



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL**

ACHILLES CHAVES FERREIRA JÚNIOR

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR NO MUNICÍPIO DE SÃO GONÇALO DO
AMARANTE/CE**

FORTALEZA – CEARÁ

2016

ACHILLES CHAVES FERREIRA JÚNIOR

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR NO MUNICÍPIO DE SÃO GONÇALO DO
AMARANTE/CE**

Orientador: Prof. Dr. Rinaldo dos Santos Araújo.

Co-Orientadora: Profa. Dra. Jeanete Koch.

FORTALEZA – CE

2016

Catálogo na fonte: Biblioteca Waldyr Diogo de Siqueira

F383a Ferreira Júnior, Achilles Chaves.

Avaliação da qualidade do ar no município de São Gonçalo do Amarante/CE . / Achilles Chaves Ferreira Júnior. - Fortaleza: IFCE, 2016.
81 f.

Dissertação (Gestão Ambiental).

Prof. Dr. Rinaldo dos Santos Araújo

1. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA. 2. QUALIDADE DO AR. 3.PTS- NO₂.
SO₂, O₃ 4. METAIS Título.

CDD 628

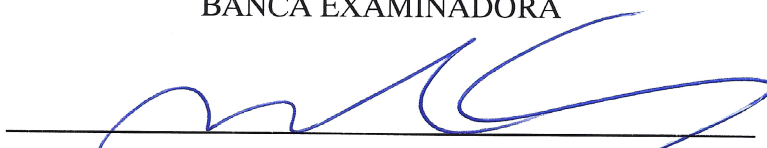
ACHILLES CHAVES FERREIRA JÚNIOR

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR NO MUNICÍPIO DE SÃO GONÇALO
DO AMARANTE/CE**

Dissertação submetida à Coordenação do
Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e
Gestão Ambiental do Instituto Federal do
Ceará como requisito para obtenção do título
de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.

Aprovada em 29 / 03 / 2016.

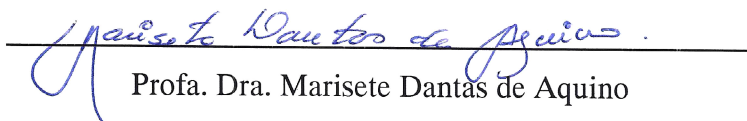
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Rinaldo dos Santos Araújo (Orientador)
Instituto Federal do Ceará



Profa. Dra. Rita Mickaela Barros de Andrade
Instituto Federal do Ceará



Profa. Dra. Marisete Dantas de Aquino
Universidade Federal do Ceará

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, aos meus pais: Achilles e Lourdes (*in memoriam*), pelo afeto e educação concedidos, e em especial a minha esposa Jeanete Koch pelo auxílio, paciência, compreensão e companheirismo.

Ao Prof. Dr. Rinaldo Araújo, por acreditar no meu trabalho, pelo dom de ensinar e de direcionar seus alunos a alcançar os objetivos acadêmicos com maestria.

Aos professores doutores: Mona Lisa Moura e Sales Ávila, pelo apoio na realização dos experimentos.

Aos bolsistas do Laboratório de Tecnologia Química (LTQ): Lukas Angelim, Lara Nascimento e Sannara Bandeira que me auxiliaram de forma singular na coleta de dados, essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Tecnologia Química (LTQ): Rodrigo Lima, Paulo Henrique Brito, Jéssica Rocha, Luanny Gadelha, Lana Melo, Camila Brasil, Monique Sousa, Amanda Pontes, Julie Azevedo e Cícero Lima, pelo companheirismo.

Aos amigos, Falb Ventura, João Dantas, Márcio Maia e José Vieira (*in memoriam*), pela amizade e incentivo.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização desse trabalho e meu crescimento profissional.

“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende”.

Leonardo da Vinci.

RESUMO

O crescimento populacional e o progresso têm contribuído para o aumento da poluição atmosférica, alterando a qualidade do ar nos aglomerados urbanos. Os poluentes atmosféricos são provenientes das mais variadas fontes, e neste contexto a queima de combustíveis fósseis e a atividade industrial são as principais fontes geradoras destas substâncias no ar. Em geral, compostos como o CO, NO_x, SO₂, O₃, materiais particulados, hidrocarbonetos e metais pesados quando presentes na atmosfera ocasionam efeitos negativos a saúde humana, ocasionando doenças como asma, câncer, alergias, dentre outras. O município de São Gonçalo do Amarante situado na região metropolitana da cidade de Fortaleza possui em seu território 46,8% da área do Complexo Industrial e Portuário do Pecém, empreendimento que visa o desenvolvimento industrial do Ceará a partir da operação de indústrias como: siderúrgica, usinas termelétricas, cimenteiras, unidades de tancagem de combustíveis, transporte de minérios, grãos, sementes, dentre outras. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade do ar no Município de São Gonçalo do Amarante, Estado do Ceará, a partir dos parâmetros de: material particulado (PTS), NO₂, SO₂, O₃ e metais pesados (Fe, Ni, Cu e Pb). O monitoramento foi executado de outubro a dezembro de 2015, totalizando 15 coletas. Para a coleta dos materiais particulados foi utilizado um amostrador de grande volume a 64 m³/h e para o SO₂ e NO₂ empregou-se um amostrador de pequeno volume a 0,20 L/min. O O₃ foi determinado por absorção no ultravioleta (254 nm) a 1 L/min e as concentrações dos metais pesados associados ao PTS foram estimadas por espectroscopia de absorção atômica. Os resultados mostraram níveis de PTS (24 h) entre 32,6 e 75,3 µg/m³ e de ozônio (1 h) entre 63,8 e 165,6 µg/m³. As concentrações de SO₂ (< 29 µg/m³) e NO₂ (< 9 µg/m³), por sua vez, apresentaram-se muito abaixo dos valores estabelecidos pela resolução CONAMA 03/90. Entre os metais somente o ferro foi quantitativamente identificado, com níveis entre 3,6 e 19,9 µg/m³. Em geral, os valores obtidos mostraram que a qualidade do ar na área estudada pode ser considerada boa para todos os parâmetros ambientais analisados.

Palavras-chaves: Poluição atmosférica, Qualidade do ar, Área industrial, PTS, NO₂, SO₂, O₃, Metais.

