

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GERENCIAMENTO AMBIENTAL

Renata Maria Guerra de Andrade

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR NO
MUNICÍPIO DE SANTOS DE 2011 A 2015
ANALISADA COM BASE NOS DADOS DO
QUALAR**

Monografia elaborada como
requisito para conclusão do
Curso de Especialização em
Gerenciamento Ambiental da
Escola Superior de Agricultura
Luiz de Queiroz – ESALQ/USP

Orientadora:
Dra. Eleni Stark Rodrigues

Piracicaba
2016

AGRADECIMENTOS

Ao Comitê de Capacitação da CETESB pela oportunidade, a mim concedida através do “Programa Incentivo à Pós-Graduação”, sem a qual não teria sido possível a realização do Curso de Especialização em Gerenciamento Ambiental.

À Dra. Eleni Stark Rodrigues, minha colega de trabalho e orientadora, pelas preciosas contribuições, sugestões, incentivo e inúmeras revisões realizadas até a versão final da presente monografia.

À minha tutora Dra. Renata Bovi pelas sugestões e orientações que muito me auxiliaram na formatação final desse trabalho.

Aos docentes da 17ª Turma CEGEA 2014/2016 pelos conhecimentos repassados, paciência e dedicação a todos os alunos, indistintamente.

A todos os meus colegas da 17ª Turma CEGEA pela troca de experiências, amizade e companheirismo nesses dois anos de convivência e, em especial, às componentes do meu grupo de trabalho: Ana Paula, Camila, Luciana, Rina, Simone e Talita que jamais se furtaram às suas responsabilidades discentes.

À minha amiga Mara Sílvia Seabra pela hospedagem em sua residência aos finais de semana e pela revisão ortográfica e gramatical do presente trabalho.

Aos colegas e amigos locados no prédio 6 da Escola Superior da CETESB: Beth, Lina, Renato, Eliseu e Bruno, que nesses quase dois anos de convivência sempre apoiaram todas as atividades docentes e discentes realizadas pela 17ª Turma CEGEA 2014/2016.

RESUMO

O município de Santos é ao mesmo tempo uma cidade turística e de negócios, recebendo milhares de visitantes atraídos pelas praias e belezas naturais do local, principalmente nos meses mais quentes do ano, além de abrigar o maior porto da América Latina. As atividades portuárias com a movimentação de granéis sólidos, líquidos e gasosos, como também o fracionamento de produtos químicos nos terminais portuários, representam fontes potenciais de poluição no município de Santos. A poluição atmosférica é responsável pela mortalidade e morbidade de milhares de pessoas anualmente em todo o mundo, representando o maior risco, na área de saúde pública que a população do planeta está submetida. O objetivo deste trabalho é apresentar um diagnóstico da qualidade do ar no município de Santos, a partir das concentrações de poluentes detectadas nas duas estações de monitoramento automáticas operadas pela CETESB, localizadas nos bairros Boqueirão e Ponta da Praia, no período entre junho de 2011 e dezembro de 2015. Os gráficos e tabelas das concentrações de poluentes monitorados nas estações do município de Santos, utilizados nas análises realizadas neste trabalho, foram obtidos no QUALAR. Na série histórica estudada, apenas MP_{10} e O_3 foram responsáveis por ultrapassagens do PQAr. A qualidade do ar avaliada nas duas estações de monitoramento da CETESB do município foi considerada boa na maior parte do tempo da série histórica estudada, para todos os poluentes analisados, tendo-se verificado que o maior número de ultrapassagens do PQAr foi para MP_{10} na estação Santos – Ponta da Praia, seguido do O_3 , verificado na estação Santos – Boqueirão.

Palavras chave: Poluição atmosférica, Partículas Inaláveis, Dióxido de Enxofre, Óxidos de Nitrogênio, Ozônio, PQAr.

ABSTRACT

The city of Santos is both a tourist and a business town, welcoming thousands of visitors annually for business and pleasure who come attracted by its beaches and natural beauty, particularly in the summer months. The city also hosts the largest port in Latin America. The main port activities, besides sea cruises, are not only the handling of solids, liquids and gases in bulk, but also the fractionation of chemicals in its many terminals. These are all potential sources of pollution to the city. Air pollution is responsible for the mortality and morbidity of thousands of people annually and poses the greatest public health risk facing the planet. The aim of this work is to present a diagnosis of the air quality in the City of Santos based on pollutants detected in two automatic air monitoring city stations. These CETESB operated stations are located in Boqueirão and Ponta da Praia neighborhoods and the study covers the period between June 2011 and December 2015. The charts and tables of the concentration of pollutants utilized in the analysis of this project were recorded by the stations via QUALAR. In the historical series studied, only MP_{10} and O_3 were responsible for the overtaking of PQA_r. The air quality evaluated in CETESB's monitoring stations was good most of the time regarding all pollutants that were analyzed, with the largest PQA_r number overtaking being the MP_{10} in Santos – Ponta da Praia, followed by O_3 , in Santos-Boqueirão.

Keywords: Atmospheric Pollution, Inhalable Particles, Sulfur Dioxide, Nitrogen Oxides, Ozone, PQA_r.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Planta de tabaco (<i>Nicotiana tabacum</i>) sem sinais de fitotoxidez ao ozônio.....	31
Figura 02 – Injúrias foliares características de fitotoxidez ao ozônio em planta de tabaco (<i>Nicotiana tabacum</i>) após exposição por 28 dias a poluição atmosférica em Cabreúva - SP.....	31
Figura 03 – Imagem aérea do município de Santos com demarcação da estação de monitoramento da CETESB, localizada no Bairro Boqueirão e seu entorno.....	40
Figura 04 – Imagem aérea do município de Santos com demarcação da estação de monitoramento da CETESB, localizada no Bairro Ponta da Praia e seu entorno.....	41
Figura 05 – Gráfico da evolução das concentrações máximas mensais de Partículas Inaláveis Finas (MP _{2,5}) na estação de monitoramento Santos – Ponta da Praia de 18/11/11 a 31/12/15.....	43
Figura 06 – Gráfico da distribuição da qualidade do ar avaliada para MP _{2,5} na estação de monitoramento Santos – Ponta da Praia de 18/11/11 a 31/12/15.....	44
Figura 07 – Gráfico da evolução das concentrações máximas mensais de Partículas Inaláveis (MP ₁₀) nas estações de monitoramento de Santos (Boqueirão e Ponta da Praia) desde o início de operação de cada uma delas até 31/12/15.....	45
Figura 08 – Gráfico da distribuição da qualidade do ar avaliada para MP ₁₀ na estação de monitoramento Santos – Boqueirão de 07/06/11 a 31/12/15.....	46
Figura 09 – Gráfico da distribuição da qualidade do ar avaliada para MP ₁₀ para a estação de monitoramento Santos – Ponta da Praia de 18/11/11 a 31/12/15.....	47
Figura 10 – Gráfico da evolução das concentrações máximas mensais de dióxido de enxofre (SO ₂) na estação Santos – Ponta da Praia de 18/11/11 a 31/12/15.....	47

Figura 11 – Gráfico da distribuição da qualidade do ar avaliada para SO ₂ na estação de monitoramento Santos – Ponta da Praia de 18/11/11 a 31/12/15.....	48
Figura 12 – Gráfico da evolução das concentrações máximas mensais de dióxido de nitrogênio (NO ₂) nas estações de monitoramento de Santos (Boqueirão e Ponta da Praia) desde o início de operação de cada uma delas até 31/12/15.....	49
Figura 13 – Gráfico da distribuição da qualidade do ar avaliada para NO ₂ nas estações de monitoramento de Santos (Boqueirão e Ponta da Praia) desde o início de operação de cada uma delas até 31/12/15.....	50
Figura 14 – Gráfico da evolução das concentrações máximas mensais de ozônio (O ₃) nas estações de monitoramento de Santos (Boqueirão e Ponta da Praia) desde o início de operação de cada uma delas até 31/12/15.....	51
Figura 15 – Gráfico da evolução da radiação solar global (médias máximas mensais) em W/m ² verificadas nas estações de monitoramento de Santos (Boqueirão e Ponta da Praia) de 07/06/11 a 31/12/15.....	52
Figura 16 – Gráfico da evolução das velocidades do vento (médias máximas mensais) em m/s verificadas nas estações de monitoramento de Santos (Boqueirão e Ponta da Praia) de 07/06/11 a 31/12/15.....	53
Figura 17 – Gráfico da distribuição da qualidade do ar avaliada para ozônio (O ₃) na estação de monitoramento Santos – Boqueirão de 07/06/11 a 31/12/15.....	54
Figura 18 – Gráfico da distribuição da qualidade do ar avaliada para ozônio (O ₃) na estação de monitoramento Santos – Ponta da Praia de 18/11/11 a 31/12/15.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Resultados do biomonitoramento passivo e ativo realizado na região de Cubatão – SP de fluoreto, cádmio, chumbo, mercúrio e níquel.....	28
Tabela 02 – Espécies bioindicadoras de poluição, poluentes monitorados e efeitos da poluição sobre as plantas.....	29
Tabela 03 – Bioindicadores associados à detecção de poluentes atmosféricos.....	30
Tabela 04 – Padrões de qualidade do ar recomendados pela OMS.....	32
Tabela 05 – Padrões nacionais de qualidade do ar (Resolução CONAMA nº 03/90)...	33
Tabela 06 – Critérios para episódios críticos de poluição do ar estabelecidos pela legislação federal (Resolução CONAMA nº 03 de 28/06/1990)	34
Tabela 07 – Padrões de qualidade do ar no Estado de São Paulo estabelecidos pelo Decreto Estadual nº 59.113 de 23/04/2013.....	35
Tabela 08 – Critérios para episódios críticos de poluição do ar no Estado de São Paulo determinados pelo Decreto Estadual nº 59.113 de 23/04/2013.....	36
Tabela 09 – Classificação da qualidade do ar, IQAr e efeitos à saúde.....	37
Tabela 10 – Faixas de concentração de poluentes que determinam a classificação da qualidade do ar nas estações de monitoramento da CETESB.....	38
Tabela 11 – Parâmetros monitorados nas estações da CETESB do município de Santos.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

CECON: Centro de Convivência da Terceira Idade
CETESB: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CFC: Cloro-Flúor-Carbono
CH₄: Metano
CLP: Camada Limite Planetária
CO: Monóxido de Carbono
CO₂: Dióxido de Carbono
CODESP: Companhia Docas do Estado de São Paulo
CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV's: Compostos Orgânicos Voláteis
GEE's: Gases de Efeito Estufa
GLP: Gás Liquefeito de Petróleo
°C: grau Celsius
H₂SO₄: Ácido Sulfúrico
IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH: Índice de Desenvolvimento Humano
IQAr: Índice de Qualidade do Ar
MI: Meta Intermediária
MI1: Meta Intermediária 1
MI2: Meta Intermediária 2
MI3: Meta Intermediária 3
MP_{2,5}: Partículas Inaláveis Finas
MP₁₀: Partículas Inaláveis
NO: Monóxido de Nitrogênio
NO₂: Dióxido de Nitrogênio
NO_x: Óxidos de Nitrogênio
O₃: Ozônio
OMS: Organização Mundial da Saúde
ONU: Organização das Nações Unidas
PCPV: Plano de Controle de Poluição Veicular
PF: Padrão Final
PFC's: Perfluorcarbonetos
PIB: Produto Interno Bruto

ppm: parte por milhão

PQAr: Padrão de Qualidade do Ar

PREFE: Plano de Redução de Emissão de Fontes Estacionárias

PTS: Partículas Totais em Suspensão

QUALAR: Sistema de Informações da Qualidade do Ar

SIRGAS: Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SO₂: Dióxido de Enxofre

SO₃: Trióxido de Enxofre

UGRHI: Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

UTM: Universal Transversa de Mercator

UBS: Unidade Básica de Saúde

US-EPA: American Environmental Protection Agency

UV-B: Raios Ultravioleta do Tipo B

W/m²: Watts por metro quadrado

μ: Micra

μg/m³: Micrograma por metro cúbico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Características da área de estudo	15
2.2 A atmosfera	16
2.3 Fatores que interferem na qualidade do ar e na dispersão de poluentes	16
2.3.1 Temperatura	17
2.3.2 Ventos	17
2.3.3 Radiação Solar	19
2.3.4 Umidade e precipitação	19
2.4 Fontes de poluição e poluentes atmosféricos	19
2.4.1 Partículas Inaláveis Finas (MP _{2,5})	21
2.4.2 Partículas Inaláveis (MP ₁₀) e Fumaça	21
2.4.3 Partículas Totais em Suspensão (PTS)	22
2.4.4 Dióxido de Enxofre (SO ₂)	22
2.4.5 Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	23
2.4.6 Monóxido de Carbono (CO)	23
2.4.7 Compostos Orgânicos Voláteis (COV's)	24
2.4.8 Ozônio (O ₃)	25
2.5 Avaliação da qualidade do ar	26
2.5.1 Biomonitoramento da qualidade do ar	27
2.6 Padrões de Qualidade do Ar	32
2.6.1 Padrões de Qualidade do Ar Recomendados pela Organização Mundial de Saúde	32
2.6.2 Padrões Nacionais de Qualidade do Ar	32

2.6.3 Padrões Estaduais de Qualidade do Ar	34
2.7 Classificação da Qualidade do Ar	37
3. METODOLOGIA	39
3.1 O monitoramento da qualidade do ar no município de Santos	39
3.1.1 Estação Santos – Boqueirão	39
3.1.2 Estação Santos – Ponta da Praia	40
3.2 Parâmetros monitorados pela CETESB nas estações do município de Santos...	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1 Partículas Inaláveis Finas (MP _{2,5})	43
4.2 Partículas Inaláveis (MP ₁₀)	44
4.3 Dióxido de Enxofre (SO ₂)	47
4.4 Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	48
4.5 Ozônio (O ₃)	50
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	56
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1. INTRODUÇÃO

O município de Santos é ao mesmo tempo uma cidade turística e de negócios, recebendo milhares de pessoas nos finais de semana, principalmente nos meses mais quentes do ano, as quais são atraídas notadamente pelas belezas de seus recursos naturais e da estrutura voltada ao lazer oferecida pela cidade, além de abrigar o maior porto do país, responsável pela movimentação diária de grande parte das riquezas exportadas e importadas pelo país.

Na pesquisa realizada pela empresa de consultoria Delta & Finance / América Economia, Santos foi classificada como a cidade com melhor qualidade de vida dentre os 5,5 mil municípios brasileiros, conforme matéria veiculada em 05/12/2014 na TV Tribuna (repetidora da Rede Globo de televisão na Baixada Santista). Nessa pesquisa foram analisadas 77 características, relacionadas à qualidade de vida como: saúde, educação, segurança pública, saneamento básico, economia e governança, entre outras.

A elevada qualidade de vida santista, o relevo plano, as praias, a ampla rede de assistência aos idosos composta por programas desenvolvidos nas UBS (Unidades Básicas de Saúde), Centros de Convivência da Terceira Idade (CECON), Repúblicas de Idosos e programas esportivos e culturais voltados para essa faixa etária da população tem atraído grande quantidade de idosos, que escolheram o município de Santos como residência após a aposentadoria (BIZ & MAIA, 2007).

A qualidade ambiental de um município está relacionada tanto com as características dos ambientes naturais como aquelas relativas ao ambiente construído, sendo avaliada pelo nível de poluição e pela qualidade do ar, da água e do solo verificados no local. Desta forma, o conhecimento dos níveis de poluição, aos quais a localidade das próximas férias está submetida, poderá subsidiar com maior segurança a escolha do destino turístico de visitantes de estâncias balneárias como Santos, que procuram não só o lazer, mas também qualidade de vida.

Segundo publicação da OMS (Organização Mundial da Saúde), um entre cada oito óbitos ocorridos no mundo no ano de 2012 foi em decorrência da exposição à poluição atmosférica, o que representa a morte prematura de sete milhões de pessoas. Essa enorme quantidade de mortes atribuídas à poluição do ar, superando todas as expectativas anteriores, confirma que atualmente a poluição atmosférica representa, por si só, o maior risco, na área de saúde pública, que a população do planeta está submetida (OMS, 2014).

Dentre todas formas de poluição (do ar, da água e do solo), a atmosférica é aquela que atinge a todos os seres vivos indistintamente, afetando a saúde e o bem-estar das pessoas e dos animais, danificando materiais e esculturas, prejudicando o desenvolvimento

das plantas e a qualidade dos produtos agrícolas (ÁLVARES JR., et al., 2002; PIMENTEL, 2011). Os efeitos da má qualidade do ar não são tão visíveis comparados com a poluição dos solos e das águas, no entanto, estudos epidemiológicos têm demonstrado correlações positivas entre a exposição aos poluentes atmosféricos e o aumento das taxas de morbidade e mortalidade, causados por problemas respiratórios e cardiovasculares, sobretudo nas populações mais vulneráveis, representadas por crianças e idosos (GOUVEIA et al., 2003).

A poluição atmosférica pode ser devida a causas naturais como erupções vulcânicas, incêndios florestais não provocados pelo homem, ou até mesmo pelos gases gerados na decomposição da matéria orgânica, como também pode ser decorrente de atividades antrópicas como emissões de gases tóxicos pelas industriais, fumaça lançada por veículos automotores movidos a diesel ou gasolina, entre outras" (ÁLVARES JR, et al., 2002).

A qualidade do ar é avaliada pela concentração de alguns poluentes presentes na atmosfera, os quais são consagrados universalmente como indicadores mais abrangentes da qualidade do ar em função de sua maior frequência de ocorrência e dos efeitos adversos que causam à saúde e ao meio ambiente (CETESB, 2013). Poluentes atmosféricos são materiais ou substâncias presentes no ar acima de determinadas concentrações ou que apresentem condições de contribuir para a formação de outros materiais e substâncias capazes de provocar poluição como: materiais particulados (representadas por partículas de material sólido ou líquido, que ficam suspensas no ar na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc.), monóxido de carbono, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio e ozônio troposférico (SIQUEIRA, 2015).

As atividades portuárias com movimentação de cargas de grãos sólidos (fertilizantes, rochas, açúcar, trigo, soja, milho, etc.), líquidos (óleos combustíveis, gasolina, etc.) e gasosos (principalmente GLP – Gás Liquefeito de Petróleo), além do fracionamento de produtos químicos nos terminais portuários constituem as principais fontes potenciais de poluição ambiental no Porto Organizado de Santos, sendo responsáveis pela emissão de efluentes e de poluentes atmosféricos, geração de resíduos, acidentes ambientais e passivos ambientais (RODRIGUES, 2010).

