio Niterói e outro ponto no final da via. Já no centro foi posicionado uma estação próxima ao início da Av. Ernani do Amaral Peixoto buscando coletar informações tanto da via Ernani do Amaral quanto da via av. visconde de Rio Branco e outro ponto ficou no final da via próximo a Av. marquês do Paraná buscando monitorar as contribuições tanto da via Av. marquês do paraná quanto das ocorrências de incêndio em vegetação que ocorrem nas suas proximidades.



Figura 41: Posicionamento das estações na Alameda São Boa Ventura



Figura 21: Posicionamento das Estações na via Amaral Peixoto

Na região 2 (Figura 43) que contempla o bairro de Icaraí foram posicionadas 2 estações uma na praia de Icaraí e outra próxima a Av. Roberto Silveira vias com grandes fluxos de veículos na cidade devido a sua importância na ligação com as demais regiões da cidade ao centro. A região 3 (Figura 44) seguindo a mesma linha de raciocínio também foram posicionadas duas estações uma mais próxima ao litoral e outras mais para o interior do continente.



Figura 22: Posicionamento das estações nas Vias Avenida Jornalista Alberto Francisco Torres e Avenida Roberto Silveira



Figura 23: Posicionamento das Estações na Via Av. Rui Barbosa

As regiões 4 e 5 se encontram localizadas na região oceânica da cidade separadas das demais regiões por uma cadeia de montanhas (procurar no nome dos maciços). Destaca-se nessas regiões a Estrada Francisco da Cruz Nunes (Figura 45) importante via de ligação entre a região oceânica e a região central da cidade, sendo uma via com intenso fluxo de veículos, seguida da Av. Central Ewerton Xavier (Figura 46). Desta forma os pontos escolhidos para o posicionamento dos monitores foram ao longa dessas duas vias.



Figura 24: Posicionamento das estações na via Estrada Francisco da Cruz Nunes.



Figura 25: Posicionamento das estações na via Av. Ewerton Xavier.

Após realizar o posicionamento das estações em cada trecho separadamente chegamos a proposição do que seria uma rede ideal para a cidade de Niterói, ilustrada na Figura 47. Foi acrescentada um ponto de instalação no parque da cidade com intuito de obter dados de uma região sem a influência de fontes poluidoras para a realização de comparações.

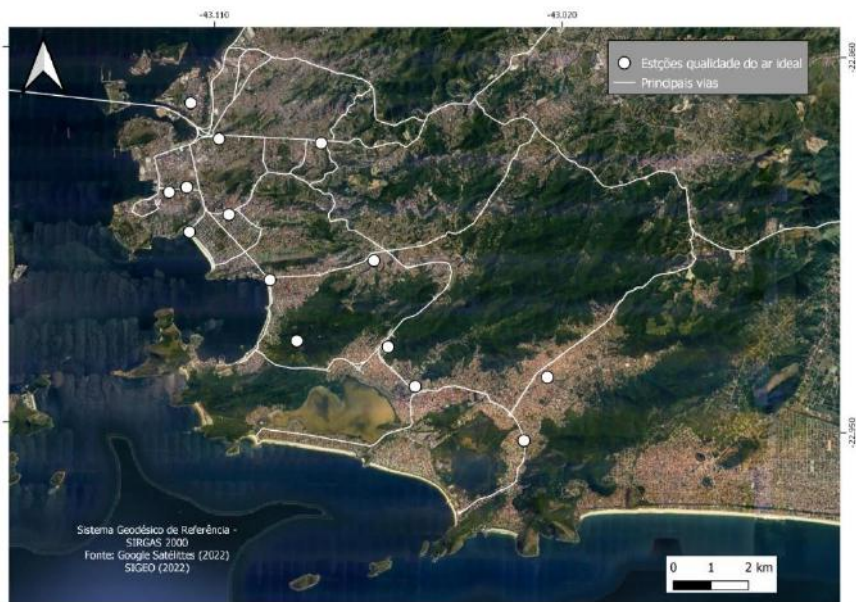


Figura 26: Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar ideal.