ABSTRACT

Population growth and progress have contributed to increased air pollution, changing the air quality in urban areas. Air pollutants are from many different sources, and in this context the burning of fossil fuels and industrial activity are the major sources of these substances in the air. In general, compounds such as CO, NO_x, SO₂, O₃, particulates, hydrocarbons and heavy metals when present in the atmosphere has negative effects on human health, causing diseases such as asthma, cancer, allergies, etc. The city of São Gonçalo do Amarante is situated in the metropolitan area of Fortaleza and has in its territory 46.8% of the area of Industrial Complex of Pecém, which aims to promote the industrial development of the Ceará state from the operation of steel industries, power plants, cement plants, tankage fuels, mineral transport, grains and seeds, etc. In this context, this study aims to evaluate the air quality in São Gonçalo do Amarante, Ceará state, from the parameters of: particulate matter (TSP), NO₂, SO₂, O₃ and metals (Fe, Ni, Cu and Pb). The particulate material was collected on a high volume sampler (64 m³/h) and for SO₂ and NO₂ was used a small volume sampler (0.20 L/min). Ozone (O₃) was determined by ultraviolet absorption (254 nm) and the concentration of heavy metals associated with the PTS were estimated by atomic absorption spectroscopy. The results showed TSP levels (24 h) between 32.6 and 75.3 µg/m³ and ozone (1 h) between 63.8 and 165.6 µg/m³. Concentrations of SO₂ (< 29 µg/m³) and NO₂ (< 9 µg/m³) showed well below the values established by Brazilian legislation for these atmospheric pollutants (CONAMA resolution 03/90). Among the metals only iron was quantitatively identified, with levels between 3.6 and 19.9 µg/m³. In general, the values obtained show that the quality of air in this area studied can be considered "good" for all environmental parameters analyzed.

Keywords: Atmospheric pollution, Air quality, Industrial area, TSP, NO₂, SO₂, O₃, Metals.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de localização do município de São Gonçalo do Amarante.....	37
Figura 2	Imagem da estação de monitoramento no município de São Gonçalo do Amarante.....	39
Figura 3	Sensores para aquisição de dados meteorológicos na Estação Instrutemp: a) sensor de pluviosidade, b) sensor de velocidade do vento e c) sensor de direção do vento.....	39
Figura 4	Imagem do amostrador Hivol com inlet para PTS utilizado na pesquisa.....	40
Figura 5	Imagens do equipamento Trigás com detalhamento dos frascos amostradores.....	41
Figura 6	Monitor de ozônio utilizado na pesquisa para as determinações do O ₃ troposférico.....	42
Figura 7	Rosa dos ventos na área em estudo no município de São Gonçalo do Amarante durante o período de monitoramento.....	46
Figura 8	Frequência dos ventos na área em estudo no município de São Gonçalo do Amarante durante o período de monitoramento.....	47
Figura 9	Concentrações médias de PTS (24 h) observadas durante o período de outubro a dezembro de 2015 na área em estudo no município de São Gonçalo do Amarante.....	50
Figura 10	Concentrações horárias de O ₃ (1 h) observadas durante o período de outubro a dezembro de 2015 na área em estudo no município de São Gonçalo do Amarante.....	55
Figura 11	Concentrações horárias de O ₃ (8 h) observadas durante o período de outubro a dezembro de 2015 na área em estudo no município de São Gonçalo do Amarante.....	56
Figura 12	Concentrações médias de O ₃ (µg/m ³), umidade relativa (%) e temperatura (°C) na área em estudo no Município de São Gonçalo do Amarante.....	57
Figura 13	Perfil representativo das diferenças horárias entre temperaturas máximas e concentrações máximas de ozônio.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Emissões de poluentes-padrão nos Estados Unidos.....	23
Tabela 2	Principais componentes naturais e sintéticos de poluentes atmosféricos.....	24
Tabela 3	Metais traços e suas formas óxidas encontradas no ambiente.....	31
Tabela 4	Padrões de qualidade do ar no Brasil segundo a Resolução CONAMA 03/90.....	33
Tabela 5	Faixas de concentrações dos poluentes para cálculo do IQA.....	34
Tabela 6	Condições analíticas usadas nas determinações dos metais pesados associados ao material particulado total (PTS).....	42
Tabela 7	Variáveis meteorológicas observadas na área em estudo no município de São Gonçalo do Amarante durante o período de outubro a dezembro de 2015.....	44
Tabela 8	Concentrações dos poluentes monitorados durante o período de outubro a dezembro de 2015 na área em estudo no município de São Gonçalo do Amarante	49
Tabela 9	Concentrações médias anuais de PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) no Município de São Gonçalo do Amarante disponibilizadas pela SEMACE e a observada nesta pesquisa (trimestral).....	52
Tabela 10	Concentrações médias anuais de SO_2 e NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) no Município de São Gonçalo do Amarante disponibilizadas pela SEMACE e as observadas nesta pesquisa (trimestral).....	52
Tabela 11	Concentrações médias de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) observadas durante o período de outubro a dezembro de 2015 na área em estudo no município de São Gonçalo do Amarante.....	54
Tabela 12	Concentrações dos metais pesados associados ao material particulado nas amostras coletadas no período de outubro a dezembro de 2015 no município de São Gonçalo do Amarante.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGV	Amostrador de Grande Volume
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CIP	Complexo Industrial do Pecém
CIPP	Complexo Industrial e Portuário do Pecém
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
EC	Comunidade Europeia
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis
IPECE	Instituto de Pesquisas do Ceará
IQAr	Índice de Qualidade do Ar
NAAQS	National Ambient Air Quality Standards
PAN	Nitrato de Peroxiacetil
PM	Material particulado
PTS	Partículas Totais em Suspensão
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente
US EPA	Agência de Proteção Ambiental Americana
WHO	Organização Mundial da Saúde

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral.....	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3. REVISÃO DA LITERATURA	17
3.1. História da poluição do ar	17
3.2. Poluição atmosférica.....	19
3.3. Efeitos gerais da poluição do ar	19
3.4. Fontes de poluição do ar	21
3.5. Principais poluentes atmosféricos	22
3.6. Poluentes primários.....	24
3.7. Material particulado	24
3.8. Dióxido de enxofre (SO ₂).....	27
3.9. Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	28
3.10. Ozônio (O ₃).....	29
3.11. Metais.....	30
3.12. Padrões de qualidade do ar	32
3.13. Índice de qualidade do ar.....	34
3.14. Poluição atmosférica em áreas industrializadas e urbanas	34
4. MATERIAL E MÉTODOS	37
4.1. Caracterização da área em estudo	37
4.2 Procedimentos de amostragem.....	38
4.3. Procedimentos de análise e coleta	39
4.3.1. Parâmetros meteorológicos.....	39
4.3.2. Particulado Total em Suspensão (PTS).....	40
4.3.3. SO ₂ e NO ₂	41
4.3.4. Ozônio.....	42
4.3.5. Metais (Fe, Cu, Pb e Ni).....	42
4.3.6 Compilação e análise dos dados coletados.....	43