O objetivo deste trabalho é apresentar um diagnóstico da qualidade do ar na cidade de Santos a partir das concentrações de poluentes detectadas nas duas estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar operadas pela CETESB, localizadas no município, no período entre 07/06/2011 e 31/12/2015. São apresentadas as principais características dos poluentes atmosféricos que afetam a qualidade do ar, seus efeitos danosos à saúde e ao meio ambiente, maneiras de avaliação da poluição atmosférica

utilizando plantas bioindicadoras, os padrões de emissão de poluentes permitidos pela legislação ambiental, os gráficos das concentrações médias máximas mensais desses poluentes verificadas nas estações de monitoramento do município de Santos e gráficos da distribuição da qualidade do ar para cada poluente. Os gráficos das concentrações médias máximas de poluentes e as tabelas que possibilitaram as análises da qualidade do ar em Santos, bem como a construção dos gráficos da distribuição da qualidade do ar para cada elemento monitorado nas estações situadas nos bairros do Boqueirão e Ponta da Praia foram obtidos no QUALAR (Sistema de Informações da Qualidade do Ar) que forneceu as concentrações dos poluentes monitorados nas estações operadas pela CETESB, gráficos e tabelas utilizados nesse trabalho, disponível no site da CETESB (CETESB, 2016).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Características da área de estudo

Segundo informações obtidas no site da prefeitura, o município de Santos possui uma área territorial de 271 km², constituída por uma parte insular de 39,4 km², na qual reside 99,2% da população da cidade, e outra continental de 231,6 km² com extensa área de Mata Atlântica preservada. Segundo dados do IBGE, a população apurada no censo de 2010 foi de 419.400 pessoas e a estimada para 2015 é de 433.966 habitantes no município.

O IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) calculado com base nos níveis de expectativa de vida, educação e PIB (Produto Interno Bruto) per capita, instituído pela ONU (Organização das Nações Unidas) para avaliar o grau de desenvolvimento dos países foi calculado para o município, atingindo em 2010 valor igual a 0,840, considerado muito alto na escala do IDH mundial, colocando Santos na 6^a posição, quando comparado com os 100 maiores valores de IDH do Brasil (IBGE, 2015).

Conforme dados fornecidos pela administração municipal, o PIB de Santos foi de R\$ 27,619 bilhões em 2010 e de R\$ 31,544 bilhões em 2011, ocupando a 7^a maior posição em comparação com os municípios paulistas e a 17^a colocação quando comparado com todos os municípios brasileiros. A posição do PIB santista é devida, principalmente, às atividades portuárias e aos setores: comércio, serviços, pesca e turismo.

O Porto de Santos é o maior e mais importante complexo portuário da América do Sul, possui 13 quilômetros de extensão e quase 500 mil m² de armazéns. Segundo Relatório Anual de 2014 da CODESP (Companhia Docas do Estado de São Paulo), o Porto de Santos possui 15.960 metros de extensão de cais e 7,8 milhões de m² de área útil, conta com 55 terminais marítimos e retro portuários e 65 berços de atracação. O Porto de Santos movimenta mais de 40% dos contêineres que entram e saem do país e de janeiro a setembro de 2015 movimentou 88.646.941 toneladas de carga (um aumento de 6,79% em relação ao mesmo período de 2014), representando a maior fonte de riqueza do município, fazendo de Santos a cidade mais importante economicamente de todas da Região Metropolitana da Baixada Santista e uma das mais ricas do país (CODESP, 2015).

2.2 A atmosfera

A composição da atmosfera varia ligeiramente de acordo com as condições locais, sendo formada, predominantemente, por nitrogênio e oxigênio, que representam, respectivamente, cerca de 78% e mais de 20% do volume total do ar, além de pequenas concentrações de outros componentes como: argônio, gás carbônico, vapor d'água e outros gases (ÁLVARES JR, et al., 2002).

A atmosfera é formada por cinco camadas: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera. No entanto, apenas as duas mais próximas à superfície da Terra são afetadas pela poluição do ar. Segundo Lisboa (2010), a maioria dos fenômenos meteorológicos ocorre na troposfera, que é a camada compreendida entre o nível do mar e cerca de 11 km de altitude, porém, sua espessura é variável, podendo atingir 17 km de altura nas regiões tropicais e alcançar apenas 7 Km nos polos. A maioria dos poluentes atmosféricos é lançada e permanece na troposfera até sua dispersão no ar, contudo alguns poluentes afetam a camada de ozônio, localizada na estratosfera, na faixa compreendida entre o limite da troposfera e cerca de 60 km da superfície terrestre. A camada de ozônio é responsável por filtrar os raios ultravioleta do tipo B (UV-B), nocivos aos seres vivos, formando um escudo protetor contra a radiação capaz de destruir várias moléculas orgânicas, inclusive o DNA (ácido desoxirribonucleico) (PIMENTEL, 2011).

2.3 Fatores que interferem na qualidade do ar e na dispersão de poluentes

A poluição do ar é resultante da concentração de poluentes presentes na atmosfera, sendo afetada pela magnitude das emissões e por características geográficas da região como: latitude/longitude, topografia e, sobretudo, pelas condições meteorológicas, as quais podem favorecer ou dificultar a dispersão dos poluentes no ambiente (CARVALHO, et al., 2012). A dispersão de poluentes na atmosfera pode ser influenciada por fenômenos meteorológicos que ocorrem a milhares de quilômetros das fontes de emissão, como anticiclones subtropicais, frentes frias, etc.; ou que ocorrem a centenas de quilômetros da fonte de emissão, como a circulação das brisas marítima e terrestre, ventos de vale-montanha, etc.; ou ainda, por fatores que ocorrem a poucos metros da fonte de emissão e interferem na direção e velocidade do vento, como o efeito de um edifício sobre a pluma emitida por uma chaminé, entre outros fatores (SIQUEIRA, 2015; CARVALHO et al., 2012).

Altas concentrações de poluentes atmosféricos em um local podem ocorrer não somente por emissão de fontes de poluição localizadas nas proximidades e por condições

desfavoráveis à dispersão, mas também pelo transporte de poluentes de regiões vizinhas, principalmente no caso do ozônio (CETESB, 2015a).

A dispersão e as concentrações de poluentes na atmosfera são afetadas por diversos parâmetros como: temperatura, ocorrência de inversão térmica, direção e velocidade do vento, radiação solar, umidade e precipitação, entre outros (CETESB, 2015b).

2.3.1 Temperatura

A temperatura na troposfera geralmente decresce com a altitude numa taxa de 6,5°C por quilômetro, o que possibilita a movimentação ascendente das massas de ar mais quentes, normalmente localizadas mais próximas ao solo, impulsionando a circulação das massas de ar de diferentes temperaturas, favorecendo a dispersão de poluentes. As massas de ar mais quentes são menos densas, tendendo a se elevarem na atmosfera, ocorrendo o oposto com as massas de ar mais frias, que por serem mais densas, tendem a se deslocar para as regiões mais baixas da atmosfera. A massa de ar mais próxima à superfície terrestre, chamada de Camada Limite Planetária (CLP) ou "Camada de Mistura" (ORLANDO, 2008), é diretamente influenciada pelos ventos e pela temperatura, sendo a camada mais importante da atmosfera em termos de poluição do ar, uma vez que constitui no local no qual os poluentes são lançados e onde ocorre a diluição dos mesmos na atmosfera. Os ventos e os gradientes de temperatura determinam condições de instabilidade na CLP, que favorecem a dispersão de poluentes na atmosfera, uma vez que o ar poluído geralmente tende a deslocar-se para as camadas mais elevadas da atmosfera, provocando a circulação das massas de ar, favorecendo a diluição dos poluentes. Quanto maior a estabilidade atmosférica maior a dificuldade de diluição dos poluentes, podendo ocorrer a formação de inversão térmica, que acontece quando uma camada de ar quente se instala acima de camadas de ar mais frias, situadas próximas à superfície terrestre (DAMILANO, 2006).

2.3.2 Ventos

A movimentação das massas de ar devido, principalmente, aos gradientes de temperatura e de pressão são os principais responsáveis pela dispersão de poluentes na atmosfera. No entanto, a direção e velocidade dos ventos são diretamente influenciadas pelos efeitos dos edifícios nas áreas urbanas e pela fisiografia da região, notadamente, nas áreas litorâneas (devido à formação das brisas marinha e terrestre) e em locais de relevo acidentado (nos quais ocorrem ventos de vale e montanha):

a) Brisas marinha e terrestre: As brisas marinha e terrestre influenciam tanto a intensidade e direção dos ventos, como a temperatura e umidade da atmosfera. Embora possam ser percebidas a centenas de quilômetros (PIMENTEL, 2011), as brisas ocorrem nas cidades litorâneas devido às diferentes capacidades de aquecimento e de retenção de calor entre as superfícies do mar e do solo. O calor específico da água (equivalente a $1,0 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$) é maior do que o da superfície do solo (em média $0,175 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$), ou das áreas impermeabilizadas das cidades, sendo necessário maior quantidade de calor para elevar a temperatura em 1°C de certa massa de água, do que para elevar em 1°C a mesma massa de solo. O maior calor específico da água em relação ao solo também confere às massas de água maior capacidade de retenção de calor do que superfícies de menor calor específico como o solo (BRADY & WEIL, 2013).

Assim, durante o dia, os raios solares aquecem mais rapidamente a superfície do solo (principalmente em áreas urbanas) do que a da lâmina de água do oceano, elevando a temperatura do ar das camadas mais próximas à superfície do solo (deixando-as menos densas do que as camadas de ar mais frias), o que provoca movimento ascendente do ar e o transporte horizontal das massas de ar em baixos níveis da atmosfera no sentido do mar para o continente, formando a "Brisa Marítima" (ÁLVARES JR, et al., 2002).

À noite, a superfície do solo perde calor mais rapidamente do que a do oceano e as camadas de ar mais quentes são aquelas em contato com a água do mar. O ar mais quente, por ser menos denso, se eleva na atmosfera, dando lugar às camadas de ar mais frio, que à noite encontram-se próximas à superfície do solo, o que provoca inversão no sentido de circulação das massas de ar, que vão do continente para o mar, formando a "Brisa Terrestre" (ÁLVARES JR, et al., 2002).

As brisas marítima e terrestre são fenômenos meteorológicos importantes que podem influenciar a dispersão dos poluentes em cidades litorâneas como Santos.

b) Ventos de vale e montanha: Ocorrem devido às diferenças de temperatura entre a planície litorânea e regiões de relevo mais ondulado.

Durante o dia, a atmosfera próxima ao solo da planície está mais aquecida, provocando a movimentação das massas de ar no sentido do topo da montanha, fenômeno conhecido como "Vento de Vale" (ÁLVARES JR, et al., 2002).

À noite, devido ao maior resfriamento do ar próximo ao solo da planície litorânea, o vento desce a montanha, fenômeno conhecido como "Vento de Montanha" (ÁLVARES JR, et al., 2002).

O município de Santos, por estar junto à Serra do Mar, sofre influência dos ventos de vale e montanha.

2.3.3 Radiação solar

Todas as variáveis meteorológicas como temperatura, ventos, umidade, pressão, entre outras, são originadas e/ou influenciadas pela energia radiante que chega na superfície terrestre. A concentração de ozônio na troposfera está relacionada à radiação solar, uma vez que esse poluente secundário é formado por reações fotoquímicas, que são diretamente afetadas pela intensidade da radiação solar, além da presença e concentração de substâncias como: óxidos de nitrogênio, compostos orgânicos voláteis, entre outros precursores deste poluente (ALVIM, 2013).

Segundo Oliveira (2015), a influência da radiação solar pode ser exemplificada no cálculo das estimativas de emissões de compostos orgânicos de tanques obtidas a partir de uma série de parâmetros como: tamanho e tipo do tanque (incluindo a cor do tanque), temperatura de evaporação do produto armazenado, condições atmosféricas do local do tanque e seu tipo de teto, ou seja, teto fixo, teto flutuante interno ou teto flutuante externo, os quais são utilizados na metodologia de cálculo do U.S. EPA AP-42, seção 7.1, baseado no cálculo do software TANKS 4.09d. A cor branca reflete todas as frequências da luz visível e o preto absorve todas. Nesse contexto, as emissões de compostos orgânicos voláteis em tanques pintados de branco são menores do que aquelas emitidas em tanques pintados por outras cores.

2.3.4 Umidade e precipitação

A baixa umidade pode aumentar as concentrações de material particulado na atmosfera devido à poeira ressuspensa da superfície do solo. A alta umidade pode provocar a névoa úmida e nevoeiro, prejudicando a visibilidade, além de bloquear parcialmente a radiação solar incidente. As chuvas promovem a remoção de grande parte dos poluentes atmosféricos, uma vez, que parte do material particulado e dos gases solúveis em água é incorporada às gotas e se precipita na superfície terrestre (ÁLVARES JR, et al., 2002).

2.4 Fontes de poluição e poluentes atmosféricos

Fontes de poluição atmosférica podem ser classificadas como fixas: constituídas pelos gases e fumaça emitidos pelas chaminés das indústrias ou aquelas consideradas como fontes móveis de poluentes: representadas pelos gases e fuligem lançados pelos veículos automotores, aviões, embarcações marítimas, etc., ou ainda, fontes de poluição

não classificadas como fixas ou móveis: provenientes de desmatamentos e queimadas da vegetação, realizados para a expansão das cidades e das áreas cultiváveis nas zonas rurais, como também gases gerados em aterros sanitários ou nas estações de tratamento de efluentes industriais e de esgotos, entre outras (ÁLVARES JR, et al., 2002).

Em relação à sua origem, os poluentes do ar podem ser primários ou secundários. Poluentes primários são aqueles diretamente lançados na atmosfera pelas fontes de poluição, permanecendo na atmosfera na forma em que foram emitidos como: material particulado, monóxido de carbono, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e vários hidrocarbonetos (SIQUEIRA, 2015). Os poluentes secundários como: ácido sulfúrico, ácido nítrico, diversos nitratos e o ozônio são formados na atmosfera a partir de reações de gases presentes na troposfera com outros poluentes primários (óxidos de enxofre, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio) na presença de radiação solar (CASTRO et al., 2003; SÃO PAULO, 2013).

O fracionamento de produtos químicos e o armazenamento em tanques de grânéis líquidos de substâncias inflamáveis, tóxicas, oxidantes e combustíveis nos terminais do Porto Organizado de Santos constituem fontes potenciais de poluição ambiental (RODRIGUES, 2010).

Dentre os poluentes presentes na atmosfera é importante citar os Gases do Efeito Estufa (GEE's), representados principalmente por vapor d'água (H_2O), gás carbônico (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), ozônio (O_3), além de compostos contendo flúor como os cloro-flúor-carbono (CFC) e bromo-flúor-carbono. Os GEE's, que não apresentam flúor e bromo na sua composição, absorvem radiação luminosa, principalmente ultravioleta e infravermelha, provocando aumento da temperatura do ar, uma das mudanças climáticas globais. Os compostos contendo flúor ao absorverem radiação ultravioleta, reagem com o O_3 em altitude, o que provoca a redução da concentração de ozônio na estratosfera, afetando a camada de ozônio. Os GEE's em altas concentrações são tóxicos às plantas, aos animais e ao homem e estão diretamente relacionados às variações climáticas, tais como: maior ocorrência de temperaturas extremas, com ondas de calor e frio, mudanças nos padrões das correntes de ar sobre o globo terrestre, acentuando a seca em algumas regiões e precipitações pesadas em outras, entre outros problemas (PIMENTEL, 2011; SIQUEIRA, 2015).

De acordo com o estabelecido artigo 1º da Resolução CONAMA nº 003/1990,

"entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

- I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;*
- II - inconveniente ao bem-estar público;*
- III - danoso aos materiais, à fauna e flora;*
- IV - prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade" (BRASIL, 1990b).*

Os principais poluentes atmosféricos que afetam a qualidade do ar, suas características, as principais fontes de emissão e os efeitos à saúde e ao meio ambiente estão apresentados a seguir:

2.4.1 Partículas Inaláveis Finas (MP_{2,5})

São partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc., que podem permanecer na atmosfera e percorrer longas distâncias. Apresentam dimensões menores ou iguais a 2,5 micras. Suas principais fontes são processos de combustão (industrial ou em veículos automotores), aerossol secundário como sulfato e nitrato, etc. De acordo com sua origem, essas partículas podem conter várias substâncias tóxicas e carcinogênicas como hidrocarbonetos policíclicos e aromáticos, benzo(a)pireno, metais, dioxinas, entre outras, que potencializam os efeitos danosos sobre a saúde da população e deterioram o meio ambiente. As partículas inaláveis finas causam irritação nos olhos e garganta, reduzindo a resistência às infecções, além de não serem retidas pelas defesas do organismo como pelos do nariz e mucosas, penetrando nas regiões mais profundas dos pulmões (podendo chegar até os alvéolos pulmonares), provocando doenças crônicas, notadamente em idosos e crianças. No ambiente, as partículas inaláveis finas provocam danos à vegetação, redução da visibilidade e contaminação do solo e da água (CETESB, 2015b; NARDOCCI, et al., 2013; CASTRO, et al., 2003; ÁLVARES JR, et al., 2002).

2.4.2 Partículas Inaláveis (MP₁₀) e Fumaça

São partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. De dimensão igual ou menor do que 10 micras, são geradas em processos de combustão (industrial ou em veículos automotores), poeira ressuspensa, aerossol secundário como sulfato e nitrato, entre outros. Provocam efeitos danosos à saúde como doenças crônicas respiratórias, sujam placas de trânsito, causam danos às estruturas e aos monumentos, além de danificarem a vegetação,

prejudicarem a visibilidade e contaminarem o solo e a água (CETESB, 2015b; ÁLVARES JR, et al., 2002).

2.4.3 Partículas Totais em Suspensão (PTS)

São partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Apresentam dimensões menores ou iguais a 50 micras. São provenientes de fontes naturais como: pólen, aerossol marinho e de solo, ou geradas em processos industriais, veículos automotores, ou ainda, decorrentes da poeira de rua ressuspensa, da queima de biomassa, etc. Uma parte das partículas totais em suspensão é inalável podendo provocar problemas de saúde na população exposta como irritação dos olhos e garganta, a outra parte pode afetar desfavoravelmente a qualidade de vida da população, interferindo nas condições estéticas do ambiente e prejudicando as atividades normais da comunidade, além de provocar danos à vegetação, redução da visibilidade e contaminação do solo e da água (CETESB, 2015b; NARDOCCI, et al., 2013; CASTRO, et al., 2003; ÁLVARES JR, et al., 2002).