Sabe-se que a instalação e manutenção de uma rede de monitoramento de qualidade ar requer uma estrutura de serviços que envolve mão de obra especializada, aquisição de equipamentos, insumos e peças de reposição, os quais possuem custos elevados, por isso, este trabalho optou por propor também uma rede intermediária e uma rede básica apresentadas nas Figuras 48 e 49 respectivamente. Para chegar a rede intermediária foram retiradas as estações que se encontravam mais próximas ao litoral nas regiões 2, 3 e 5, por ser uma área onde a dispersão de poluentes tende a ser maior devido a influência da brisa. Na região 4 foi dada prioridade a estação que se encontra na região com maior concentração de residências, sendo assim, uma área com maior concentração de pessoas expostas a poluição gerada a partir da circulação intensa de veículos ao longo da Estrada Caetano Monteiro. Além, disso foi retirada também a estação do parque da cidade. Para diminuir ainda mais a quantidade de estações e chegar a uma rede básica (Figura 49) foi utilizado como critério manter ao menos uma estação em cada região onde situam-se vias com contagem veicular acima de 10.000.

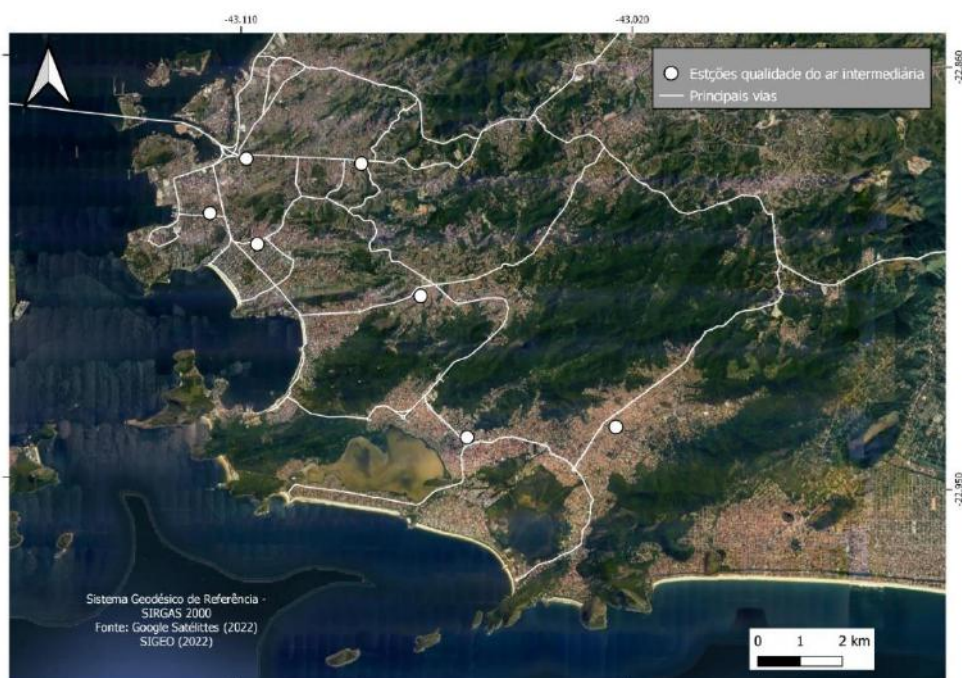


Figura 27: Rede de Monitoramento de Qualidade do Ar intermediária

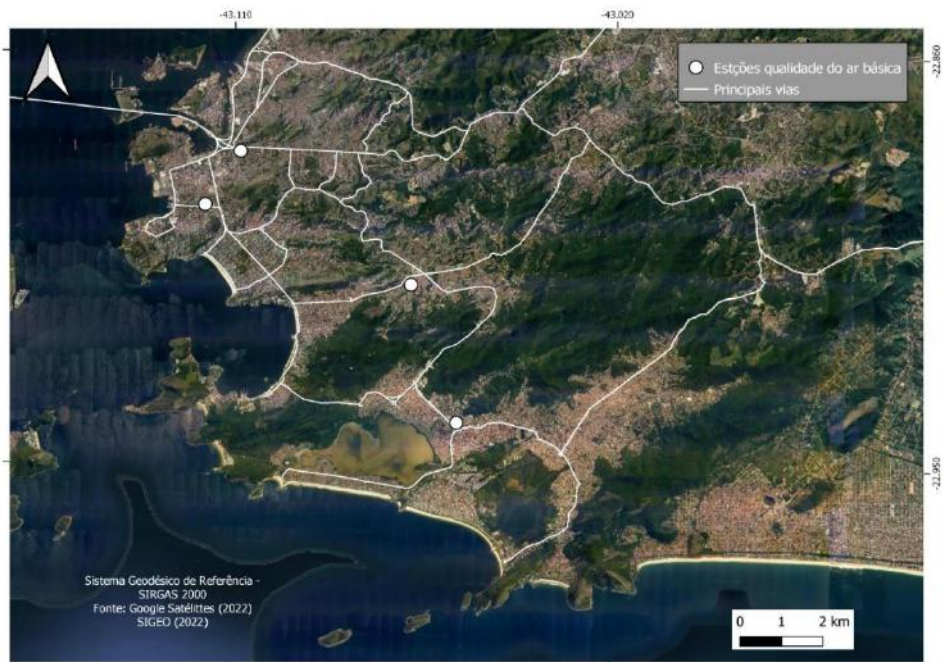


Figura 28: Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar básica.

5. CONCLUSÃO

Após a análise dos dados, apresentados ao longo deste trabalho identificamos que Niterói é uma cidade que apesar de não possuir um número expressivo de indústrias potencialmente poluidoras em seu território, enfrenta outros tipos de fontes de poluidoras como as veiculares e as originadas a partir das queimadas que acontecem com frequência na cidade nos períodos mais secos do ano.

A utilização do sistema de informações geográficas (SIG) para a realizar a identificação das fontes poluidoras, características físicas da cidade, bem como a especialização da distribuição e comportamento do vento no terreno se mostrou uma ferramenta eficaz e de extrema importância para a realização do estudo e avaliação na implementação e dimensionamento de uma rede de monitoramento da qualidade do ar.