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1. Variáveis meteorológicas	44
5.2. Monitoramento dos poluentes	48
6. CONCLUSÕES.....	62
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	63
REFERÊNCIAS	64
ANEXOS.....	79

1. INTRODUÇÃO

Após a Revolução industrial em meados do século XX, em todos os países desenvolvidos e em desenvolvimento, os centros urbanos, tornaram-se maiores e mais populosos e o uso de veículos automotores tornou-se intenso e crescente, fazendo com que as indústrias fossem cada vez mais deslocadas para regiões mais distantes.

A industrialização representa o início da intensificação dos problemas de poluição atmosférica, visto que as máquinas mais antigas baseavam seu funcionamento na queima de grandes quantidades de carvão, lenha e, posteriormente, óleo combustível (PAULA, 2010).

O crescimento populacional e o progresso têm contribuído para o aumento da poluição atmosférica, alterando a qualidade do ar dos grandes centros urbanos (SAVOIA et al., 2009). Os poluentes são provenientes das mais variadas fontes, sendo a queima de combustíveis fósseis a principal causa geradora destas substâncias na atmosfera.

Muitos poluentes podem ser originados de fontes naturais, acumulando-se ao longo do tempo, porém poluentes de origem antrópica estão presentes na atmosfera em grandes quantidades. Apesar dos ventos e correntes de ar dificultarem o acúmulo das partículas poluidoras, a frequência de lançamentos acarreta problemas de poluição, principalmente em áreas industrializadas e com intenso tráfego de veículos CETESB (2006).

A avaliação dos problemas da contaminação do ar iniciou-se próxima às fontes industriais, evoluindo para os centros urbanos e sistemas de transportes, chegando a uma análise da contaminação global a partir do conceito de que não há fronteiras para a disseminação de poluentes (CARNEIRO, 2004).

Vários estudos demonstram que os poluentes atmosféricos têm gerado diversos problemas à saúde humana, como: o decréscimo da função pulmonar, alterações no sistema imunológico, danos ao trato respiratório, desde pequenas irritações até câncer, principalmente em crianças, idosos e pessoas com problemas respiratórios prévios, como asma e bronquite, além de provocar mortes intrauterina e neonatal (ROBBINS et al., 1992; PEREIRA et al., 1998; MARTINS et al., 2002; BAKONYI et al., 2004; LIN et al., 2004; CANÇADO et al., 2006, LAGUNA-TORRES et al., 2009; YANG et al., 2012, SILVA et al., 2014; NG; GORDON, 2015).

A Organização Mundial de Saúde (Agência Internacional de Pesquisa sobre Câncer – OMS) classificou a poluição do ar gerada através da queima de combustíveis fósseis como uma das principais causas de câncer de pulmão, mostrando que a concentração desses poluentes é mais danosa ao sistema de saúde pública do que o uso de cigarro. Pelo relatório, mais de 220 mil pessoas morreram no ano de 2010 vitimadas por câncer de pulmão causado pela existência de materiais particulados, hidrocarbonetos e aldeídos na atmosfera, provenientes da queima de combustíveis fósseis (BRANCO, 2015).

Os efeitos deletérios da poluição sobre a saúde humana já são conhecidos de longa data. Na década de 50 na cidade de Londres, devido à ação combinada de partículas em suspensão e dióxido de enxofre, formou-se uma grande névoa que, em cinco dias, ocasionou na população muitas moléstias, neste período a curva de mortalidade na cidade aumentou em 4 mil mortes, voltando à normalidade somente depois de dois meses (BRANCO, 2003, ZHANG; SAMET, 2015). Ao mesmo tempo em que poluentes do ar afetam a saúde, também prejudicam a economia. O aumento dos custos relacionados ao tratamento de doenças causadas pela poluição atmosférica inclui gastos com medicamentos e ausências ao trabalho.

A poluição atmosférica é responsável por uma série de doenças, causa danos à flora, à fauna, às águas, aos solos e ao próprio ar, reduz a visibilidade e causa danos a diversos materiais. Contribui para a formação de chuvas ácidas, para o aquecimento global, para a formação de ilhas de calor, para a destruição da camada de ozônio, entre outros (US EPA, 2006).

A poluição do ar, somente por efeito do material particulado fino em suspensão, origina algo em torno de 3% das mortes mundiais causadas por doenças cardiopulmonares, 5% dos casos de câncer de pulmão e 3% dos óbitos de crianças até cinco anos de idade por infecções respiratórias (WANG; CHAU, 2013). Isso corresponde a aproximadamente 800 mil mortes por ano (SALDIVA et al., 2010, BRANCO, 2015).

Vale salientar que, em termos de poluição atmosférica, os fatores climáticos e meteorológicos são fundamentais para a dispersão dos poluentes. Assim, mesmo em episódios de baixa emissão, se a dispersão dos poluentes não for adequada, a qualidade do ar também será prejudicada (CETESB, 2014).

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis (IBAMA), por meio da portaria N° 348 de 14 de março de 1990, estabeleceu os padrões nacionais de qualidade de ar, dividindo-os em padrões primários e secundários. Estes padrões foram submetidos ao Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que elaborou a resolução

CONAMA N° 03 de 28 de junho de 1990, a qual estabelece os padrões de qualidade do ar nacionais. Estes padrões são os mesmos adotados pela Superintendência Estadual de Meio Ambiente do Estado do Ceará – SEMACE.

Neste contexto e na realidade do Estado do Ceará, particularmente, a Cidade de São Gonçalo do Amarante por uma iniciativa governamental abrigou cerca de 46,8% do Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), empreendimento que visa o desenvolvimento industrial do Ceará a partir do Porto do Pecém e indústrias âncoras, tais como siderúrgica, usinas termelétricas, refinaria, etc.