2.4.4 Dióxido de Enxofre (SO₂)

É um gás tóxico, amarelado, com odor característico de enxofre e muito irritante quando em contato com superfícies úmidas (mucosas). É um gás relativamente pesado, sendo possível detectar sua presença, mesmo em pequenas concentrações, próximo aos locais de emissão, a não ser que seja lançado na atmosfera por chaminés muito altas. O SO₂ pode ser transformado em SO₃, que com a umidade atmosférica passa rapidamente a H₂SO₄ (ácido sulfúrico), formando um dos componentes da chuva ácida. O dióxido de enxofre é gerado em processos que utilizam queima de óleo combustível, refinarias de petróleo, veículos movidos a diesel ou a outros combustíveis fósseis, produção de papel, de fertilizantes, etc. É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis finas, que penetram nas regiões mais profundas dos pulmões, provocando agravamento de doenças respiratórias pré-existentes, podendo também aumentar a incidência de rinite, faringite e bronquite (GOUVEIA et al., 2003). A inalação de baixas concentrações de SO₂ provoca espasmos passageiros dos músculos lisos dos bronquíolos pulmonares e em concentrações maiores causa o aumento da secreção da mucosa nas vias respiratórias superiores, inflamações graves da mucosa e redução do movimento ciliar do trato respiratório, responsável pela remoção do muco e de partículas estranhas do interior das vias aéreas superiores. Pessoas com asma e doenças crônicas do

pulmão e coração são mais sensíveis ao SO_2 (GOUVEIA et al., 2003). Os principais efeitos do SO_2 no meio ambiente são a formação de chuva ácida, corrosão de materiais e danos à vegetação, afetando a atividade fotossintética das plantas, o que provoca redução da produção agrícola (CETESB, 2015b; ÁLVARES JR, et al, 2002).

2.4.5 Óxidos de Nitrogênio (NO_x)

Os óxidos de nitrogênio (NO_x) são produzidos quando o ar é aquecido a altas temperaturas como nos processos de combustão (industrial e em veículos automotores), usinas térmicas que utilizam óleo ou gás, incineradores, etc. Nas grandes cidades, os veículos automotores constituem a principal fonte de emissão de óxidos de nitrogênio para a atmosfera. A presença de NO_x na atmosfera pode levar à formação de poluentes secundários como: ozônio, ácido nítrico, nitratos (o qual contribui para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos. Geralmente o nitrogênio inerte da atmosfera se combina com o oxigênio formando o monóxido de nitrogênio (NO), que se converte em NO_2 (dióxido de nitrogênio). O NO_2 é muito mais tóxico do que o monóxido de nitrogênio. O NO_2 é um gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. A presença de NO_2 na atmosfera pode provocar na população desconforto respiratório, diminuição da resistência às infecções e alterações celulares. Os principais efeitos da presença de NO_2 no meio ambiente são a formação de chuva ácida, danos à vegetação e redução da produtividade agrícola (CETESB, 2015b; NARDOCCI, et al., 2013; CASTRO, et al., 2003; ÁLVARES JR, et al., 2002).

2.4.6 Monóxido de Carbono (CO)

O monóxido de carbono é um gás incolor, inodoro, insípido e ligeiramente mais leve que o ar. É um poluente gerado pela combustão incompleta de combustíveis fósseis em diversos processos industriais ou por veículos automotores, sendo encontrado em maiores concentrações nas áreas urbanas. Os veículos automotores são os principais responsáveis pelos altos níveis desse poluente verificados nas áreas de tráfego intenso dos grandes centros urbanos. Os veículos automotores emitem concentrações de monóxido de carbono muito maiores do que as indústrias, com o agravante de lançarem esse poluente nas vias de tráfego na altura do sistema respiratório das pessoas. O monóxido de carbono é um dos precursores do ozônio em presença de radiação ultravioleta (ORLANDO, 2008). A presença do CO na atmosfera não é detectada pelos órgãos dos sentidos, pois esse poluente não tem cheiro, nem cor e não provoca irritação das mucosas, constituindo num dos mais perigosos

agentes tóxicos, quando presente em altas concentrações em ambientes fechados. O monóxido de carbono possui cerca de 300 vezes maior afinidade com a hemoglobina do sangue do que com o oxigênio, formando a carboxihemoglobina, que impede a oxigenação do sangue, provocando a morte por asfixia. A exposição contínua ao monóxido de carbono, mesmo em médias concentrações, típicas de corredores de tráfego das grandes cidades, está relacionada às causas de afecções de caráter crônico, sendo nociva às pessoas anêmicas e com deficiências respiratórias ou circulatórias, afetando particularmente os sistemas nervoso central, cardiovascular e respiratório (CETESB, 2015b; NARDOCCI, et al., 2013; CASTRO, et al., 2003; ÁLVARES JR, et al., 2002).

2.4.7 Compostos Orgânicos Voláteis (COV's)

Segundo Alvim (2013), os dez COV's mais abundantes na atmosfera encontrados no estudo realizado no ano de 2011/2012, na estação CETESB IPEN/USP, foram: etanol, acetaldeído, formaldeído, acetona, propano, eteno, etano, butano, 1-etil-4-metilbenzeno e 1,2,4-trimetilbenzeno. Os COV's, em conjunto com os NO_x e CO, em presença da luz solar, participam da formação dos oxidantes fotoquímicos como o ozônio. Os principais precursores de ozônio verificados na cidade de São Paulo, nas quatro estações do ano foram: formaldeído, acetaldeído, propeno, isopropeno, cis e trans 2-buteno, indicando que os compostos mais reativos se encontram no grupo dos aldeídos, seguido pelos alcenos, aromáticos e alcanos, altamente estáveis por serem saturados (ORLANDO, 2008).

Os aldeídos são gases tóxicos de odor desagradável e efeito irritante sobre os olhos, nariz e garganta. São produzidos nos processos de combustão por veículos automotores movidos à gasolina e diesel e pelas indústrias, principalmente, aquelas de fabricação de plástico, artefatos de madeira, produtos de limpeza e conservantes. Os aldeídos são também formados e transformados em complexas reações fotoquímicas na atmosfera. Segundo a American Environmental Protection Agency (US-EPA) e outras agências internacionais relacionadas com saúde pública e meio ambiente, os aldeídos são considerados prováveis substâncias cancerígenas (ÁLVARES JR, et al., 2002).

Os hidrocarbonetos (alcenos, aromáticos, alcanos, entre outros) são gases e vapores de odor desagradável, irritantes aos olhos, nariz, pele e trato respiratório superior. A maior parte dos hidrocarbonetos presentes na atmosfera é proveniente da queima incompleta de combustíveis fósseis nos motores de combustão interna, pela evaporação nos tanques de combustíveis dos veículos e em operações de transporte e transferência de combustíveis. Em áreas densamente urbanizadas e industrializadas são também gerados pelas indústrias químicas, de transformação, refinarias, petroquímicas, coquearias e

processos de queima de materiais orgânicos. Muitos hidrocarbonetos podem conter substâncias altamente tóxicas como benzeno, tolueno, xileno, entre outras, as quais são consideradas carcinogênicas e mutagênicas para os indivíduos submetidos à exposição prolongada aos mesmos. A exposição a altas concentrações desses poluentes, mesmo que por pequenos períodos de tempo, pode causar efeitos imediatos aos seres humanos como náuseas, dores de cabeça, cansaço, letargia e tonturas. Processos de queima de óleo pesado, resíduo asfáltico, carvão e óleo diesel são grandes fontes de emissão de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, os quais são adsorvidos por partículas inaláveis, que penetram nos alvéolos pulmonares e são metabolizados pelo organismo humano, provocando diversos tipos de câncer, além de serem responsáveis pela contaminação indireta do homem e dos animais quando se disseminam na água, no solo e nas plantas. Cerca de 10% dos hidrocarbonetos como terpeno e isopreno são emitidos por fontes naturais como florestas ou áreas cobertas com outros tipos de vegetação, além do metano gerado na decomposição da matéria orgânica (ÁLVARES JR, et al., 2002).

A elevada rotatividade de produtos nos terminais químicos do Porto Organizado de Santos, principalmente, aqueles que operam com líquidos orgânicos, além das operações de carga e descarga nos três modais de transporte utilizados: rodoviário, marítimo e ferroviário, somadas a outros processos de fabricação de produtos químicos orgânicos (látex, resinas, poliestireno, etc.) realizadas na margem esquerda do Porto de Santos, representam fontes potenciais de poluição por compostos orgânicos voláteis da água, do solo e do ar (RODRIGUES, 2010).

2.4.8 Ozônio (O₃)

O ozônio é um gás instável, altamente reativo e oxidante. Cerca de 90% do ozônio da atmosfera está concentrado numa faixa localizada entre 20 e 30 quilômetros de altitude, na região conhecida como Estratosfera, formando a "Camada de Ozônio", que exerce a importante função de filtrar a radiação ultravioleta emitida pelo Sol, a qual é nociva aos seres vivos (ÁLVARES JR, et al., 2002). Na camada mais superficial da atmosfera, conhecida como Troposfera, o ozônio contribui para agravar a poluição do ar, exercendo ação nociva sobre vegetais, animais, materiais e sobre o homem, mesmo em baixas concentrações (LISBOA, 2010). Na Troposfera é um gás incolor, inodoro e o principal componente da névoa fotoquímica (ou "smog fotoquímico"), reduzindo a visibilidade da atmosfera (CETESB, 2013). É um poluente secundário, pois o O₃ não é emitido por qualquer fonte diretamente para a atmosfera, sendo produzido por reações fotoquímicas sobre óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis (hidrocarbonetos) (ALVIM, 2013; ORLANDO,

2008). Quando ativados pela radiação solar, alguns precursores do ozônio como os óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos formam na atmosfera um conjunto de gases agressivos chamados de oxidantes fotoquímicos (LISBOA, 2010). Dentre esses gases formados na atmosfera, o ozônio é o poluente mais importante e abundante, sendo utilizado como indicador da presença de oxidantes fotoquímicos no ar (ÁLVARES JR, et al., 2002). Como é produto de reações fotoquímicas, em geral as concentrações de ozônio crescem no período da manhã, atingindo seu pico durante à tarde, verificando-se concentrações mais elevadas nos períodos de maior insolação como na primavera e no verão (CETESB, 2014; CETESB, 2013; ÁLVARES JR, et al., 2002). O principal efeito agudo da exposição a altos níveis de ozônio é observado por irritação do tecido alveolar, podendo ocorrer danos às organelas pulmonares nos casos de exposição continuada de médio e longo prazo a este poluente, afetando a estrutura do sistema respiratório com redução da capacidade pulmonar (NARDOCCI, et al., 2013; CASTRO, et al., 2003). Além disso, esse poluente pode diminuir a resistência às infecções dos pulmões, causar o agravamento das doenças respiratórias aumentando a incidência de tosse, asma, irritações no trato respiratório superior e nos olhos (CETESB, 2015b; NARDOCCI, et al., 2013; CASTRO, et al., 2003). Embora o ozônio seja produto de reações químicas de substâncias emitidas em centros urbanos, esse gás também é formado longe dos locais de emissão de seus precursores, em face das complexas interações químicas e meteorológicas envolvidas nas reações atmosféricas de formação e transporte desse poluente (PIMENTEL, 2011). O ozônio age como inibidor da fotossíntese, produzindo lesões características nas folhas, podendo provocar danos às colheitas, à vegetação natural, às plantações agrícolas e às plantas ornamentais (CETESB, 2015a; CETESB, 2015b; CETESB, 2014; CETESB, 2010).

2.5 Avaliação da qualidade do ar

A avaliação da qualidade do ar pode ser realizada mediante análises físico-químicas realizadas em estações de monitoramento, que possibilitam a verificação exata das concentrações de poluentes presentes na atmosfera no momento de coleta e análise dos dados. Outra maneira de avaliação da qualidade do ar é através do uso de modelos matemáticos, os quais possibilitam a estimativa de emissões atmosféricas de fontes de poluição, bem como, as formas de dispersão dos poluentes no ar. No entanto, os métodos de avaliação da qualidade do ar anteriormente citados não são capazes de fornecer informações importantes de como os poluentes afetam os organismos vivos ou quais os

impactos da poluição do ar sobre a biota, o que é possível por meio do emprego de indicadores biológicos da qualidade do ar.

2.5.1 Biomonitoramento da qualidade do ar

Dentre as iniciativas de controle da poluição utilizando-se bioindicadores destaca-se o "Projeto Rede Europeia para a Avaliação da Qualidade do Ar usando Plantas Bioindicadoras (EuroBionet)", criado em 1999 e coordenado pela Universidade de Hohenheim da Alemanha com a participação de municípios de vários países e regiões da Europa como: Reino Unido, Dinamarca, Alemanha, França, Áustria, Itália e Espanha, tendo como objetivos científicos: estabelecer o uso de plantas indicadoras para a avaliação da qualidade do ar em nível europeu, utilizando métodos padronizados de biomonitoramento, de maneira a implantar, na futura legislação ambiental europeia, metodologias que considerem os efeitos da poluição em plantas indicadoras com vistas ao estabelecimento de valores limites de concentração de poluentes atmosféricos; transferir conhecimentos e métodos na área de bioindicação para instituições científicas e repartições públicas; criar um banco de dados relativo ao impacto de poluentes aéreos em áreas urbanas; analisar e avaliar a qualidade do ar; comparar os tipos de poluição presentes nas diferentes cidades e fornecer dados para medidas corretivas visando à redução das emissões de poluentes em nível local, regional, nacional e europeu (KLUMPP, et al., 2001).

O biomonitoramento pode ser passivo, quando a avaliação da concentração de poluentes é realizada em amostras foliares de espécies vegetais já existentes no local, ou ativo, quando a avaliação da concentração de poluentes é feita utilizando-se amostras foliares de plantas cultivadas em ambiente não poluído e expostas por tempo determinado a ação da poluição (CETESB, 2015c). Os resultados do biomonitoramento na região de Cubatão – SP para avaliação de fluoreto, cádmio, chumbo, mercúrio e níquel apresentou os resultados relacionados na Tabela 01. No citado trabalho, o biomonitoramento passivo foi realizado utilizando as espécies vegetais bioindicadoras: Embaúba (*Cecropia* sp), Lírio do brejo (*Hedychium coronarium*), Filodendro (*Philodendron* sp), Manacá da serra (*Tibouchina* sp) e Goiabeira (*Psidium guajava*) e o biomonitoramento ativo utilizou a Dracena (*Cordyline terminalis*) como planta bioindicadora.

Tabela 01 - Resultados do biomonitoramento passivo e ativo realizado na região de Cubatão – SP de fluoreto, cádmio, chumbo, mercúrio e níquel

Espécie bioindicadora	Resultados obtidos no biomonitoramento passivo e ativo
Embaúba (<i>Cecropia</i> sp)	Espécie que mais bioacumulou chumbo e mercúrio
Lírio do brejo (<i>Hedychium coronarium</i>)	Apresentou grande acúmulo de chumbo
Filodendro (<i>Philodendron</i> sp)	Foi a única espécie que bioacumulou cádmio e que apresentou as maiores concentrações foliares de níquel
Manacá da serra (<i>Tibouchina</i> sp)	Espécie que mais bioacumulou níquel, além de apresentar um dos maiores acúmulos de chumbo e mercúrio do grupo
Goiabeira (<i>Psidium guajava</i>)	Espécie que apresentou a menor bioacumulação foliar para os quatro elementos metálicos, considerada a menos sensível a presença de metais do grupo
Dracena (<i>Cordyline terminalis</i>)	Espécie internacionalmente utilizada como bioindicadora de fluoretos, o que foi confirmado neste trabalho. Essa espécie bioacumulou teores muito pequenos de metais, indicando reduzida sensibilidade a presença de metais

Fonte: CETESB, 2015c.

Em um estudo realizado no município de Uberaba (MG), utilizando líquens como bioindicadores de poluição atmosférica, verificou-se maior diversidade de espécies na área mais preservada do município, situada na Reserva Particular do Patrimônio Natural Vale do Encantado, na qual foram identificadas 42 espécies de líquens, do que na área de maior concentração de atividades potencialmente poluidoras do município, localizada no Distrito Industrial, onde foram identificadas apenas 3 espécies de líquens, sugerindo que a diversidade liquênica represente um bom indicador de poluição atmosférica (COSTA & MINEO, 2013).