A partir das informações apresentadas e especializadas na forma de mapas foi possível identificar que a região norte da cidade é a região com maior concentração de fontes poluidoras. As poucas indústrias da cidade se concentram nessa região, e por ser uma região que concentra muitas vias que fazem ligação de outras cidades do estado a ponte Rio Niterói, como a Alameda São Boa Ventura por exemplo, possui também uma intensa circulação de veículos. Além disso, concentra um número expressivo de ocorrências de fogo em vegetação.

Apesar de todas as evidências constatadas ao longo deste trabalho, que demonstram a existência de fontes poluidoras capazes de contribuir para a má qualidade do ar na cidade de Niterói, trazendo prejuízos para a saúde e qualidade de vida da população, a cidade não conta atualmente com uma rede de monitoramento adequada para uma avaliação eficaz da qualidade do ar. Além de não conter um número suficiente de estações para uma boa representatividade dos dados em toda a extensão do município, dos poluente exigidos pela legislação vigente são monitorados apenas o MP₁₀ e MP_{2,5}.

Assim, a implementação de uma rede de monitoramento da qualidade do ar apropriada com o seu correto dimensionamento é de extrema importância para uma avaliação satisfatória da situação da qualidade do ar na cidade, proporcionando aos governantes um instrumento eficiente na gestão da qualidade do ar, dando subsídios na elaboração de políticas públicas que visam minimizar e mitigar os efeitos adversos da poluição do ar.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAGA, Alfesio et al. **Poluição atmosférica e saúde humana**. Revista Usp, São Paulo, n. 51, p.58-71, dez. 2001.

BRETSCHNEIRDER,B., KURFURST,J., **Air Pollution Control Technology**, Amsterdam Oxford-New York,Elsevier.1987

CARVALHO. **Avaliação da Concentração do Poluente Ozônio e de seus Precursores na RMRJ e Correlação deste com Variáveis Meteorológicas**. Rio de Janeiro. 2004.