Áreas industriais como o CIPP sofrem grandes pressões e encontram diversos problemas para sua implantação, desde adversidades climáticas, espaços restritos, poluição atmosférica, solos inadequados e disputa da área entre os habitantes locais e os novos empreendimentos, assim são um ambiente em constante e rápida transformação. Em termos gerais, os efeitos da poluição atmosférica destas indústrias manifestam-se na saúde humana, na vegetação, na fauna e sobre os materiais.

As empresas em operação no Complexo Industrial e Portuário do Pecém são: Jotadois NE Ltda (produção de concreto pré-impresso), Tortuga Zootécnica Agrária (produção de suplementos minerais destinados à alimentação animal), Companhia Industrial de Cimento Apodi (produção de cimento), Energia Pecém S/A (termoelétrica), Posto Rota do Porto Ltda (fornecimento de combustível), Central Geradora Termoelétrica Fortaleza S/A (geração de energia) Termo Ceará Ltda (geração de energia). A Companhia Siderúrgica do Pecém na área de metalurgia encontra-se em estágio avançado de sua instalação.

Assim neste âmbito, este estudo tem como finalidade geral avaliar a qualidade do ar no Município de São Gonçalo do Amarante, Estado do Ceará, referenciando-a aos limites estabelecidos pela legislação vigente como premissa de manutenção da sustentabilidade, prevenção, melhoria do meio ambiente e gestão ambiental integrada das áreas envolvidas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a qualidade do ar no Município de São Gonçalo do Amarante, Estado do Ceará, considerando os parâmetros de material particulado (partícula total em suspensão - PTS), gases inorgânicos (SO₂ e NO₂), ozônio (O₃) e metais (Fe, Cu, Pb e Ni) em relação aos limites estabelecidos pela legislação vigente.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar a análise comparativa das concentrações dos poluentes analisado com os valores de referência previstos na legislação brasileira e de outros países.
- Avaliar a influência dos parâmetros meteorológicos e ambientais sobre a qualidade do ar na área em estudo.
- Verificar a qualidade do ar na área em estudo baseando-se no índice de qualidade do ar.
- Estabelecer parâmetros técnicos que possibilitem ou incentivem ações que visem sistematizar o monitoramento de qualidade do ar no município de São Gonçalo do Amarante, seus efeitos no ambiente e saúde da população.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. História da poluição do ar

Como meio fluido mais rápido do ambiente, a atmosfera sempre foi um dos lugares mais convenientes para a deposição de materiais indesejados. Ao longo da história a interação do ser humano com a natureza tem se modificado bastante. Inicialmente o homem era subjugado pela natureza, sendo o mundo natural considerado por ele como onipotente, imprevisível e indomável (RESENDE, 2007). Desde que se usou o fogo pela primeira vez, a atmosfera têm sido um destino para a deposição de resíduos (BOTKIN; KELLER, 2011).

A história do homem sobre a Terra é uma sequente e progressiva ruptura entre o homem e a alteração de seus entornos. Esse processo se acelera quando, o homem cria mecanismos para dominar alguns aspectos naturais. A natureza artificializada marca uma grande mudança na história humana (SANTOS, 1994, HAMRA et al., 2014).

Historicamente pode se distinguir três estágios na evolução e agravamento da poluição do ar: (i) o início do uso do fogo por parte do *homo sapiens* por volta de 800.000 anos atrás; (ii) o uso do carvão mineral e o surgimento da Revolução Industrial após a metade do século XVIII que fez crescer significativamente a poluição em muitas cidades europeias, a partir da queima do carvão mineral – matriz energética para as máquinas da época – lançava na atmosfera das cidades europeias, toneladas de poluentes e (iii) o grande processo de industrialização em todas as partes do globo a partir da segunda metade do século XX (LE MOS, 2010).

Os combustíveis de origem fóssil contêm muitas impurezas, dessa forma, ao sofrerem combustão, liberam para a atmosfera grande quantidade de gases poluentes, principalmente os óxidos de enxofre, tais como o SO_2 e SO_3 .

A partir da Revolução Industrial, a poluição do ar se tornou mais visível e passou a ser considerado um problema ligado à saúde pública, quando a utilização de combustíveis fósseis se intensificou (LIMA et al., 2012). A sociedade passou a ser orientada por um paradigma desbravador, segundo o qual existe uma contraposição entre o meio ambiente e o desenvolvimento (RESENDE, 2007).

Segundo Cavalcanti (2010), a partir da descoberta do fogo, o homem pré-histórico começou a contribuir de forma atuante, e não consciente, para a deterioração da qualidade do ar. Os primeiros registros sobre alterações da qualidade do ar surgiram em Roma a 2.000 A.C. e em 1273, na Inglaterra assinaram-se as primeiras leis que tratavam da qualidade do ar e a queima de carvão com alto teor de enxofre foi proibida.

No início do século XX, as atividades industriais e o aumento significativo do uso dos veículos automotores causaram severos episódios de poluição com um grande número de mortes. Entre estes eventos podendo-se citar:

(i) em 1891, o registro da morte de mil cento e cinquenta pessoas em Londres, causada pela fumaça produzida na queima de carvão, data em que foi proposta pelo Dr. Harold Des Vouex a palavra *smog* (composição de *smoke*, fumaça e *fog*, neblina), utilizada hoje para designar episódios críticos de poluição do ar (BRAGA et al., 2002).

(ii) Em 1930, em uma região predominantemente industrial na Bélgica, o Vale de Meuse, condições meteorológicas desfavoráveis impediram a dispersão de poluentes, provocando um aumento no número de doenças respiratórias, com registro de 60 (sessenta) mortes.

(iii) em 1948, um episódio semelhante ao ocorrido no Vale de Meuse, ocorrido na cidade de Donora nos Estados Unidos vitimou 20 (vinte) pessoas e mais de seis mil foram internadas com problemas respiratórios ocasionados por um episódio de inversão térmica que impediu a dispersão dos poluentes atmosféricos emitidos pelas indústrias da região.

(iv) em 1950, um lançamento de gás sulfídrico (H_2S) em uma refinaria de petróleo na cidade de Poza Rica no México, durante 25 minutos em condições meteorológicas adversas ocasionou a morte de 22 (Vinte e duas) pessoas e internação de 320 (trezentos e vinte) outras.

(v) em 1952, a alta concentração de material particulado, SO_2 , inversão térmica e *fog* durante cinco dias levaram a óbito cerca 4.000 (quatro mil) pessoas em Londres.