Segundo Aquino et al. (2011), o conhecimento dos efeitos dos poluentes atmosféricos sobre a flora e o emprego de bioindicadores no monitoramento da qualidade do ar ainda são raros em países em desenvolvimento como o Brasil. As principais espécies utilizadas como bioindicadoras de poluição neste trabalho estão relacionadas na Tabela 02:

Tabela 02 - Espécies bioindicadoras de poluição, poluentes monitorados e efeitos da poluição sobre as plantas

Espécie bioindicadora	Poluentes monitorados	Efeitos sobre as plantas
Tabaco (<i>Nicotiana tabacum</i>)	O ₃	Necrose e alterações estruturais das folhas
Coração-roxo (<i>Tradescantia pallida</i> cv. <i>purpurea</i>)	Correlações positivas com as concentrações de: CO, MP ₁₀ , NO ₂ e SO ₂	Redução nas dimensões dos estômatos, no metaxilema e na espessura das folhas. Danos ao material genético das plantas (mutações)
Manacá-da-serra (<i>Tibouchina pulchra</i>)	Flúor	Redução da altura e diâmetro do caule das plantas e da biomassa de: folhas, ramos e raízes. Redução da razão raiz/parte aérea das plantas
Gadíolo (<i>Gladiolus</i> sp.)	Flúor	Necrose nas pontas e margens das folhas, sem sintomas intermediários de clorose. Acúmulo de Flúor nas folhas, redução do peso seco das folhas e flores
Laranjeira (<i>Citrus sinensis</i>)	Flúor	Acúmulo de Flúor nas folhas
Cajá-manga (<i>Spondias dulcis</i>)	Flúor	Uma das plantas mais sensíveis ao Flúor (potencial bioindicador da presença de Flúor na atmosfera)
Capim colômbio (<i>Panicum maximum</i>)	Flúor	Clorose em todas as regiões da lâmina foliar e necrose. Redução do número de cloroplastos nas células do mesófilo foliar
Cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)	Flúor	Os primeiros sinais são clorose nas pontas das folhas mais velhas e nas margens das folhas mais novas, que se espalha por toda a folha, evoluindo para necrose foliar
Muruci (<i>Byrsonimia crassifolia</i>)	Flúor	Clorose e lesões necróticas nas folhas
Barba-de-bode (<i>Tillandsia usneoides</i>)	Metais pesados e material particulado	Retenção em sua superfície escamosa de partículas microscópicas de metais pesados e outros poluentes
Cenoura (<i>Daucus carota</i>) e Nabo (<i>Brassica rapa</i>)	SO ₂	Redução do crescimento das plantas, do peso seco e fresco, além de necrose e clorose nas folhas
Musgos (<i>Spagnum</i> sp.)	Metais pesados, cobre e arsênio	Acúmulo de metais nas suas estruturas

Fonte: AQUINO et al., 2011

Em diversos trabalhos e estudos realizados no mundo todo verifica-se que os bioindicadores vegetais estão associados a determinado poluente ou grupo de poluentes atmosféricos (CARNEIRO, 2004) que, resumidamente, se encontram na Tabela 03 a seguir:

Tabela 03 - Bioindicadores associados à detecção de poluentes atmosféricos

Bioindicador vegetal	Poluentes atmosféricos detectados
Tabaco (<i>Nicotiana tabacum</i>)	O ₃
Musgos (<i>Hypnum cupressiforme</i> , <i>Pleurozium schreberi</i> e <i>Bryum argenteum</i>)	COV's e metais pesados
Líquens (<i>Usnea amblyoclada</i> , <i>Xanthoria parietina</i> , <i>Punctella subrudecta</i> , <i>Canomaculina pilosa</i> e <i>Ramalina farinaceae</i>)	Metais, Enxofre, SO ₂ e NO _x
Bromélias (gênero <i>Tillandsia</i>)	Metais pesados e compostos orgânicos tóxicos
Trapoeraba roxa (<i>Tradescantia pallida</i> cv. <i>purpurea</i>); Variedades e clones híbridos de <i>Tradescantia</i>	Substâncias genotóxicas presentes em material particulado da atmosfera urbana
Manacá da serra (<i>Tibouchina pulchra</i>)	Flúor
Goiabeira (<i>Psidium guayava</i>)	Enxofre

Fonte: CARNEIRO, 2004

No trabalho de Pereira (2007) foi constatado que as plantas de Tabaco (*Nicotiana tabacum*) são adequadas ao monitoramento quantitativo de ozônio, tendo-se em vista o maior percentual de injúrias foliares nas plantas expostas a maior concentração desse poluente atmosférico. Nesse mesmo trabalho verificou-se que as injúrias mais severas ocorreram nas plantas de tabaco das áreas suburbanas e rurais, nas quais as concentrações de ozônio verificadas nas estações operadas pela CETESB foram maiores do que aquelas detectadas nas áreas urbanas, próximas das fontes de emissão dos precursores desse poluente, como NO_x e COV's.

Os resultados do biomonitoramento de ozônio, realizado no município de Cabreúva utilizando plantas de tabaco (*Nicotiana tabacum*) apresentados no Estudo investigativo da ocorrência de ozônio troposférico no município por meio de biomonitoramento mostraram a ocorrência de injúrias foliares características do efeito fitotóxico do ozônio (Figuras 01 e 02) em todos os locais de monitoramento, nas quatro campanhas realizadas (CETESB, 2006).



Figura 01 - Planta de tabaco (*Nicotiana tabacum*) sem sinais de fitotoxidez ao ozônio
Fonte: CETESB, 2006.



Figura 02 - Injúrias foliares características de fitotoxidez ao ozônio em planta de tabaco (*Nicotiana tabacum*) após exposição por 28 dias a poluição atmosférica em Cabreúva - SP

Fonte: CETESB, 2006.

2.6 Padrões de Qualidade do Ar

Os Padrões de Qualidade do Ar definem legalmente as concentrações máximas de uma substância presente na atmosfera de modo a garantir a proteção da saúde e a manutenção do bem-estar da população (LISBOA, 2010).

2.6.1 Padrões de Qualidade do Ar recomendados pela Organização Mundial de Saúde

Com o objetivo de salvaguardar a saúde da população, a Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda que sejam respeitados os limites de concentração de poluentes atmosféricos constantes na Tabela 04:

Tabela 04 – Padrões de qualidade do ar recomendados pela OMS

POLUENTE	CONCENTRAÇÃO (μm^3)	TEMPO DE AMOSTRAGEM
Material Particulado ($\text{MP}_{2,5}$)	10	Média aritmética anual
	25	24 horas (percentil 99)
Material Particulado (MP_{10})	20	anual
	50	24 horas (percentil 99)
Dióxido de Enxofre (SO_2)	20	24 horas
	500	10 minutos
Dióxido de Nitrogênio (NO_2)	200	1 hora
	40	anual
Monóxido de Carbono (CO)	10.000	8 horas
	9 ppm	
Ozônio (O_3)	100	8 horas

Fonte: CETESB, 2015b

2.6.2 Padrões Nacionais de Qualidade do Ar

No Brasil os padrões de qualidade do ar são estabelecidos pelo IBAMA através da Portaria Normativa nº 348 de 14/03/1990 (BRASIL, 1990a) e da Resolução CONAMA nº 003 de 28/06/1990 (BRASIL, 1990b).

De acordo com a Resolução CONAMA nº 03/1990, os padrões de qualidade do ar podem ser divididos em primários e secundários, conforme relacionados na Tabela 05. Padrões de qualidade do ar primários são níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, representando metas a serem atingidas a curto e médio prazo.

Concentrações de poluentes acima dos padrões primários poderão afetar à saúde da população. Padrões de qualidade do ar secundários são níveis desejáveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se de metas a serem atingidas a longo prazo, uma vez que concentrações de poluentes atmosféricos inferiores aos mesmos provocam o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população e o mínimo dano à flora e à fauna (BRASIL, 1990b).

Tabela 05 – Padrões nacionais de qualidade do ar (Resolução CONAMA nº 03/1990)

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão Secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 horas ¹	240	150
	Média geométrica anual	80	60
Partículas Inaláveis (MP ₁₀)	24 horas ¹	150	150
	Média aritmética anual	50	50
Fumaça	24 horas ¹	150	100
	Média aritmética anual	60	40
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	24 horas ¹	365	100
	Média aritmética anual	80	40
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	1 hora	320	190
	Média aritmética anual	100	100
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora ¹	40.000	40.000
		35 ppm	35 ppm
	8 horas ¹	10.000	10.000
		9 ppm	9 ppm
Ozônio (O ₃)	1 hora ¹	160	160

Obs.: 1 não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

Fonte: BRASIL, 1990b

A Resolução CONAMA nº 03/1990, em seu artigo 5º, estabelece Níveis de Qualidade do Ar para a elaboração do Plano de Emergência para Episódios Críticos de Poluição do Ar, com o objetivo de prevenir grave e iminente risco à saúde da população. A declaração dos estados de Atenção, Alerta e Emergência requer, que além de serem atingidos os níveis de concentração de poluentes nos períodos de observação relacionados na Tabela 06, as previsões das condições meteorológicas sejam desfavoráveis à dispersão dos mesmos na atmosfera (BRASIL, 1990b).

Tabela 06 – Critérios para episódios críticos de poluição do ar estabelecidos pela legislação federal (Resolução CONAMA nº 03 de 28/06/1990)

Poluentes (unidade de medida) – período de observação	Atenção	Alerta	Emergência
Partículas Inaláveis (PT ₁₀) (µg/m ³) – média de 24 horas	250	420	500
Partículas Totais em Suspensão (PTS) (µg/m ³) – média de 24 horas	375	625	875
Fumaça (µg/m ³) – média de 24 horas	250	420	500
Dióxido de Enxofre (SO ₂) (µg/m ³) – média de 24 horas	800	1.600	2.100
SO ₂ x PTS (µg/m ³)(µg/m ³) – média de 24 horas	6.695	26.883	40.479
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂) (µg/m ³) – média de 1 hora	1.130	2.260	3.000
Monóxido de Carbono (CO) (ppm) – média de 8 horas	15	30	40
Ozônio (O ₃) (µg/m ³) – média de 1 hora	400	800	1.000

Fonte: BRASIL, 1990b

2.6.3 Padrões Estaduais de Qualidade do Ar

No Estado de São Paulo os padrões de qualidade do ar são determinados pelo Decreto Estadual nº 59.113 de 23/04/2013. De acordo com o estabelecido nesse Decreto, a administração da qualidade do ar no Estado de São Paulo será realizada observando-se os critérios: Metas Intermediárias (MI), as quais visam à melhoria gradativa da qualidade do ar no Estado de São Paulo, estando baseadas na busca pela redução gradual das emissões de fontes fixas e móveis, em consonância com os princípios do desenvolvimento sustentável; e Padrões Finais (PF), os quais são determinados pelo melhor conhecimento científico, visando à máxima preservação da saúde da população, em relação aos danos causados pela poluição atmosférica (SÃO PAULO, 2013). De acordo com o estabelecido no Decreto nº 59.113/2013, as Metas Intermediárias (MI) deverão ser atendidas em três etapas: MI1 (Meta Intermediária 1), MI2 (Meta Intermediária 2) e MI3 (Meta Intermediária 3), além de uma última etapa representada pelo PF (Padrão Final) de emissão de poluentes atmosféricos. As concentrações máximas admitidas de emissão de poluentes em cada uma das etapas (MI1, MI2, MI3 e PF) determinadas pela legislação estadual encontram-se na Tabela 07:

Tabela 07 - Padrões de qualidade do ar no Estado de São Paulo estabelecidos pelo Decreto Estadual nº 59.113 de 23/04/2013

Poluente	Tempo de amostragem	MI 1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MI 2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MI 3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PF ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas Inaláveis Finas (MP _{2,5})	24 horas	60	50	37	25
	Média aritmética anual	20	17	15	10
Partículas Inaláveis (MP ₁₀)	24 horas	120	100	75	50
	Média aritmética anual	40	35	30	20
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 horas	---	---	---	240
	Média geométrica anual	---	---	---	80
Fumaça	24 horas	120	100	75	50
	Média aritmética anual	40	35	30	20
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	24 horas	60	40	30	20
	Média aritmética anual	40	30	20	---
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	1 hora	260	240	220	200
	Média aritmética anual	60	50	45	40
Monóxido de Carbono (CO)	8 horas	---	---	---	9 ppm
Ozônio (O ₃)	8 horas	140	130	120	100
Chumbo (Pb)	Média aritmética anual	---	---	---	0,5

Obs. 1: Partículas totais em suspensão, Fumaça, Monóxido de Carbono e Chumbo não são monitorados nas estações de Santos, localizadas nos bairros Boqueirão e Ponta da Praia

Obs. 2: Padrões vigentes em azul.

Fonte: SÃO PAULO, 2013

Visando o gerenciamento da qualidade do ar, o território do Estado de São Paulo foi dividido em regiões denominadas de “Regiões de Controle da Qualidade do Ar”, as quais coincidem com as 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do Estado, podendo as regiões serem divididas ou agrupadas em sub-regiões, constituídas de um ou mais municípios, ou ainda, por partes destes, sendo possível que uma sub-região reúna municípios de diferentes UGRHI (SÃO PAULO, 2013).

Segundo artigo 6º do Decreto Estadual nº 59.113/2013, nas sub-regiões com emissão de poluentes acima das Metas Intermediárias (MI1, MI2, MI3) ou do Padrão Final determinado pela legislação, será estabelecido pela CETESB, conforme a vigência de cada padrão de qualidade do ar, por sub-região, um Plano de Controle de Emissões Atmosféricas, composto de um Plano de Redução de Emissão de Fontes Estacionárias (PREFE), com o objetivo de reduzir emissões de fontes fixas de poluição que se encontrem em operação, em conjunto com o Plano de Controle de Poluição Veicular (PCPV), visando a diminuição da poluição gerada em fontes móveis (SÃO PAULO, 2013).

Com o objetivo de se evitar graves e iminentes riscos à saúde da população foi instituído nos artigos 17 a 23 do Decreto Estadual nº 59.113/2013 o Plano de Emergência para episódios críticos de poluição do ar. A legislação estadual considera episódio crítico de poluição do ar a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera, em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos (SÃO PAULO, 2013). Para a execução do Plano de Emergência, o Decreto 59.113/2013 estabeleceu os níveis de Atenção (artigo 19), Alerta (artigo 20) e Emergência (artigo 21), de acordo com as concentrações de poluentes e períodos de observação constantes na Tabela 08. No artigo 23 do citado decreto estão relacionadas as restrições a que estarão sujeitas as fontes de poluição durante episódios críticos de poluição do ar, de maneira a se evitar que as concentrações de poluentes na atmosfera atinjam níveis ainda mais elevados.

Tabela 08 – Critérios para episódios críticos de poluição do ar no Estado de São Paulo determinados pelo Decreto Estadual nº 59.113 de 23/04/2013

Poluentes (unidade de medida) – período de observação	Atenção	Alerta	Emergência
Partículas Inaláveis Finas (MP _{2,5}) (µg/m ³) – média de 24 horas	125	210	250
Partículas Inaláveis (MP ₁₀) (µg/m ³) – média de 24 horas	250	420	500
Dióxido de Enxofre (SO ₂) (µg/m ³) – média de 24 horas	800	1.600	2.100
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂) (µg/m ³) – média de 1 hora	1.130	2.260	3.000
Monóxido de Carbono (CO) (ppm) – média de 8 horas	15	30	40
Ozônio (O ₃) (µg/m ³) – média de 8 horas	200	400	600

Fonte: SÃO PAULO, 2013

As concentrações dos poluentes: Material Particulado, Dióxido de Enxofre, Dióxido de Nitrogênio e Monóxido de Carbono para episódios críticos de poluição do ar para os três níveis (Atenção, Alerta e Emergência) são os mesmos tanto na legislação federal (Resolução CONAMA nº 03/1990) como na estadual (Decreto Estadual nº 59.113/2013). No entanto, os padrões que determinam episódios críticos de poluição do ar para o Ozônio são mais restritivos na legislação estadual, devendo ser tomados como valores máximos de

concentração do poluente para classificação dos níveis de episódios críticos de poluição em todo o Estado de São Paulo.

2.7 Classificação da qualidade do ar

A classificação da qualidade do ar no Estado de São Paulo pode ser enquadrada em cinco níveis: Boa, Moderada, Ruim, Muito Ruim e Péssima, de acordo com o Índice de Qualidade do Ar (IQA_r) calculado pela CETESB, com base nas concentrações de poluentes detectadas nas estações de monitoramento e os padrões legais de qualidade do ar vigentes. Para cada poluente monitorado é calculado um índice, e a qualidade do ar naquela estação é determinada pelo(s) poluente(s) que ultrapassar(em) o IQA_r, isto é, embora a qualidade do ar de uma estação seja avaliada para todos os poluentes monitorados, a sua classificação é determinada pelo pior caso (CETESB, 2014). Os Índices de Qualidade do AR (IQA_r) e os efeitos esperados à saúde da população em cada um dos níveis de classificação da qualidade do ar estão apresentados na Tabela 09 a seguir:

Tabela 09: Classificação da qualidade do ar, IQA_r e efeitos à saúde

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

Fonte: CETESB, 2015b

Conforme verificado na Tabela 09, anteriormente apresentada, a classificação da qualidade do ar está associada aos efeitos que a concentração de determinado poluente possa trazer à saúde da população, sendo determinada pelo parâmetro que ultrapasse os limites das faixas de concentração apresentados na Tabela 10. Se apenas um único parâmetro ultrapassar o limite estabelecido para um determinado nível de qualidade do ar, a classificação da qualidade do ar da estação de monitoramento será alterada, mesmo que todos os outros parâmetros sejam inferiores aos limites determinados pela legislação. Quando a qualidade do ar for classificada como Boa em uma estação de monitoramento significa que não foram detectadas concentrações de poluentes superiores aos Padrões Finais (PF) estabelecidos pelo Decreto Estadual nº 59.113/2013, e não deverão ocorrer problemas de saúde na população exposta (CETESB, 2015b).

Tabela 10 - Faixas de concentração de poluentes que determinam a classificação da qualidade do ar nas estações de monitoramento da CETESB

Qualidade/ Parâmetro	BOA	MODERADA	RUIM	MUITO RUIM	PÉSSIMA
MP_{2,5} (µg/m³) 24 h	0 – 25	>25 - 50	>50 - 75	>75 - 125	>125
MP₁₀ (µg/m³) 24 h	0 - 50	>50 - 100	>100 - 150	>150 - 250	>250
O₃ (µg/m³) 8 h	0 - 100	>100 - 130	>130 - 160	>160 - 200	>200
CO (ppm) 8 h	0 – 9	>9 - 11	>11 - 13	>13 - 15	>15
NO₂ (µg/m³) 1 h	0 - 200	>200 - 240	>240 - 320	>320 - 1130	>1130
SO₂ (µg/m³) 24 h	0 – 20	>20 - 40	>40 - 365	>365 - 800	>800
FUMAÇA (µg/m³) 24 h	0 – 50	>50 - 100	>100 - 150	>150 - 250	>250

Fonte: CETESB, 2014

3. METODOLOGIA

A partir dos dados obtidos no QUALAR (Sistema de Informações da Qualidade do Ar), disponível no endereço eletrônico da CETESB (CETESB, 2016) foram analisadas as concentrações médias máximas dos poluentes monitorados nas duas estações automáticas localizadas no município de Santos, desde o início de operação de cada uma delas (o monitoramento na estação Santos – Boqueirão teve início em 07/06/2011 e na estação Santos – Ponta da Praia em 18/11/2011) até 31/12/2015. Embora a estação de monitoramento localizada no bairro do Boqueirão esteja referenciada apenas como “Santos” nos gráficos fornecidos pelo QUALAR, serão sempre referenciadas nos textos e gráficos da distribuição da qualidade do ar elaborados no corpo deste trabalho como “Santos – Boqueirão”.

3. 1 O monitoramento da qualidade do ar no município de Santos:

O monitoramento da qualidade do ar no município de Santos é realizado desde a década de 80, inicialmente com uma estação manual implantada na Policlínica do Embaré para monitoramento de fumaça e dióxido de enxofre e através de campanhas realizadas nos anos de 2004, 2005 e 2008 para monitoramento manual de material particulado no bairro Ponta da Praia, próximo ao Porto de Santos (CETESB, 2014). Atualmente o município conta com duas estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar operadas pela CETESB, as quais foram implantadas com objetivos distintos, conforme descrição a seguir, em virtude da localização de cada uma delas (CETESB, 2015a).