CAVALCANTI, **Modelo de Gestão da Qualidade do Ar – abordagem preventiva e corretiva**. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Planejamento Energético.2010

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental **Qualidade do Ar: Poluentes**. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>>. Acesso em: novembro,2021

Decreto n.º 12.433/2016, **Institui o Grupo Executivo de Sustentabilidade e Mudanças Climáticas de Niterói - GECLIMA**.

EEA,2002, **European Environment Agency,Atmospheric Emission Inventory Guidebook**,3 ed,September,2002.

GUERBATIN, **Diagnóstico da Qualidade do Ar no Município do Rio de Janeiro e a percepção pública sobre seus efeitos adversos na saúde humana**. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro. 2018

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. “Frota Veicular”. Estados e Cidades. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/busca.html?searchword=frota+veicular> Acesso em: Nov. 2021.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. CONCLA Comissão Nacional de Classificação Disponível em: <https://cnae.ibge.gov.br/>. Acesso em: Nov. 2021.

IEMA. Instituto de Energia e Meio Ambiente. **1º Diagnóstico da rede de monitoramento da qualidade do ar no Brasil**. 2014.

LEI 3.385/2019, **Aprova a Política de Desenvolvimento Urbano do Município, institui o Plano Diretor de Niterói**.

LEI Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

MACHADO, P. L. O. A. **Carbono do Solo e a Mitigação da Mudança Climática Global**. Química Nova. Vol. 28, No. 2, p.329-334, 2005.

MANZOLI, **Análise das Emissões Veiculares em Trajetos Urbanos Curtos com localização por gps**. 2009. 178 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

MMA Ministério do Meio Ambiente. **Guia Técnico para o Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar**. Brasília, 2019.

NITERÓI. **Plano de Mobilidade Urbana Sustentável de Niterói (PMUS)**. Niterói, 2019. Vol.I

NITERÓI. **Plano de Mobilidade Urbana Sustentável de Niterói (PMUS)**. Niterói, 2019. Vol.II

NITERÓI. Plano de Mobilidade Urbana Sustentável de Niterói (PMUS). Niterói, 2019. Vol.III.

NITERÓI. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) do Município de Niterói. Vol.I. Niterói, 2015.

NITERÓI. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) do Município de Niterói. Vol.II. Niterói, 2015

NITERÓI. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) do Município de Niterói. Vol.III. Niterói, 2015.

ONURSAL, B., GAUTAM. S.P., Vehicular Air Pollution: Experiences from Seven Latin American. World Bank Technical Paper, nº.373.1997

PIRES, Dilson Ojeda. Inventário de emissões atmosféricas de fontes estacionárias e sua contribuição para a poluição do ar na região metropolitana do rio de janeiro. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Coppe, Rio de Janeiro, 2005.

PONTES, Avaliação do Impacto das Emissões atmosféricas provenientes das atividades portuárias sobre a qualidade do ar na região metropolitana do rio de janeiro. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.2015.

RESOLUÇÃO CONAMA N°003, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no – PRONAR. Publicado no D.O.U. de 22 de agosto de 1990.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre novos padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. 2018.

RESOLUÇÃO INEA Nº 52 de 19 de março de 2012. Estabelece os novos códigos para o enquadramento de empreendimentos e atividades poluidoras ou utilizadores de recursos ambientais, bem como os capazes de causar degradação ambiental, sujeitos ao licenciamento ambiental.

RIBEIRO; ASSUNÇÃO. **Efeitos das queimadas na saúde humana.** Estudos Avançados 16 (44), 2002.

SILVA; PIMENTEL. **Desafios e Estratégias de Controle da Qualidade do ar em Regiões Metropolitanas.** Diversidade e Gestão 1(1): 107-126. 2017. Volume Especial Gestão Ambiental: Perspectivas, Conceitos e Casos.

WHO World Health Organization **Air quality guidelines global update - particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide.** 2005.

WHO World Health Organization Global **Air quality guidelines - particulate matter (PM_{2,5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide.** 2021.

WRI Brasil. **O estado da qualidade do ar no brasil.** 2021. Disponível em: <<https://wribrasil.org.br/en/blog/2018/06/qualidade-do-ar-no-brasil-o-que-esta-em-jogo-na-mudan%C3%A7a-dos-padres>>. Acesso em: 10 jul. 2018.