(vi) em 1976 na região de Santo André, na região do ABC Paulista, a presença de um anticiclone, com inversão térmica e ausência de vento e chuva, aliado a alta concentração de particulado e CO_2 por uma semana ocasionaram um grande número de hospitalizações por doenças respiratórias (MOREIRA, 2010, LIMA et al., 2012).

3.2. Poluição atmosférica

Segundo a Resolução CONAMA Nº 003/90 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 impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem-estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Hogan (2000) conceitua poluente atmosférico como tudo aquilo que torna o ar impuro, nocivo aos receptores. Ou seja, poluição corresponde às alterações das características físicas ou químicas do meio ambiente, de forma a torna-lo impróprio à relação de vida em comum dos seres que habitam determinada região.

A poluição atmosférica pode ter causas naturais ou antropogênicas direta ou indiretamente, resultando em efeitos prejudiciais que colocam em perigo a saúde humana, produzem danos aos recursos vivos, ecossistemas e bens materiais e põem em risco ou prejudicam os valores estéticos e demais formas legítimas de utilização do ambiente (WALLACE, 1977; RESENDE, 2007; BEELEN et al., 2008; HYSTAD et al., 2013).

A poluição atmosférica resulta da emissão de gases poluentes ou de partículas sólidas na atmosfera, provocando a degradação dos ecossistemas devido ao lançamento de inúmeras substâncias. Sua abrangência pode ser local ou atingir níveis regionais e até mesmo globais.

Assim, a poluição do ar pode ser definida como o resultado da alteração das características físicas, químicas ou biológicas normais da atmosfera, que possa causar danos ao ser humano, à fauna, à flora e aos materiais (ASSUNÇÃO; HASEGAWA, 2001).

3.3. Efeitos gerais da poluição do ar

Segundo Moreira (2010), a poluição atmosférica nos grandes centros urbanos tornou-se um problema de saúde pública. Outros problemas relacionados à poluição atmosférica além da saúde humana também preocupam e geram gastos financeiros, como por exemplo, a degradação da vegetação e de construções. Esses efeitos antes eram limitados às cidades, mas hoje se ampliaram para os espaços rurais.

A poluição do ar é um fator significativo na taxa de mortalidade humana em muitas cidades grandes. Os poluentes do ar podem afetar a saúde humana de diferentes formas. Os efeitos sobre um indivíduo dependem da dose ou concentração e de outros fatores, incluindo a suscetibilidade individual (REIS, 2010; EEFTENS, 2014). Alguns dos efeitos primários dos poluentes do ar incluem o envenenamento tóxico, câncer, defeitos congênitos, irritação dos olhos e irritação do sistema respiratório; maior suscetibilidade às infecções virais, causando pneumonia e bronquite; maior suscetibilidade à doença cardíaca; e agravamento das doenças crônicas, tais como asma e enfisema.

As pessoas que sofrem de doenças respiratórias são as mais propensas a serem afetadas pelos poluentes do ar (BOTKIN; KELLER, 2011, GONÇALVES Jr., 2014). As pessoas saudáveis tendem a se adaptar aos poluentes em um período de tempo relativamente curto. Entretanto, esta é uma tolerância fisiológica e isto não significa que os poluentes não sejam nocivos.

A poluição do ar é responsável, somente por efeito do material particulado fino em suspensão, por algo em torno de 3% das mortes mundiais causadas por doenças cardiopulmonares, 5% dos casos de câncer de pulmão e 3% dos óbitos de crianças até cinco anos de idade por infecções respiratórias. Isso corresponde a aproximadamente 800 mil mortes por ano (SALDIVA et al., 2010, WANG et al., 2013).

Estudos apontam uma forte ligação entre as doenças pulmonares e cardiovasculares oriundas da exposição crônica aos materiais particulados. Tais doenças variam de uma simples infecção a problemas mais sérios como câncer, aterosclerose e óbitos (SAINT-GEORGES et al., 2009; PASCAL et al., 2013).

Poluentes atmosféricos possuem efeitos sinérgicos, isto é os efeitos combinados são maiores do que a soma dos efeitos individuais, como quando acontece a interação entre sulfatos e nitratos ligados a pequenas partículas no ar, fato que propicia a sua inalação profunda no tecido pulmonar, esta combinação de poluentes potencializa os seus efeitos individuais (HINRICHS; KEINBACH, 2003, YUAN, 2014).

Os efeitos da poluição do ar sobre a vegetação são variados, provocando a desfiguração da paisagem, redução da fotossíntese, alteração no crescimento ou supressão do mesmo, danos do tecido foliar e aos frutos; maior suscetibilidade a várias doenças, pragas e condições meteorológicas adversas; além da interrupção dos processos reprodutivos (ABREU, 2005; MOREIRA, 2010, WANG et al., 2013).

Os efeitos dos poluentes do ar nos animais vertebrados, em geral, incluem o enfraquecimento do sistema respiratório; danos aos olhos, dentes e ossos; maior suscetibilidade a doenças e outros perigos ambientais relacionados ao estresse; a menor disponibilidade de fontes de alimentos (como a vegetação afetada pelos poluentes do ar) e a menor capacidade de reprodução.

Os solos e a água podem se tornar tóxicos pela deposição de vários poluentes. Os solos também podem ter os nutrientes lixiviados por poluentes que formam ácidos. Alguns dos efeitos da poluição do ar nas estruturas criadas pelo homem são a descoloração, a erosão e a decomposição dos materiais de construção.

O clima também pode ser afetado pela poluição atmosférica, sendo o efeito estufa e a redução da camada de ozônio suas principais causas. A concentração dos poluentes de uma determinada região deve-se em grande parte as condições meteorológicas locais. Portanto, para avaliar a dispersão de poluentes é imprescindível o conhecimento dos fenômenos que regem a atmosfera.

Situações meteorológicas distintas, mas com idênticas emissões de poluentes, poderão apresentar concentrações atmosféricas completamente diferentes, devido à influência das condições da atmosfera. A estabilidade atmosférica, a ocorrência de chuvas, a nebulosidade, a presença de nuvens convectivas, o regime dos ventos, a umidade do ar, a radiação solar, a temperatura ambiente, a altura da camada de mistura, são alguns fatores climáticos locais, que interferem no tempo de permanência dos poluentes na atmosfera. A circulação geral da atmosfera também interfere na dispersão, uma vez que a movimentação das grandes massas de ar afeta a circulação local (ALVIM, 2013).