3.1.1 Estação Santos – Boqueirão

Instalada na Rua Dr. Oswaldo Cruz, nº 197, nas dependências do Hospital Guilherme Álvaro, no bairro Boqueirão, no local de coordenadas UTM (SIRGAS 2000) de Fuso 23K, Longitude: 365.576 metros e Latitude: 7.349.234 metros. O monitoramento na Estação Santos – Boqueirão teve início em 07/06/2011.

A estação de monitoramento Santos – Boqueirão (Figura 03) está situada em área urbana com características residencial e comercial, não se verificando no entorno emissões significativas de fontes fixas de poluição. Foi implantada com o objetivo de avaliar as emissões de poluentes a que a população da área insular está exposta, representadas

principalmente por emissões veiculares e, de maneira mais difusa, por outras fontes existentes na cidade e região (CETESB, 2015a; CETESB, 2014).

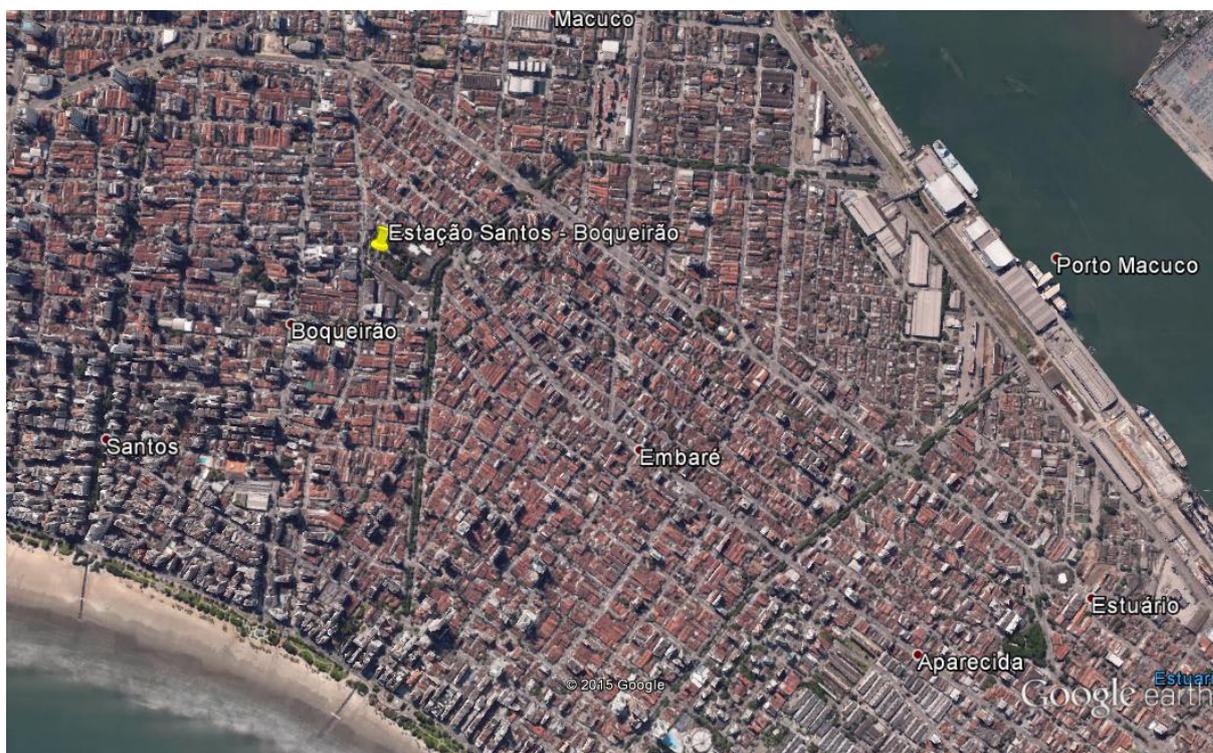


Figura 03 - Imagem aérea do município de Santos com demarcação da estação de monitoramento da CETESB, localizada no bairro Boqueirão, e seu entorno

Fonte: Google Earth, imagem obtida em 22 de janeiro de 2016

3. 1. 2 Estação Santos – Ponta da Praia

Instalada na Praça Engenheiro José Rebouças, s/nº, nas dependências do Complexo Esportivo Rebouças, no bairro Ponta da Praia, no local de coordenadas UTM (SIRGAS 2000) de Fuso 23K, Longitude: 367.697 metros e Latitude: 7.347.234 metros. O monitoramento na Estação Santos – Ponta da Praia teve início em 18/11/2011.

A estação Santos – Ponta da Praia (Figura 04) foi implantada com o objetivo de avaliar os impactos das emissões de poluentes sobre a população desta parte da cidade, decorrentes das atividades portuárias (transporte e movimentação de grãos e outros granéis sólidos, queima de combustíveis nos navios, movimentação de veículos no entorno, principalmente os pesados) além de sofrer influência do tráfego de veículos da cidade (CETESB, 2015a; CETESB, 2014).

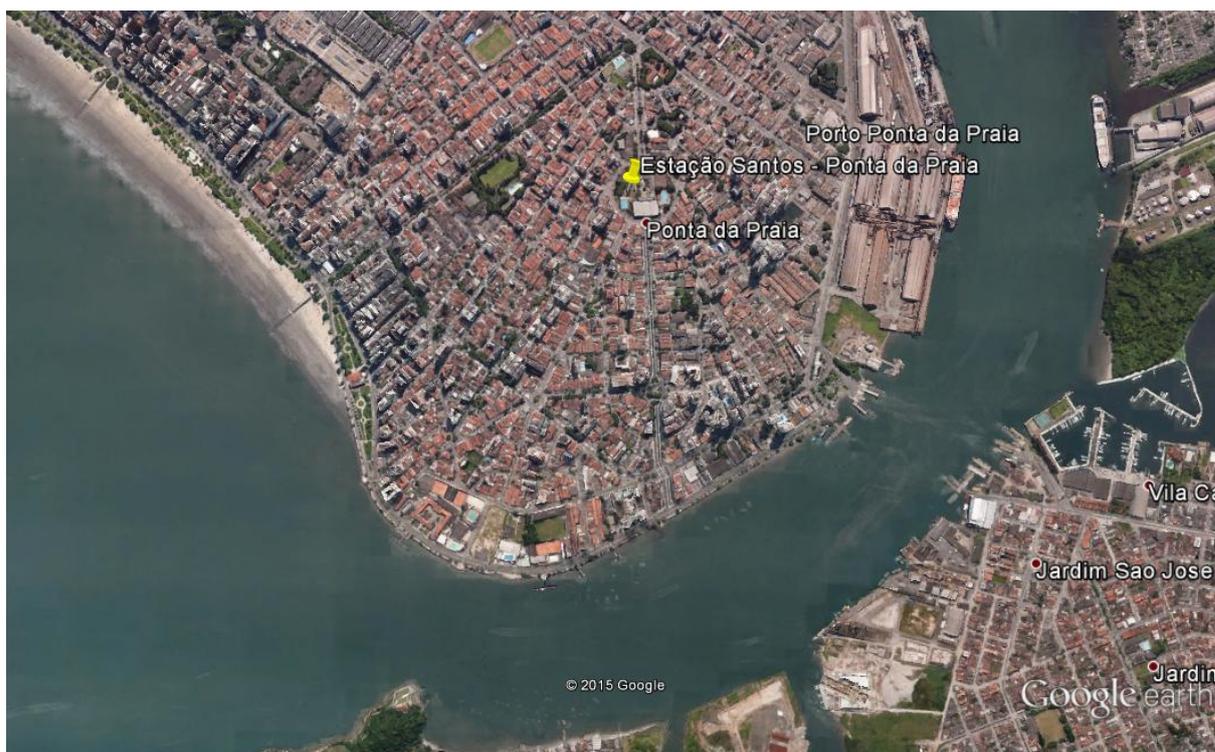


Figura 04 - Imagem aérea do município de Santos com demarcação da estação de monitoramento da CETESB, localizada no bairro Ponta da Praia, e seu entorno

Fonte: Google Earth, imagem obtida em 22 de janeiro de 2016

3.2 Parâmetros monitorados pela CETESB nas estações do município de Santos

Os poluentes monitorados em cada uma das estações de Santos estão apresentados na Tabela 11 apresentada a seguir:

Tabela 11 - Parâmetros monitorados nas estações da CETESB do município de Santos

Estação de monitoramento	Parâmetros monitorados						
	MP _{2,5}	MP ₁₀	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	O ₃
Santos – Boqueirão		X		X	X	X	X
Santos – Ponta da Praia	X	X	X	X	X	X	X

Obs. Os poluentes MP_{2,5} e SO₂ não são monitorados na estação Santos Boqueirão

Fonte: QUALAR

São também monitorados nas duas estações da CETESB de Santos os parâmetros: Direção do Vento (DV), Direção do Vento Global (DVG), Pressão Atmosférica (PRESS), Radiação Solar Global (RADG), Radiação Ultravioleta (RADUV), Temperatura do Ar (TEMP), Umidade Relativa do Ar (UR) e Velocidade do Vento (VV), os quais estão diretamente associados à dispersão e de poluentes na atmosfera e a geração de poluentes secundários.

Tendo-se em vista a maior restrição na determinação dos padrões de qualidade do ar estabelecidos pelo Estado de São Paulo do que os Padrões Primário e Secundário determinados pela legislação federal, para todos os parâmetros monitorados nas estações de Santos (Boqueirão e Ponta da Praia), serão utilizados nas análises da qualidade do ar do presente trabalho, os padrões estabelecidos pelo Decreto Estadual nº 59.113 de 23/04/2013.

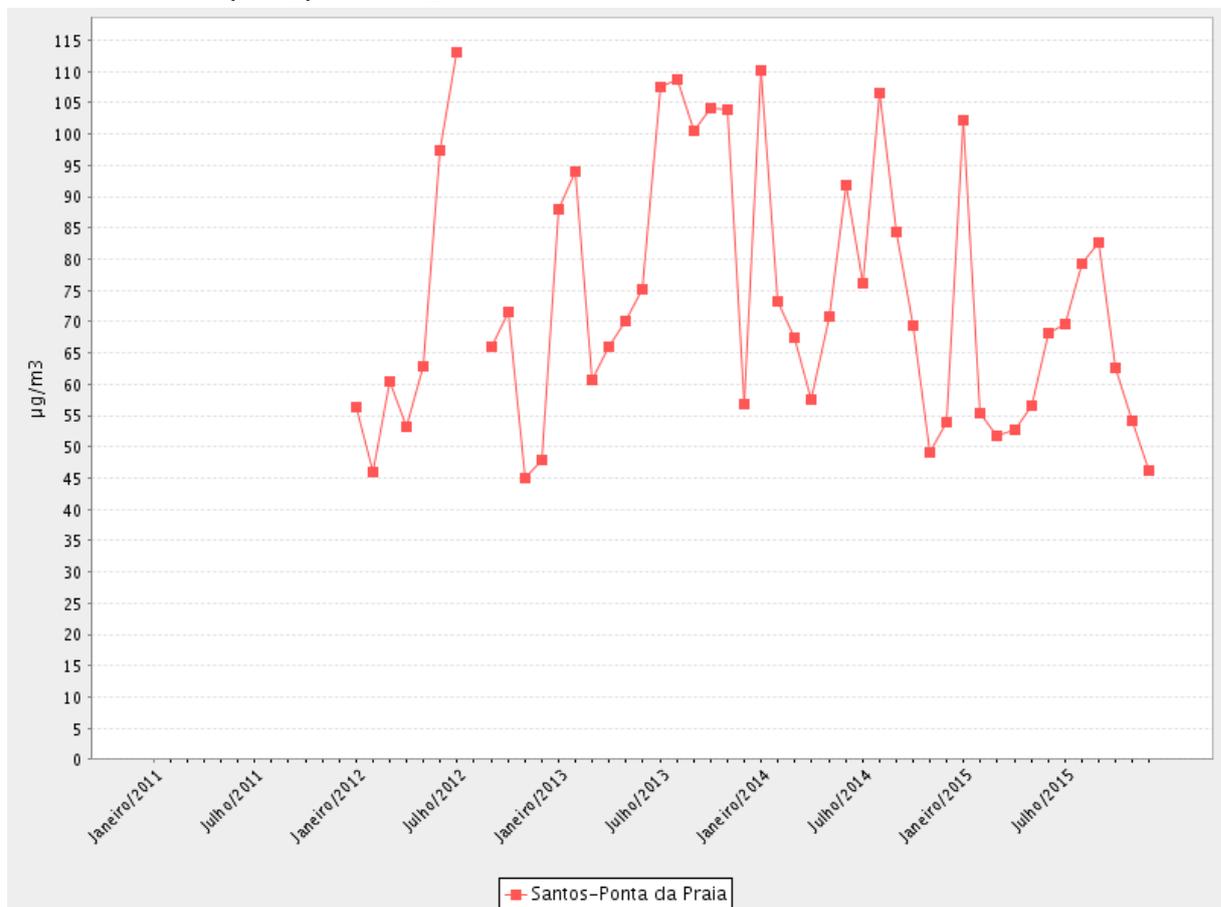
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os gráficos das concentrações máximas mensais para cada parâmetro, obtidos no QUALAR (CETESB,2016), bem como os gráficos da distribuição da qualidade do ar avaliada para cada poluente monitorado nas estações da CETESB do município de Santos estão apresentados a seguir.

4.1 Partículas inaláveis finas (MP_{2,5})

Este parâmetro é monitorado apenas na estação Ponta da Praia e os valores das concentrações máximas mensais desde o início do monitoramento em 18/11/2011 até 31/12/2015 encontram-se na Figura 05:

Figura 05 – Gráfico da evolução das concentrações máximas mensais de Partículas Inaláveis Finas (MP_{2,5}) na estação Santos - Ponta da Praia de 18/11/2011 a 31/12/2015

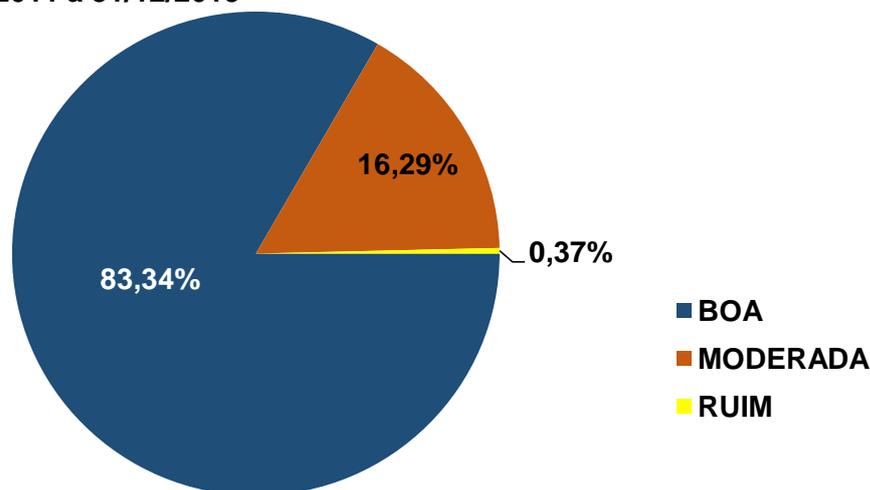


Fonte: QUALAR (CETESB, 2016)

Embora o Relatório da Distribuição da Qualidade disponível no QUALAR (CETESB, 2016) não indique a ocorrência de ultrapassagens do PQAr (Padrão de Qualidade do Ar) para $MP_{2,5}$ para a estação de monitoramento Santos – Ponta da Praia, verifica-se nessa série histórica (compreendida entre 18/11/2011 e 31/12/2015) que os valores das concentrações máximas mensais de $MP_{2,5}$ ultrapassaram, a maior parte do tempo, o PQAr de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, chegando a atingir valores extremos superiores a $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Os valores mais elevados de $MP_{2,5}$ registrados na estação de monitoramento Santos – Ponta da Praia ocorreram no inverno, notadamente nos anos de 2012 e 2013, nos meses de menor incidência de chuvas, as quais contribuem para a precipitação das partículas inaláveis finas, melhorando a qualidade do ar.