3.4. Fontes de poluição do ar

Segundo Maia (2003) as diversas fontes de poluição podem ser enquadradas dentro da seguinte classificação: fontes estacionárias, fontes móveis e naturais. As fontes estacionárias são representadas por dois grandes grupos:

i) Atividades pouco representativas nas áreas urbanas, como as queimas de resíduos, as lavanderias e queima das mais diversas matrizes energéticas em estabelecimentos comerciais e outras atividades classificadas como fontes de poluição não industrial.

ii) Atividades individualmente significativas de acordo com a intensidade, variedade e tipologia do poluente emitido resultante dos processos industriais.

As fontes denominadas móveis são compostas pelos meios marítimo, aéreo e terrestre, em especial os veículos automotores, que pela intensidade de uso constituem-se em fontes de destaque em áreas urbanas. As fontes naturais são associadas aos processos de emissão naturais como a ocasionada por erupções vulcânicas, o “*spray*” marinho, a poeira cósmica e o arraste eólico, entre outros.

Braga (2002) definiu as principais fontes de poluição em duas, sendo denominadas fixas ou móveis. Dentre as fontes fixas estão definidas as fontes pontuais, que emitem poluentes a partir de um ou mais locais controláveis e de fácil mensuração e as fontes dispersíveis, que geram poluentes do ar a partir de áreas abertas expostas aos processos do vento, como as queimadas com finalidades agrícolas, as estradas, os canteiros de obras, terras cultiváveis, pilhas de armazenamento, minas de superfície e outras áreas expostas das quais os particulados possam ser removidos e dispersados pelo vento. As fontes móveis dos poluentes do ar se movem de um lugar para outro enquanto emitem poluentes. Entre elas, têm-se os automóveis, caminhões, ônibus, aviões, navios e trens, entre outros.

3.5. Principais poluentes atmosféricos

A OMS lista 6 “principais” poluentes do ar: monóxido de carbono (CO), chumbo (Pb), dióxido de nitrogênio (NO₂), partículas totais em suspensão (PTS), dióxido de enxofre (SO₂) e ozônio troposférico (O₃). A poluição do ar interior e exterior é responsável por cerca de 5% da carga global de doenças. O agravamento da poluição do ar é uma das causas de asma e muitas outras doenças respiratórias alérgicas (WHO, 1999; WHO, 2014).

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA ou US EPA) conforme a Lei de Ar Puro (*Clean Air Act*) reconheceu e avaliou aproximadamente 200 poluentes do ar. Os cinco poluentes mais comuns são chamados poluentes-padrão e são responsáveis pela maior parte dos nossos problemas de poluição do ar (BOTKIN, KELLER, 2011), conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Emissões de poluentes-padrão nos Estados Unidos.

Poluente	Milhões de toneladas/ano							
	1970	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2007
CO	200	178	170	144	120	102	89	81
NO _x	27	27	26	25	25	22	19	17
MP ₁₀	ND	6	4	3	3	2	2	2
MP _{2,5}	ND	ND	ND	2	2	2	1	1
SO ₂	32	26	23	23	19	16	15	13
Total	ND	267	250	220	191	161	141	129

Fonte: Adaptado de Botkin e Keller (2011). ND – não detectado.

Além dos poluentes de origem antrópica, a atmosfera também recebe poluentes de origem natural, decorrente de processos como:

- liberação de dióxido de enxofre das erupções vulcânicas.
- liberação de sulfeto de hidrogênio dos gêiseres e fontes termais e da decomposição biológica dos pântanos e brejos.
- liberação de ozônio na baixa atmosfera resultante das condições meteorológicas instáveis como as tempestades de raios.
- emissão de uma variedade de partículas dos incêndios florestais e vendavais.
- vazamento natural de hidrocarbonetos, por exemplo, de poços de piche.

Os poluentes do ar podem ser classificados como primários ou secundários. Poluentes primários são aqueles lançados diretamente no ar, neste grupo estão inclusos os particulados, o dióxido de enxofre, o monóxido de carbono, os óxidos de nitrogênio e os hidrocarbonetos (Tabela 2). Poluentes secundários são produzidos através de reações entre os poluentes primários e os compostos atmosféricos normais, como ocorre com o ozônio que é formado sobre as áreas urbanas através das reações dos poluentes primários, luz solar e gases atmosféricos naturais, sendo, portanto, um produto secundário (BOTKIN; KELLER, 2011).

Tabela 2 - Principais componentes naturais e sintéticos de poluentes atmosféricos.

Poluentes Atmosféricos	Emissões (% do total)		Principais fontes de componentes sintéticos
	Natural	Sintético	
Particulados	85	15	Fontes dispersíveis (poeira) Processos industriais
Dióxido de enxofre (SO ₂)	50	50	Queima de combustíveis (fontes fixas) Queima de combustíveis (fontes fixas, principalmente carvão) Processos industriais
Monóxido de Carbono (CO)	91	9	Transporte (automóveis)
Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	-	Quase todo	Transporte (automóveis) Queima de combustíveis (fontes fixas, principalmente gás natural e carvão)
Ozônio (O ₃)	Um poluente secundário derivado de processos fotoquímicos entre o NO ₂ e o oxigênio O ₂		Depende das reações na baixa atmosfera envolvendo hidrocarbonetos e os gases emitidos pelos automóveis

Fonte: Modificado de Botkin e Keller (2011).

3.6. Poluentes primários

Os poluentes primários são aqueles lançados diretamente no ar, neste grupo estão inclusos os materiais particulados, o dióxido de enxofre, o monóxido de carbono, os óxidos de nitrogênio e os hidrocarbonetos.

3.7. Material particulado

Segundo Baird (2002), material particulado constitui todas as partículas sólidas ou líquidas contidas no ar e pode ser classificado em material particulado total em suspensão (PTS) e materiais particulados MP₁₀ e MP_{2,5}. Particulado total em suspensão (PTS) são partículas com tamanho acima de 10 micrômetros e são conhecidas como "poeiras ou grãos sedimentáveis" e costumam ser depositadas próximas à sua fonte de emissão, normalmente indústrias. MP₁₀ são partículas respiráveis, com tamanho entre 10 e 2,5 micrômetros. O MP_{2,5} possui estrutura menor que 2,5 micrometros, sendo também denominadas de "fumo" ou "fumaça", com velocidade desprezível e que pode, portanto, ser inaladas, sendo assim mais relevantes na etiologia de problemas respiratórios.

O tempo de residência dos particulados na atmosfera varia desde alguns dias até semanas e, em alguns casos, horas (PAULIQUEVIS et al., 2007). Os mecanismos de remoção dos mesmos envolvem: *i*) a deposição seca, que corresponde à sedimentação gravitacional de material particulado e a adsorção em superfícies como solo, vegetação e edificações; e *ii*) a deposição úmida que corresponde à precipitação de gotas de água que incorporam partículas e gases (SINGH et al., 2011).

As relações do material particulado com o meio ambiente são bastante complexas, pois para descrever seu comportamento é necessário determinar sua concentração, tamanho, composição química e morfologia. As fontes de emissão de material particulado podem ser naturais ou geradas pela ação do homem. Entre as fontes naturais estão as erupções vulcânicas, ventos de solos desérticos, incêndios florestais, pólenes, aerossóis marinhos, entre outras. Como fontes antropogênicas destacam-se as atividades industriais, construções e demolições, queima de combustíveis fósseis, ressuspensão do solo, queimadas, etc.

As Partículas Totais em Suspensão (PTS) englobam as partículas presentes na atmosfera com tamanho entre 40-50 μm , sendo também um parâmetro importante utilizado em estudos de monitoramento da qualidade do ar (SEINFELD; PANDIS, 2006, ZHANG et al., 2013; CHEN et al., 2014).

A classificação do material particulado é feita pelo tamanho da partícula, que é expresso por seu diâmetro aerodinâmico. Os tamanhos se estendem de agrupamentos moleculares com nanômetros de diâmetro, menores do que 0,1 μm (partículas ultrafinas), às partículas finas, menores do que 2,5 μm de diâmetro ($\text{MP}_{2,5}$) e partículas grossas, de 2,5 a 10 μm (MP_{10}) (EPA, 2006). O MP_{10} é considerado a fração inalável das partículas por ser suficientemente pequeno para entrar nas vias aéreas, já o $\text{MP}_{2,5}$ pode se depositar nas vias aéreas inferiores e alvéolos (BAIRD, 2002; WHO, 2005), entrar na corrente sanguínea, ser levado a todos os órgãos e causar danos de forma sistêmica (PETERS et al., 2006, RETAMA, 2015).

Estas frações de material particulado diferem em sua contribuição para a massa total de partículas do ar, origem, características físicas e composição química (WHO, 2005). Por exemplo, a emissão veicular de partículas primárias é responsável pela liberação de 30% de $\text{MP}_{2,5}$. Outras emissões, também relacionadas com as vias de tráfego, como ressuspensão de poeira do asfalto e uso de freios pneumáticos, são as principais fontes de MP_{10} (WHO, 2005).

As partículas inaláveis e ultrafinas estão presentes em toda parte, e sabe-se que altas concentrações e/ou tipos específicos destas apresentam um grave perigo para a saúde humana (BRAGA et al., 2002, RETAMA, 2015).

Em termos gerais, o material particulado (MP) abrange uma grande quantidade de poluentes, que devido ao pequeno tamanho, encontram-se suspensos na atmosfera. O PTS, o MP₁₀ e o MP_{2,5} formam o material particulado conhecido na comunidade científica (COELHO, 2007; SGRIGNA et al., 2016).

O material particulado é de extrema importância entre os poluentes, devido à sua complexidade em termos de composição química e propriedades físicas. Sendo assim, um importante indicador da qualidade do ar, o qual tem sido associado a um grande número de problemas de saúde quando em alta concentração (ANDRADE et al., 2011).

As diferentes composições dos poluentes atmosféricos, doses e tempo de exposição, além do fato que os humanos estão usualmente expostos a uma mistura de diversos poluentes, podem levar a diversos impactos negativos na saúde (GONCALVES Jr., 2014). A exposição prolongada aos poluentes atmosféricos tem sido causa de diversas ocorrências de internações hospitalares, associadas aos efeitos diversos que esses poluentes podem causar à saúde. Múltiplos estudos epidemiológicos têm relacionado exposição às partículas atmosféricas com doenças respiratórias, cardiovasculares e câncer (POPE III; DOCKERY, 2006; ALMEIDA, 2011; ANDERSON et al., 2012; POLEDNIK, 2013, GONCALVES Jr., 2014).

Segundo Guanabara (2011) a agricultura acrescenta uma quantidade considerável de material particulado na atmosfera, assim como os vendavais nas áreas com pouca vegetação e as erupções vulcânicas. Quase todos os processos industriais, bem como a queima de combustíveis fósseis, liberam particulados na atmosfera. Grande parte do material particulado é facilmente visível como fumaça, fuligem ou poeira; enquanto outros materiais particulados não são facilmente visíveis.

Os particulados incluem as partículas de amianto transportadas pelo ar e as partículas pequenas de metais pesados, como arsênio, cobre, chumbo e zinco, que são emitidas normalmente pelas fundições, por exemplo.

Uma preocupação especial é dada as partículas muito finas com menos de 2,5 µm de diâmetro que podem causar as mais profundas crises pulmonares, onde se tem complicações com os alvéolos, uma vez que essas partículas podem ficar retidas no tecido pulmonar por anos, levando à bronquite crônica, enfisema e até às doenças cardíacas. Algumas das menores

partículas, aquelas com diâmetro de aproximadamente 0,1 μm , as chamadas de ultrafinas, são pequenas o bastante para se transferir pelo sangue e chegar aos alvéolos (AVIGO Jr., 2008).

Dentre os particulados finos mais significativos destacam-se os sulfatos e nitratos. Estes são, em sua maioria, poluentes secundários produzidos na atmosfera por meio de reações químicas que envolvem o NO_2 e o SO_2 . Essas reações são importantes na formação dos ácidos sulfúrico e nítrico presentes na chuva ácida (SALGADO, 2003; XU, 2014).

A EPA determinou o controle de partículas menores ou iguais a 10 μm (MP_{10}), também conhecidas como inaláveis, baseando-se no seu potencial danoso à saúde humana, pois as podem atingir as vias respiratórias inferiores. Este material particulado inalável apresenta uma característica importante que é a de transportar gases adsorvidos em sua superfície até as porções mais distais das vias aéreas, onde ocorrem as trocas de gases no pulmão (BRAGA, PEREIRA, SALDIVA; 2002).