A qualidade do ar na estação de monitoramento Santos – Ponta da Praia no período de 18/11/2011 a 31/12/2015 avaliada para $MP_{2,5}$ foi considerada BOA a maior parte do tempo (83,34%), apresentando-se como MODERADA e RUIM, respectivamente, em 16,29% e 0,37% do tempo da série histórica analisada, conforme Figura 06 a seguir:

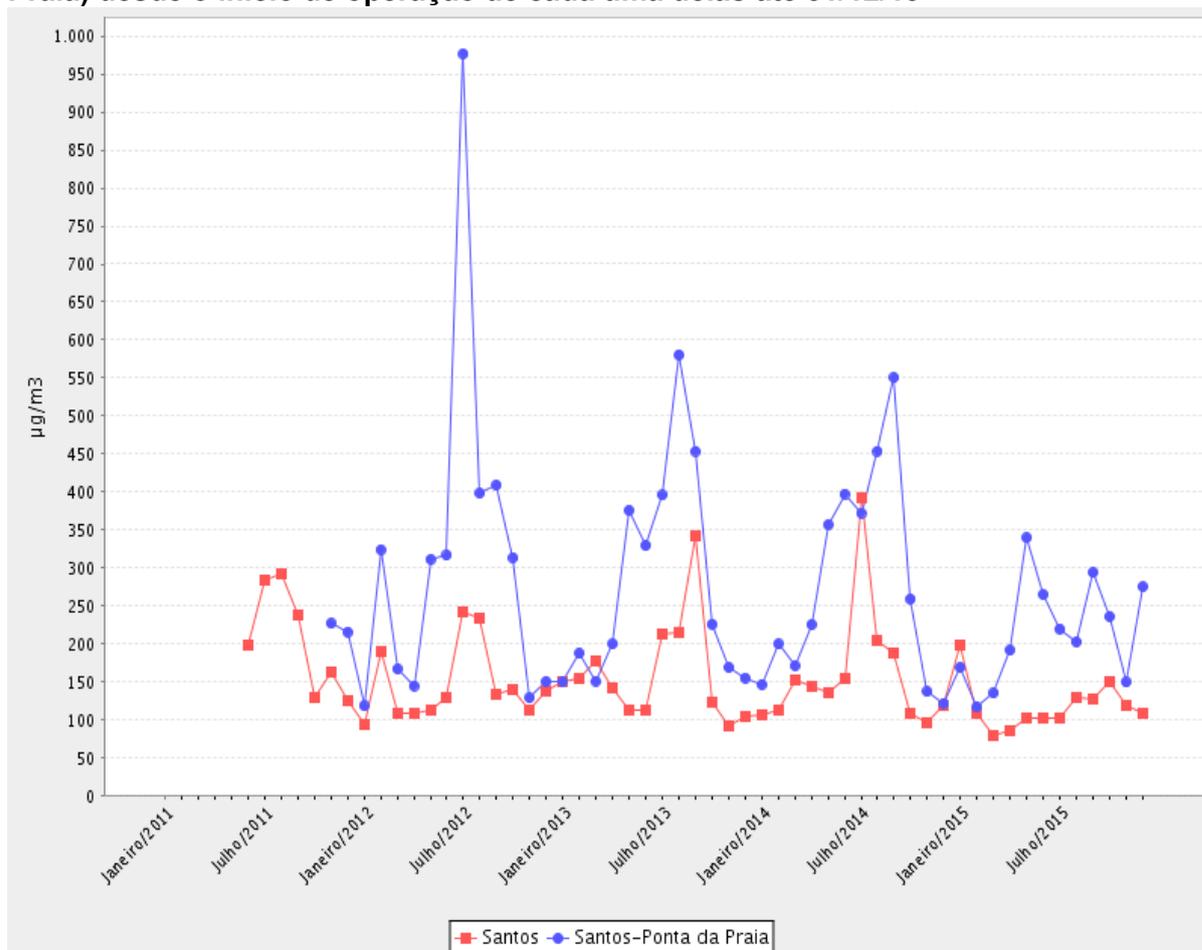
Figura 06 - Gráfico da distribuição da qualidade do ar avaliada para $MP_{2,5}$ na estação de monitoramento Santos - Ponta da Praia de 18/11/2011 a 31/12/2015



4.2 Partículas inaláveis (MP_{10})

Este parâmetro é monitorado nas duas estações operadas pela CETESB em Santos e os valores das concentrações máximas mensais de partículas inaláveis na série histórica, que compreende desde o início de operação de cada uma das estações de monitoramento (07/06/2011 para a estação Santos – Boqueirão e 18/11/2011 para a estação Santos – Ponta da Praia) até 31/12/2015 encontram-se na Figura 07 a seguir:

Figura 07 – Gráfico da evolução das concentrações máximas mensais de Partículas Inaláveis (MP₁₀) nas estações de monitoramento de Santos (Boqueirão e Ponta da Praia) desde o início de operação de cada uma delas até 31/12/15



Fonte: QUALAR (CETESB, 2016)

Na série histórica apresentada desde o início de operação das estações de monitoramento da qualidade do ar do município de Santos até 31/12/2015 verifica-se que as concentrações máximas mensais de partículas inaláveis (MP₁₀) detectadas na estação de monitoramento Santos – Ponta da Praia são sempre maiores do que as observadas na estação Santos – Boqueirão, confirmando a significativa contribuição das atividades portuárias na elevação das concentrações desse poluente na atmosfera. Nas duas estações de monitoramento observou-se que os valores mais elevados de MP₁₀ foram registrados nos meses de inverno, geralmente mais secos do que os meses das outras estações do ano, sujeitos a maior incidência de chuvas, as quais possibilitam maior precipitação das partículas inaláveis.

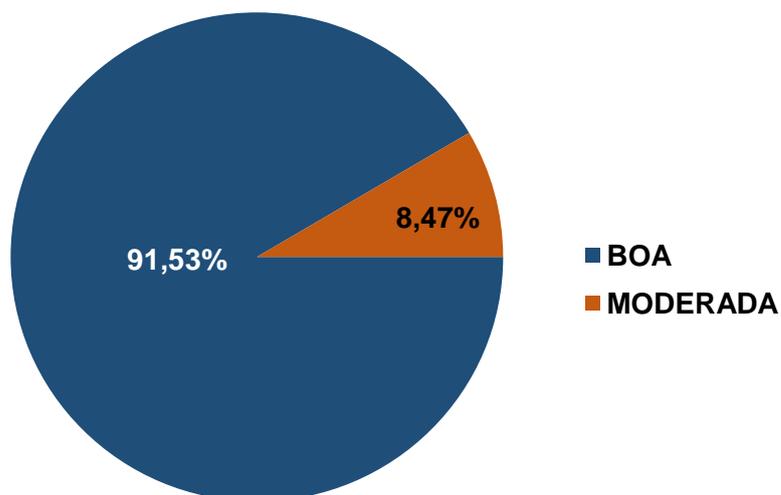
Embora o Relatório da Distribuição da Qualidade para partículas inaláveis, disponível no QUALAR (CETESB, 2016), da estação Santos – Boqueirão não indique a ocorrência de ultrapassagens do PQA (Padrão de Qualidade do Ar), verifica-se na série histórica de

07/06/2011 a 31/12/2015 que em vários meses as concentrações máximas mensais de MP_{10} estiveram acima do PQAr de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

O Relatório da Distribuição da Qualidade para partículas inaláveis, disponível no QUALAR (CETESB, 2016), da estação Santos – Ponta da Praia indicou que em 35 dias, no período compreendido entre 18/11/2011 e 31/12/2015, ocorreu a ultrapassagem do PQAr de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP_{10} , embora seja possível verificar na análise da Figura 07 (apresentada anteriormente) que a maioria dos valores das concentrações máximas mensais detectadas desse poluente na estação Santos – Ponta da Praia estão bem acima do PQAr para partículas inaláveis. As ultrapassagens do PQAr para partículas inaláveis na estação de monitoramento Santos – Ponta da Praia ocorreram: 5 dias em maio, 6 dias em junho, 9 dias em julho, 10 dias em agosto e 5 dias em setembro no período compreendido entre 18/11/2011 e 31/12/2015, conforme Relatório da Distribuição da Qualidade, disponível no QUALAR (CETESB, 2016).

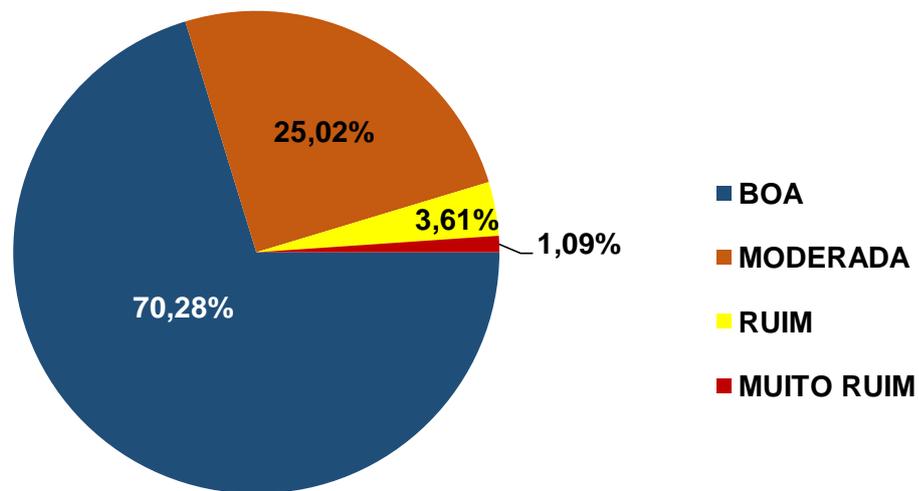
A qualidade do ar na estação de monitoramento Santos – Boqueirão no período de 07/06/2011 a 31/12/2015 avaliada para MP_{10} foi considerada BOA a maior parte do tempo (91,53%), apresentando-se como MODERADA em apenas 8,47% do tempo da série histórica analisada, conforme Figura 08 a seguir:

Figura 08 - Gráfico da distribuição da qualidade do ar avaliada para MP_{10} na estação de monitoramento Santos - Boqueirão de 07/06/2011 a 31/12/2015



A qualidade do ar na estação de monitoramento Santos – Ponta da Praia no período de 18/11/2011 a 31/12/2015 avaliada para MP_{10} foi: BOA em 70,28%, MODERADA em 25,02%, RUIM em 3,61% e MUITO RUIM em 1,09% do tempo da série histórica analisada, conforme Figura 09 a seguir:

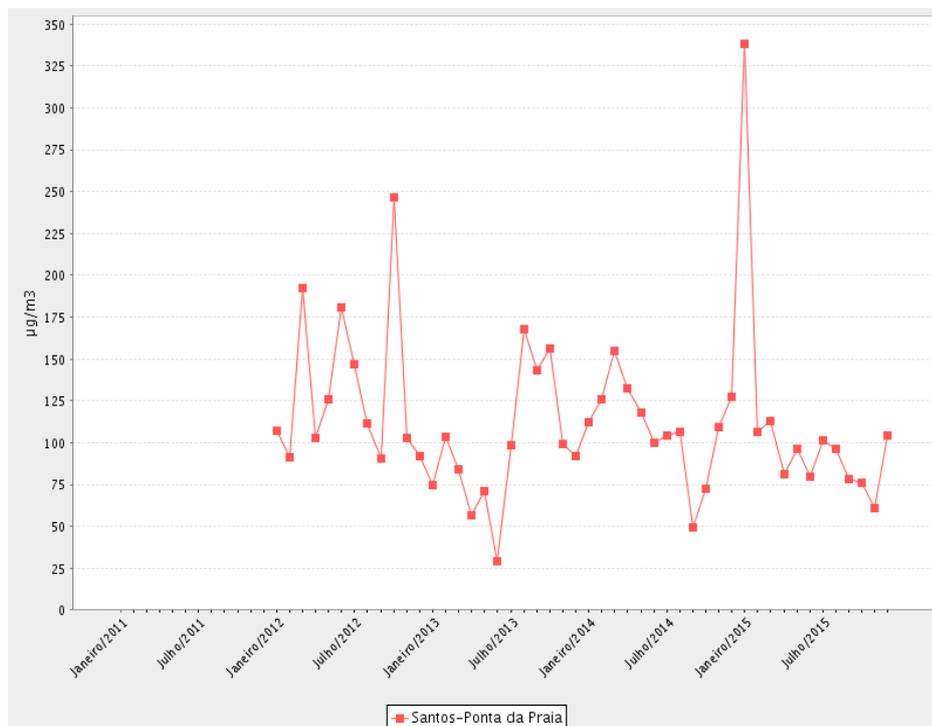
Figura 09 - Gráfico da distribuição da qualidade do ar avaliada para MP_{10} na estação de monitoramento Santos - Ponta da Praia de 18/11/2011 a 31/12/2015



4.3 Dióxido de enxofre (SO_2)

O dióxido de enxofre é monitorado apenas na estação Santos - Ponta da Praia, conforme Figura 10 a seguir:

Figura 10 – Gráfico da evolução das concentrações máximas mensais de dióxido de enxofre (SO_2) na estação Santos - Ponta da Praia de 18/11/2011 a 31/12/2015

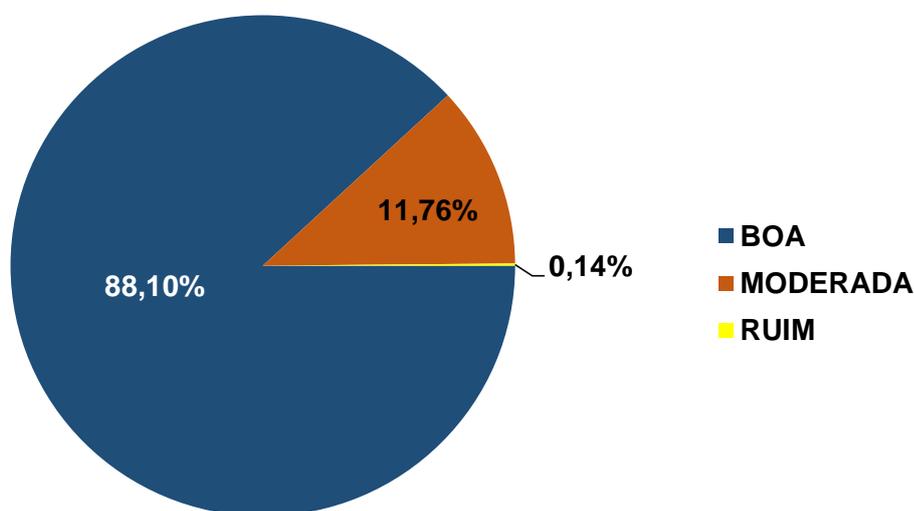


Fonte: QUALAR (CETESB, 2016)

Embora o Relatório da Distribuição da Qualidade do Ar, disponível no QUALAR (CETESB, 2016), não indique a ocorrência de ultrapassagens do PQAr (Padrão de Qualidade do Ar) para SO₂ para a estação de monitoramento Santos – Ponta da Praia, verifica-se na série histórica de 18/11/2011 a 31/12/2015 que as concentrações máximas mensais de SO₂ ultrapassaram, a maior parte do tempo, o PQAr de 60 µg/m³, chegando a atingir valores extremos superiores a 325 µg/m³. Os valores mais elevados de SO₂ registrados na estação de monitoramento Santos – Ponta da Praia ocorreram no inverno de 2012 e 2015.

A qualidade do ar na estação de monitoramento Santos – Ponta da Praia no período de 18/11/2011 a 31/12/2015 avaliada para SO₂ foi considerada BOA em 88,10%, MODERADA em 11,76% e RUIM em 0,14% do tempo da série histórica analisada, conforme Figura 11 a seguir:

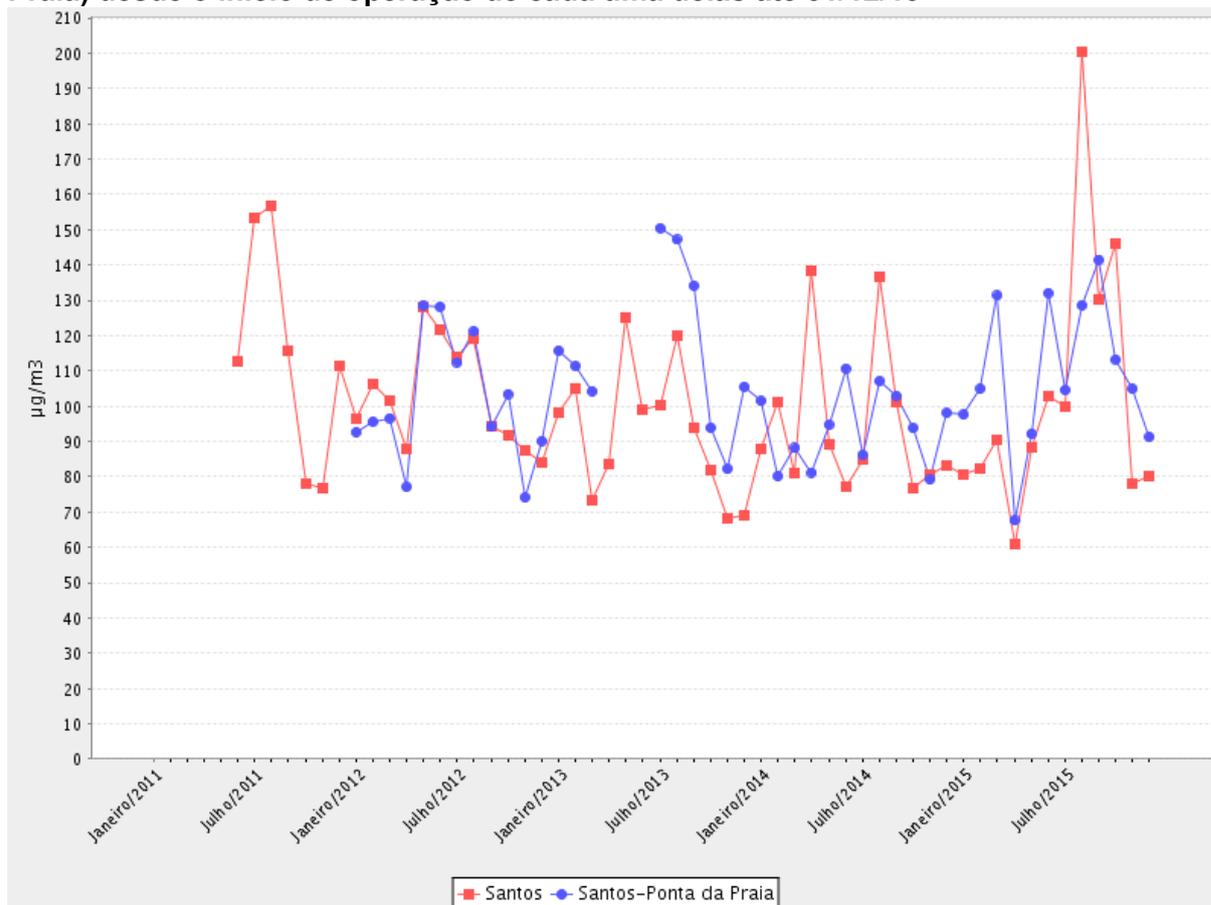
Figura 11 - Gráfico da distribuição da qualidade do ar avaliada para SO₂ na estação de monitoramento Santos - Ponta da Praia de 18/11/11 a 31/12/15



4.4 Dióxido de nitrogênio (NO₂)

Este parâmetro é monitorado nas duas estações operadas pela CETESB do município de Santos e os valores das concentrações máximas mensais de dióxido de nitrogênio na série histórica que compreende desde o início de operação de cada uma das estações de monitoramento (07/06/11 para a estação Santos – Boqueirão e 18/11/11 para a estação Santos – Ponta da Praia) até 31/12/2015 encontram-se na Figura 12 a seguir:

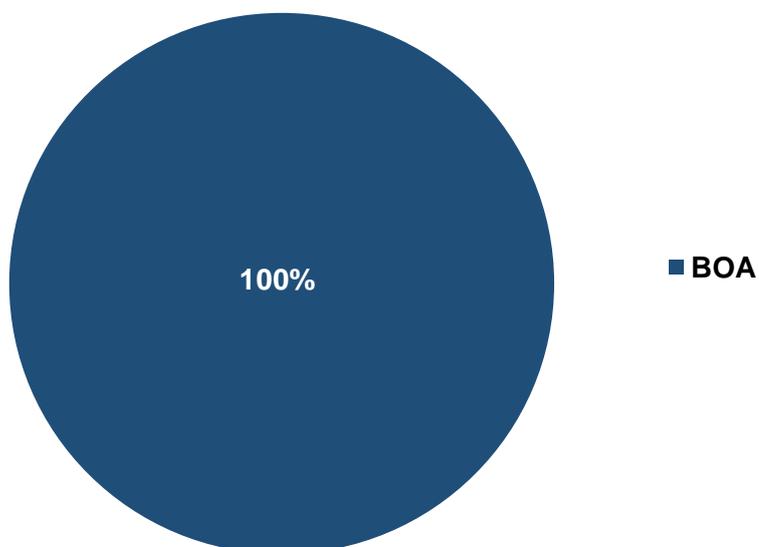
Figura 12 – Gráfico da evolução das concentrações máximas mensais de dióxido de nitrogênio (NO₂) nas estações de monitoramento de Santos (Boqueirão e Ponta da Praia) desde o início de operação de cada uma delas até 31/12/15



Fonte: QUALAR (CETESB, 2016)

De acordo com o Relatório da Distribuição da Qualidade do Ar, disponível no QUALAR (CETESB,2016), o PQAr para NO₂ de 260 µg/m³ não foi ultrapassado em nenhum momento nas estações de monitoramento de Santos localizadas nos bairros Boqueirão e Ponta da Praia, o que pode ser confirmado pela Figura 12, anteriormente apresentada. Assim, a qualidade do ar nas duas estações de monitoramento de Santos, avaliada no período de 07/06/2011 a 31/12/2015 para a estação localizada no Boqueirão e no período de 18/11/2011 a 31/12/2015 para a estação da Ponta da Praia foi considerada BOA em 100% do tempo da série histórica avaliada, conforme Figura 13 a seguir:

Figura 13 - Gráfico da distribuição da qualidade do ar nas estações de monitoramento de Santos (Boqueirão e Ponta da Praia) avaliada para NO₂ desde o início de operação de cada uma delas até 31/12/15

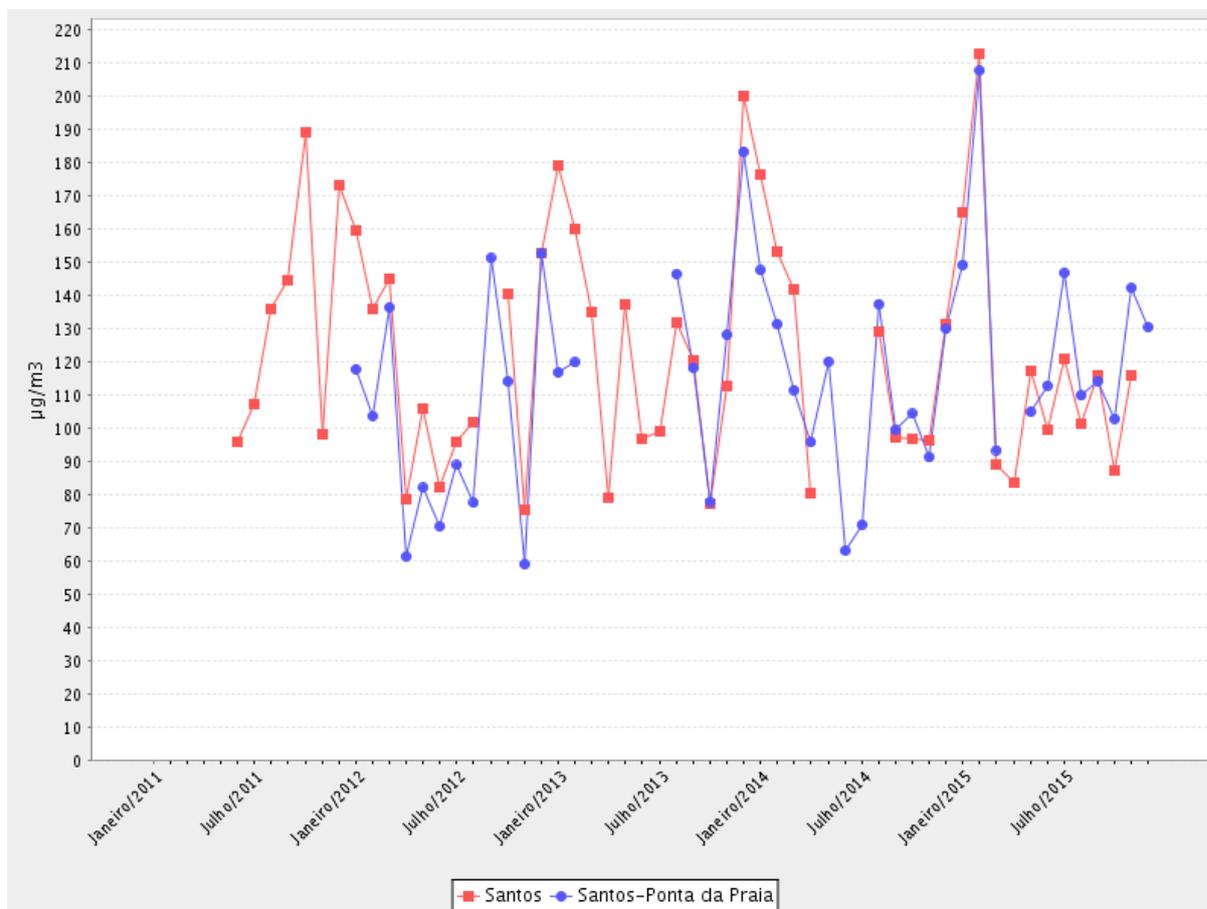


4.5 Ozônio (O₃)

Além da quantidade de precursores lançados na atmosfera, a concentração de ozônio detectada em uma estação de monitoramento da qualidade do ar está diretamente relacionada às condições meteorológicas como: variação da nebulosidade, quantidade de radiação solar incidente, transporte atmosférico de precursores (principalmente óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis) e movimentação do próprio ozônio pela ação dos ventos, entre outros fatores (CETESB, 2015b).

Embora o ozônio seja monitorado nas duas estações operadas pela CETESB no município de Santos, não estão sendo avaliadas as concentrações de compostos orgânicos voláteis (COV's) na atmosfera do município, verificando-se apenas o monitoramento de um dos precursores do ozônio, o NO₂. Os valores das concentrações máximas mensais de ozônio na série histórica que compreende desde o início de operação de cada uma das estações de monitoramento até 31/12/2015 encontram-se na Figura 14, apresentada a seguir. O início de operação da estação Santos – Boqueirão foi em 07/06/2011 e da estação Santos – Ponta da Praia foi em 18/11/2011.

Figura 14 – Gráfico da evolução das concentrações máximas mensais de ozônio (O₃) nas estações de monitoramento de Santos (Boqueirão e Ponta da Praia) desde o início de operação de cada uma delas até 31/12/15

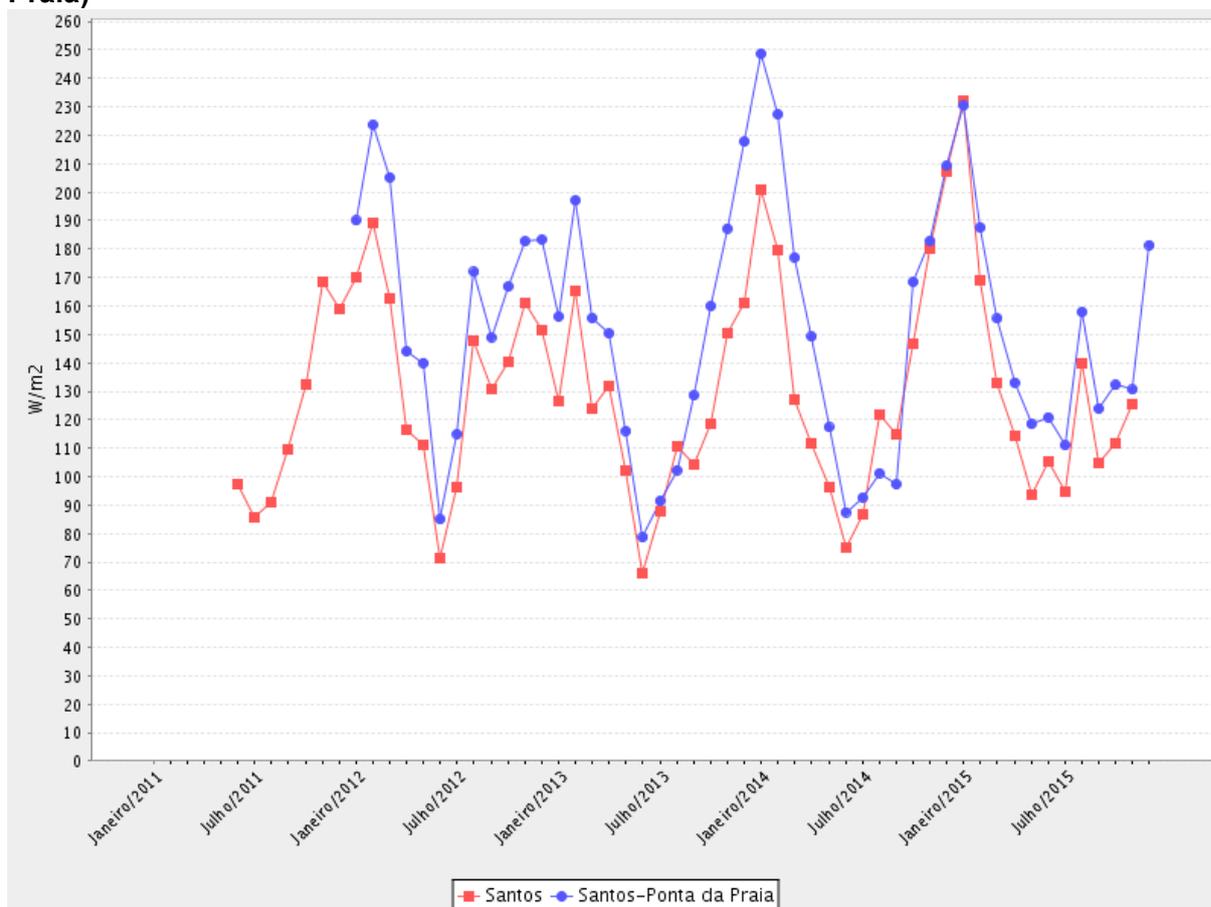


Fonte: QUALAR (CETESB, 2016)

Na série histórica apresentada na Figura 14, que compreende desde o início de operação das estações de monitoramento da qualidade do ar do município de Santos até 31/12/2015, verifica-se que as concentrações máximas mensais de ozônio (O₃) detectadas na estação de monitoramento Santos – Boqueirão são, na maior parte do tempo da série histórica analisada, um pouco maiores do que as observadas na estação Santos – Ponta da Praia.

O ozônio é um poluente secundário, formado na atmosfera através de reações fotoquímicas, as quais são influenciadas, entre outros fatores, pela radiação solar incidente, cujas médias máximas mensais estão apresentadas na Figura 15 a seguir:

Figura 15 – Gráfico da evolução da radiação solar global (médias máximas mensais) em W/m^2 verificadas nas estações de monitoramento de Santos (Boqueirão e Ponta da Praia)

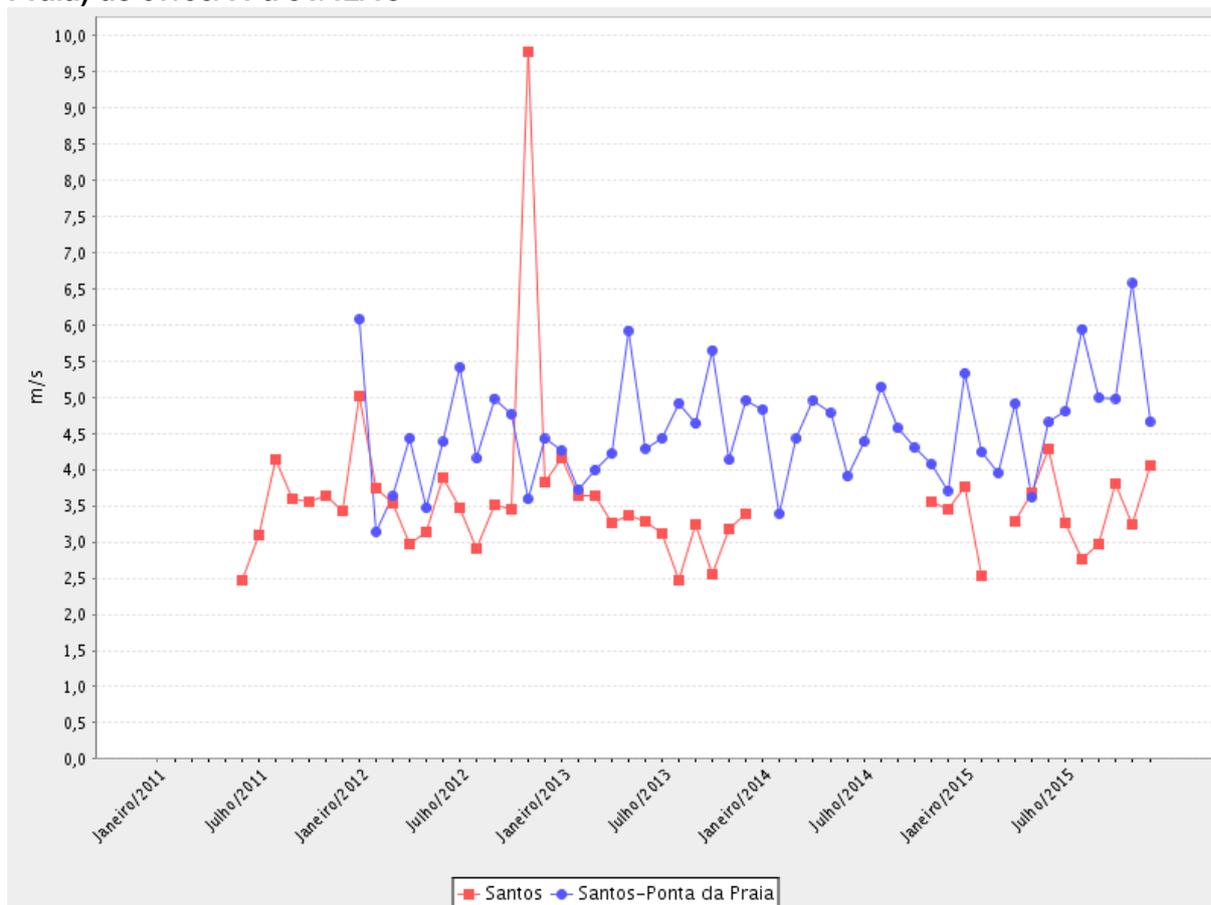


Fonte: QUALAR (CETESB, 2016)

Verifica-se na Figura 15 que os valores de radiação solar global das duas estações de monitoramento de Santos são muito próximos (algumas vezes até coincidentes), observando-se maior incidência de radiação solar nos meses da primavera e verão, quando as concentrações de ozônio se apresentam também mais elevadas, conforme pode ser visualizado na Figura 14 (anteriormente apresentada).

A concentração de ozônio também é influenciada pelos movimentos das massas de ar na atmosfera, que podem favorecer ou dificultar a diluição desse poluente ou transportá-lo para outras regiões, as vezes distantes dos locais de emissão de seus precursores ou de formação desse poluente secundário. Na Figura 16, apresentada a seguir, estão registradas as velocidades do vento médias máximas mensais, desde o início de operação de cada uma das estações de monitoramento da CETESB, localizadas no município de Santos, até 31/12/2015.

Figura 16 – Gráfico da evolução das velocidades do vento (médias máximas mensais) em m/s verificadas nas estações de monitoramento de Santos (Boqueirão e Ponta da Praia) de 07/06/11 a 31/12/15



Fonte: QUALAR (CETESB, 2016)

Na Figura 16, anteriormente apresentada, verifica-se que as velocidades do vento médias máximas mensais no município de Santos nas duas estações de monitoramento encontram-se, na maior parte do tempo da série histórica, compreendida desde o início de operação de cada uma delas até 31/12/2015, com valores situados no intervalo entre 3 m/s e 5,5 m/s. As velocidades médias máximas mensais do vento na estação Santos Ponta da Praia sempre foram superiores as verificadas na estação Santos – Boqueirão, exceto no ano de 2012, que a velocidade do vento registrada na estação Santos – Boqueirão atingiu o valor extremo superior a 9,5 m/s, muito acima da velocidade do vento média máxima desse mês registrada na estação Santos – Ponta da Praia (em torno de 3,5 m/s).

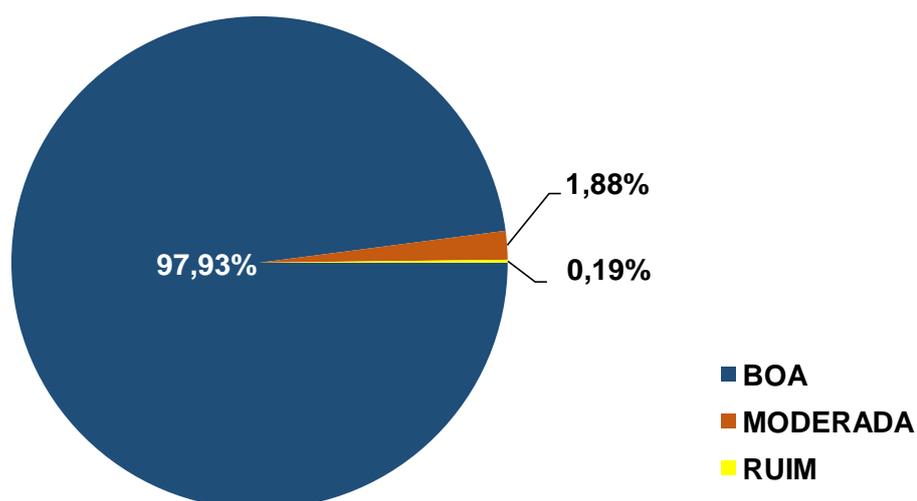
Embora o Relatório da Distribuição da Qualidade do Ar para ozônio, disponível no QUALAR (CETESB, 2016), da estação Santos – Boqueirão indique a ocorrência de ultrapassagem em apenas três dias do PQAr, verifica-se na Figura 14 (apresentada anteriormente) que em vários meses as concentrações máximas mensais de O_3 ultrapassaram o PQAr de $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na série histórica compreendida entre 07/06/2011 e

31/12/2015. As ultrapassagens do PQAr na estação de monitoramentos Santos – Boqueirão na série histórica estudada ocorreram uma vez em fevereiro e duas vezes em dezembro, conforme Relatório da Distribuição da Qualidade do Ar para ozônio, disponível no QUALAR (CETESB, 2016).

O Relatório da Distribuição da Qualidade do Ar para ozônio, disponível no QUALAR (CETESB, 2016), da estação Santos – Ponta da Praia indicou que em apenas um dia, no mês de fevereiro, ocorreu a ultrapassagem do PQAr de $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$, no período compreendido entre 18/11/2011 e 31/12/2015, embora seja possível verificar na análise da Figura 14, anteriormente apresentada, que em vários meses as concentrações médias máximas detectadas desse poluente na estação Santos – Ponta da Praia estiveram bem acima do PQAr para ozônio.

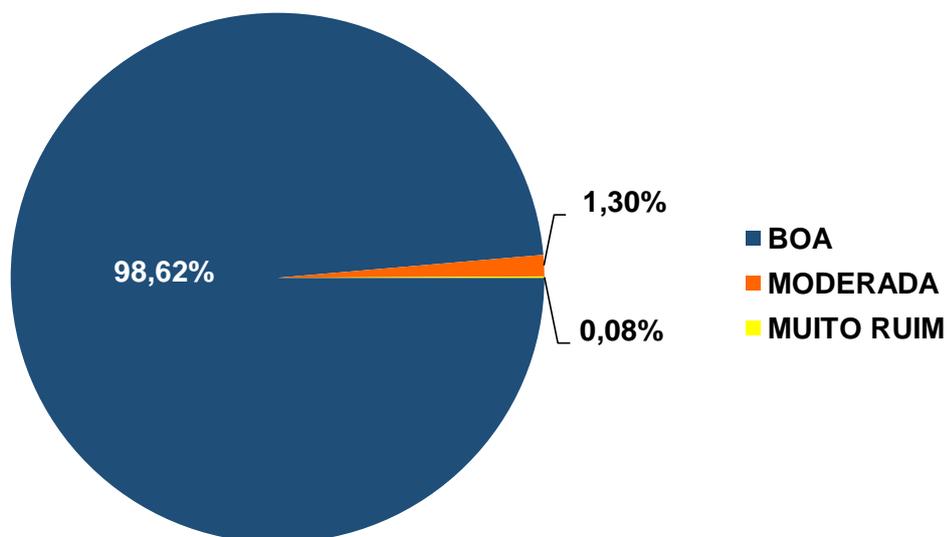
A qualidade do ar na estação de monitoramento Santos – Boqueirão no período de 07/06/2011 a 31/12/2015 avaliada para O_3 foi considerada BOA a maior parte do tempo (97,93%), apresentando-se como MODERADA em 1,88% do tempo e como RUIM em 0,19% do tempo da série histórica analisada, conforme Figura 17 a seguir:

Figura 17 - Gráfico da distribuição da qualidade do ar avaliada para O_3 na estação de monitoramento Santos - Boqueirão de 07/06/11 a 31/12/15



A qualidade do ar na estação de monitoramento Santos – Ponta da Praia no período de 18/11/2011 a 31/12/2015 para O_3 foi considerada BOA em 98,62% do tempo, MODERADA em 1,30% do tempo e MUITO RUIM em 0,08% do tempo da série histórica analisada, conforme Figura 18 a seguir:

Figura 18 - Gráfico da distribuição da qualidade avaliada para O₃ na estação de monitoramento Santos - Ponta da Praia de 18/11/11 a 31/12/15



Os Relatórios da Distribuição da Qualidade do Ar, disponíveis no QUALAR (CETESB, 2016), analisados indicam que de todos os poluentes monitorados nas estações operadas pela CETESB no município de Santos, apenas Partículas Inaláveis (MP₁₀) e Ozônio (O₃) foram responsáveis pelas ultrapassagens do PQAr na série histórica estudada.

As 35 ultrapassagens do PQAr para Partículas Inaláveis (MP₁₀) verificadas no município de Santos, na série histórica estudada, foram verificadas na estação de monitoramento Santos – Ponta da Praia e nenhuma ultrapassagem foi observada na estação Santos – Boqueirão para esse poluente. As ultrapassagens do PQAr para MP₁₀ na estação de monitoramento Santos – Ponta da Praia ocorreram 11 vezes em 2012, 14 vezes em 2013, 10 vezes em 2014 e nenhuma vez em 2015.

Das 4 ultrapassagens do PQAr para Ozônio (O₃) verificadas no município de Santos, na série histórica estudada, 3 delas foram verificadas na estação Santos – Boqueirão (nos anos de 2011, 2012 e 2015) e apenas 1 ultrapassagem foi observada na estação Santos – Ponta da Praia (no ano de 2015).

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

As concentrações de poluentes detectadas nas duas estações de monitoramento da CETESB no município de Santos, no período compreendido desde o início de operação de cada uma delas (07/06/2011 para a estação Santos – Boqueirão e 18/11/2011 para a estação Santos – Ponta da Praia) até 31/12/2015, indicam que a avaliação da qualidade do ar foi considerada BOA a maior parte do tempo para todos os poluentes analisados. Comparando as duas estações entre si, verifica-se que o maior número de ultrapassagens do PQAr foi para Partículas Inaláveis (MP_{10}) verificadas na estação Santos – Ponta da Praia.

Comparando os resultados das duas estações de monitoramento de Santos verifica-se que a pior qualidade do ar observada no Relatório da Distribuição da Qualidade do Ar para Partículas Inaláveis (MP_{10}) foi na estação Santos – Ponta da Praia, indicando que as atividades portuárias (representadas pelo carregamento e descarregamento de granéis sólidos como grãos de soja e milho, açúcar, trigo, fertilizantes, entre outros, potencializados pelo intenso tráfego diário de caminhões e embarcações no Porto de Santos) contribuíram para a degradação da qualidade do ar no município de Santos.

As ultrapassagens do PQAr para Ozônio (O_3) no município de Santos na série histórica estudada não podem ser atribuídas ao movimento do Porto de Santos, ao tráfego de veículos, ou às atividades industriais desenvolvidas no município, uma vez que não há monitoramento de compostos orgânicos voláteis (COV's), um importante precursor de O_3 , nas estações de monitoramento da CETESB que operam no município. O único precursor de O_3 monitorado nas duas estações de Santos é o NO_2 , que apresentou concentrações abaixo do PQAr em todo o período da série histórica analisada.

A enorme quantidade e variedade de produtos químicos armazenados e/ou fracionados nos terminais do Porto Organizado de Santos constituem fontes potenciais de poluição atmosférica, que no caso do ozônio, poderão afetar outros municípios distantes de Santos, como aqueles integrantes da Região Metropolitana de São Paulo. Com os dispositivos de medição atualmente implantados nas estações de monitoramento de Santos, não se pode identificar a origem dos precursores do ozônio. Nesse contexto, é possível que as poucas ultrapassagens do PQAr para esse poluente verificadas no município de Santos possam estar associadas às fontes de emissão de NO_2 e de COV's existentes no próprio município ou provenientes de fontes localizadas em municípios vizinhos. Outra hipótese seria a de que os precursores do ozônio emitidos na Baixada Santista, ou o próprio ozônio formado em território santista, possam estar sendo transportados pelas massas de ar, atingindo outras cidades como Cubatão, São Bernardo do Campo, Diadema e São Paulo, contribuindo pelas ultrapassagens do PQAr para esse poluente.

Conforme previsto no Decreto Estadual nº 59.113 de 23/04/2013, a delimitação das sub-regiões no território do Estado de São Paulo, para a execução de programas de controle de poluição do ar, é determinada de acordo com os seguintes critérios: para o ozônio, a sub-região deverá abranger todo(s) o(s) município(s), ou parte(s) deste(s), num raio de 30 quilômetros a partir da estação de monitoramento da qualidade do ar; para os demais poluentes, a sub-região coincide com a delimitação do território do município, no qual a estação de monitoramento da qualidade do ar está implantada (SÃO PAULO, 2013). Como a avaliação da qualidade do ar é realizada sempre para o pior caso, municípios pertencentes a mais de uma sub-região deverão receber a classificação da sub-região com o maior nível de poluição, sempre que não tiverem classificação estabelecida por estação instalada em seu próprio território ou instalada em município conurbado (SÃO PAULO, 2013).

De acordo com o previsto nos artigos 11 e 12 do Decreto Estadual nº 59.113/2013, fontes novas de poluição ou ampliações das já existentes, que sejam responsáveis por emissões adicionais iguais ou superiores a 100 t/ano de Material Particulado, 40 t/ano de Óxidos de Nitrogênio, 40 t/ano de COV's (exceto metano) e 250 t/ano de Óxidos de Enxofre, deverão ser obrigadas a compensar as emissões atmosféricas dos poluentes responsáveis pela saturação da região, além de implantarem a tecnologia mais eficiente no controle das emissões, de maneira a reduzir ao máximo a poluição atmosférica devido às fontes estacionárias (SÃO PAULO, 2013).

Nessa esteira é imprescindível que haja ampliação das estações fixas e/ou móveis de monitoramento da qualidade do ar em áreas situadas no entorno do Porto de Santos, para identificação de áreas mais impactadas e verificação das fontes potenciais de poluição, que possam estar causando alteração da qualidade do ar.

Considerando-se que alguns poluentes prejudiciais à saúde da população, ainda não estão sendo monitorados nas estações operadas pela CETESB do município de Santos, sugerimos a ampliação do monitoramento nas estações já implantadas, com a avaliação de outros poluentes como por exemplo: compostos orgânicos voláteis específicos (benzeno, tolueno, estireno, entre outros representativos da região) de maneira a possibilitar a melhor avaliação da qualidade do ar no município, bem como a implantação de estações adicionais que tenham maior abrangência, levando-se em consideração a extensão do Porto de Santos e a influência da direção dos ventos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVARES JUNIOR., O. M.; LACAVA, C. I. V.; FERNANDES, P. S. **Emissões atmosféricas**. Brasília: SENAI/DN, 2002. 373 p.

ALVIM, D. S. **Estudo dos Principais Precusores de Ozônio na Região Metropolitana de São Paulo**. 2013. 161 f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) – IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Autarquia Associada à Universidade de São Paulo). São Paulo.

AQUINO, S. M. F.; ALMEIDA, J. R.; CUNHA, R. R. R. S. B.; LINS, G. A. Bioindicadores vegetais: uma alternativa para monitorar a poluição atmosférica. **Revista Internacional de Ciências**. Rio de Janeiro, v.1, n.1, 2011. Disponível em: <www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/ric/search/advancedResults>. Acesso em 16 jan. 2016.

BIZ, M.C.P.; MAIA, J.A. Educação permanente na atenção à saúde de idosos. **Revista Kairós**. São Paulo, v.10, n.2, p.123-134, 2007. Disponível em: <<http://revistas.pucsp.br/index.php/kairos/article/view/2594/1648>>. Acesso em: 15 jan. 2016.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Tradução técnica de Igo Fernando Lepsch. Rio de Janeiro: Bookman Companhia Editora Ltda., 3ª edição, 2013. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=XI49IAu5mwkC&pg=PA251&dq=calor+especifico+do+solo&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwidhqq_nPfkAhUDFJAKHV_PbecQ6AEIjAA#v=onepage&q=calor%20especifico%20do%20solo&f=false>. Acesso em: 13 fev. 2016.

BRASIL. Portaria Normativa n.348, de 14 de março de 1990. 1990a. Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar. Disponível em: <www.ctpconsultoria.com.br/pdf/portaria-IBAMA-348-de-14-03-1990.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2015.

BRASIL. Resolução CONAMA n.003, de 28 de junho de 1990. 1990b. Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>. Acesso em: 10 jan. 2015.

CARNEIRO, R. M. A. **Bioindicadores vegetais de poluição atmosférica: uma contribuição para a saúde da comunidade**. 2004. Dissertação (Mestrado em Enfermagem em Saúde Pública) – Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.

CARVALHO, V. S. B.; FREITAS, E. D.; MAZZOLI, C. R.; ANDRADE, M. F. Avaliação da influência de condições meteorológicas na ocorrência e manutenção de um episódio prolongado com altas concentrações de ozônio sobre a região metropolitana de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**. São Paulo, v.27, n.4, dez. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862012000400009>>. Acesso 10 fev. 2016.

CASTRO, H. A.; GOUVEIA, N.; ESCAMILLA-CEJUDO, J. A. Questões metodológicas para a investigação dos efeitos da poluição do ar na saúde. **Revista Brasileira de Epidemiologia**. São Paulo, v. 6, n. 2, jun. 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-790X2003000200007>>. Acesso em: 09 jan. 2016.

CETESB. **QUALAR - Sistema de informações sobre a qualidade do ar do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2016. Disponível em:<ar.cetesb.sp.gov.br/qualar/>.

CETESB. **Relatório Avaliação da Qualidade do Ar no Município de Santos de 2011 a 2014**. São Paulo, 2015a. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>>. Acesso em: 13 ago. 2015.

CETESB. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2014**. CETESB. São Paulo, 2015b. 134 p.

CETESB. **Biomonitoramento da vegetação na região de Cubatão: fluoreto, cádmio, chumbo, mercúrio e níquel 2012-2013**/CETESB; Coordenação técnica: Rosângela Pacini Modesto; Equipe Técnica: Mara Magalhães Gaeta Lemos et al. - São Paulo: CETESB, 2015c. Disponível em:<<http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em 16 fev. 2016.

CETESB. **Relatório Avaliação da Qualidade do Ar no Município de Santos de 2011 a 2013**. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>>. Acesso em: 25 mar. 2015.

CETESB. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2012**. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>>. Acesso em: 17 jan. 2015.

CETESB. **Relatório de estudo investigativo da ocorrência de ozônio troposférico por meio de monitoramento, no município de Cabreúva -SP**; Coordenação Técnica: Rodrigo C. Fialho; Equipe Técnica: Rodrigo Coelho Fialho; José Bezerra Sousa, Mara Magalhães Gaeta Lemos; Gilmar Issa Gallo; Rui dos Santos Barbosa Junior - São Paulo: CETESB, 2006. 21p.

CODESP – Companhia Docas do Estado de São Paulo. **Relatório anual 2014 – Porto de Santos**. Santos, 2015. Disponível em: <www.portodesantos.com.br>. Acesso em: 12 set. 2015.

COSTA, W. R.; MINEO, M. F. Os líquens como bioindicadores de poluição atmosférica no município de Uberaba, Minas Gerais, Brasil. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental** – REGET, v.13, n.13, p.2690-2700, ago.2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5902/223611708657>>. Acesso em: 02 fev. 2016.

DAMILANO, D. C. R. **Estudo da Influência da Poluição Atmosférica e das Condições Meteorológicas na Saúde em São José dos Campos**. 2006. Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica – INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

GOUVEIA, N.; MENDONÇA, G. A. S.; LEON, A. P.; CORREIA, J. E. M.; JUNGER, W. L.; FREITAS, C. U.; DAUMAS, R. P.; MARTINS, L. C.; GIUSSEPE, L.; CONCEIÇÃO, G. M. S.; MANERICH, A.; CUNHA-CRUZ, J. Poluição do ar e efeitos na saúde nas populações de duas grandes metrópoles brasileiras. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**. Brasília, v.12, n.1, mar. 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5123/S1679-49742003000100004>>. Acesso em: 22 jan. 2016.

IBGE. Estimativa da população no município de Santos em 2015 e informações completas. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidades>>. Acesso em: 12 set. 2015.

KLUMPP, A.; ANSEL, W.; KLUMPP, G.; FOMIN, A. Um novo conceito de monitoramento e comunicação ambiental: a rede europeia para avaliação da qualidade do ar usando plantas bioindicadoras (EuroBionet). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.24, n.4, p.511-518, dez. 2001.

LISBOA, H. M. **Poluição Atmosférica**. Livros digitais. 2010. Disponível em: <<http://www.lcqr.ufsc.br/site/data/-uploadedde/fili/Livros.pdf>>. Acesso em: 24 jan. 2015.

NARDOCCI, A. C.; FREITAS, C. U.; LEON, A. C. M. P.; JUNGER, W. L.; GOUVEIA, N. C. Poluição do ar e doenças respiratórias e cardiovasculares: estudo de séries temporais em Cubatão, São Paulo, Brasil. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.29, n.9, p. 1867-1876, set. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0102-311X00150012>>. Acesso em: 09 jan. 2016.

OMS (Organização Mundial da Saúde). **7 million premature deaths annually linked to air pollution**. WHO (World Health Organization).2014. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution>>. Acesso em: 22 jan. 2016.

ORLANDO, J. P. **Estudo dos precursores de ozônio na cidade de São Paulo através de simulação computacional**. 2008. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear). IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – Autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Joao%20Paulo%20Orlando_M.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2016.

OLIVEIRA, R. A. A. **Modelo matemático para avaliação ambiental e financeira da aplicação de dispositivos de controle de emissão em tanques de armazenamento: tetos flutuantes internos**. 2015. 152f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

PEREIRA, S. S. **Utilização da espécie *Nicotiana tabacum* como bioindicador da concentração de ozônio troposférico – Abordagem quantitativa**. 2007. Relatório final de projeto de iniciação científica (Graduação em Geografia). INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. UNISAL: Centro Universitário Salesiano de São Paulo, Unidade Lorena.

PIMENTEL, C. Metabolismo de carbono de plantas cultivadas e o aumento de CO₂ e de O₃ atmosférico: situação e previsões. **Bragantia** [on line], Campinas, v.70, n.1, p.1-12, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052011000100002>>. Acesso em: 24 jan. 2015.

PREFEITURA DE SANTOS. Conheça Santos – Dados Gerais - Meio ambiente. Disponível em: <www.santos.sp.gov.br>. Acesso em: 13 set. 2015.

RODRIGUES, E. S. **Gestão ambiental nos terminais de armazenagem de produtos químicos líquidos a granel no Porto de Santos**. 2010. Tese (Doutorado em Patologia) – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/5/5144/tde-03092010-140640/>>. Acesso em: 08 mar. 2016.

SÃO PAULO. Decreto n. 59.113, de 23 de abril de 2013. 2013. Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

SIQUEIRA, L. G. **Estimativa de emissões de poluentes atmosféricos**. CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Apostila. São Paulo, 2015. 291p.

TV TRIBUNA. **Santos é eleita a melhor cidade brasileira para se viver**. Matéria veiculada em 05/12/2014 na TV Tribuna. Disponível em: <g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2014/12/santos-sp-e-eleita-melhor-cidade-brasileira-para-se-viver.html>. Acesso em: 13 set. 2015.

U.S. Environmental Protection Agency. "National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)". Disponível em: <<http://www.epa.gov/air/criteria.html>>. Acesso em: 11 dez. 2015.