A composição das partículas em suspensão é complexa e altamente variável, sendo diretamente dependente da natureza das fontes de emissão. Sua ação no aparelho respiratório acontece de acordo com a seguinte variação: partículas de 5 a 30 μm depositam-se no nariz, na boca, na faringe e na traqueia; as de 1 a 5 μm depositam-se na traqueia e nos brônquios e os particulados menores que 1 μm depositam-se por difusão nos pequenos bronquíolos e alvéolos (RIBEIRO; ASSUNÇÃO, 2002, SGRIGNA et al., 2016).

Em geral, as alterações decorrentes do material particulado estão vinculadas diretamente ao tipo do material, sua composição química, concentração e tempo de exposição, após o depósito de partículas nas vias respiratórias, ocorre uma resposta local e uma provável indução da inflamação sistêmica e outras respostas cardiovasculares (SALGADO, 2003).

Para Gilmour et al. (2001) uma das possíveis consequências dos danos causados pelos materiais particulados nas vias respiratórias é a diminuição da função respiratória, o que pode desencadear efeitos agudos e crônicos sobre o organismo.

3.8. Dióxido de enxofre (SO_2)

O dióxido de enxofre (SO_2) é um gás incolor e inodoro normalmente presente em baixas concentrações na superfície terrestre. Uma característica relevante do SO_2 é que, uma vez emitido na atmosfera, ele pode ser convertido através de reações de oxidação complexas em sulfato particulado fino (SO_4^{2-}), o qual pode ser removido da atmosfera pela deposição

úmida ou seca. Dióxido sulfúrico pode ainda ser oxidado a trióxido sulfúrico, com elevada afinidade pela água, formando ácido sulfúrico, componente da chuva ácida (BROOK et al., 2004). A principal fonte antropogênica do dióxido de enxofre é a queima de combustíveis fósseis. Outra fonte importante envolve processos industriais como o refino do petróleo e a produção de papel, cimento e alumínio.

3.9. Dióxido de nitrogênio (NO₂)

Os óxidos de nitrogênio (NO_x) ocorrem em muitas formas na atmosfera, sendo porém emitidos majoritariamente como óxido nítrico (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂). O mais importante dos dois é o NO₂, um gás entre o âmbar e o marrom-avermelhado que pode ser convertido por reações atmosféricas complexas em íon NO₃⁻ dentro de pequenas partículas de água, prejudicando a visibilidade. Tanto o NO quanto o NO₂ são contribuintes importantes para a formação do *smog* e o NO₂ é ainda um grande contribuinte da chuva ácida. Quase todo NO₂ é emitido de fontes antropogênicas. As principais fontes destes gases são os automóveis e usinas que queimam combustíveis fósseis.

Os efeitos ambientais dos óxidos de nitrogênio nos seres humanos são variados, incluindo: irritação nos olhos, nariz, garganta e pulmões e maior suscetibilidade a infecções virais, incluindo o *influenza*, que pode causar bronquite e pneumonia. Os óxidos de nitrogênio podem suprimir o crescimento das plantas. Entretanto, quando o nitrato é depositado no solo, ele pode promover o crescimento das plantas através da adubação nitrogenada (GETZ, 2005).

A origem do NO e NO₂ na atmosfera ocorre em decorrência de veículos automotores, planta geradoras de energia e outros produtos industriais de origem fóssil. As concentrações de NO₂ variam conforme a densidade de tráfego na região. As pessoas com problemas respiratórios são especialmente vulneráveis ao efeito agudo de exposição ao NO₂, entretanto pessoas saudáveis, não percebem as alterações pulmonares quando expostos a variação dos níveis de NO₂ (BROOK et al., 2004).

Além do óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂), trióxido de nitrogênio (N₂O₃), tetróxido de nitrogênio (N₂O₄) e pentóxido de nitrogênio (N₂O₅) e ácido nítrico gasoso (HNO₃), outros membros da família dos NO_x incluem: o ácido nitroso (HNO₂), o óxido nitroso (N₂O) e o peroxiacetil nitrato (PAN), responsável por alguns efeitos irritantes da fumaça fotoquímica. Algumas pesquisas toxicológicas e epidemiológicas têm sido focadas no NO₂,

sendo ele um dos padrões reguladores da poluição atmosférica no mundo todo (BROOK et al., 2004).

A típica formação de NO_x diuturna (início da manhã e final de tarde) é resultado de picos formados no horário de “*rush*” no tráfego de carros (CETESB, 2001). Queima de gás, em lugares não ventilados, como fumaças em geral e aquecedores são as principais fontes de NO_x em ambientes fechados. Em áreas urbanas, a infiltração de NO₂ de origem veicular pode também influenciar a exposição no ambiente fechado.

Em condições normais ambientais o acúmulo de O₃ (ozônio) é pequeno. Entretanto, alguns reativos de compostos orgânicos podem facilitar a oxidação de NO para NO₂ por mecanismos alternativos. Estas reações reduzem o NO “*scavenger*”, seguido do aumento de concentração do O₃ (BROOK et al., 2004).

3.10. Ozônio (O₃)

Os oxidantes fotoquímicos resultam das interações atmosféricas do óxido de nitrogênio e da luz solar. O oxidante fotoquímico mais comum é o ozônio (O₃), um gás incolor com odor ligeiramente doce. Além do ozônio, uma série de oxidantes fotoquímicos conhecidos como PANs (nitratos de peroxiacetilas) ocorrem com o *smog* fotoquímico (DANNI-OLIVEIRA, 2003).

O *smog* fotoquímico envolve reações entre os óxidos de nitrogênio (NO_x = NO + NO₂) e compostos orgânicos voláteis (COV, o total de compostos orgânicos menos metano) na presença de luz, produzindo assim ozônio (ALVIM, 2013). Na estratosfera o ozônio absorve uma quantidade importante da radiação ultravioleta, sendo assim importante para a manutenção da vida no planeta. Entretanto na troposfera, o O₃ tem efeitos nocivos à saúde, pois é altamente reativo e oxidante, causando danos nos seres vivos (JACOBSON, 2006).

O ozônio é um poluente secundário, resultante de reações fotoquímicas de poluentes com a radiação solar, quando próximo à superfície da Terra. Sua ação sobre o pulmão ocorre nas células das porções mais distais das vias aéreas (BAIRD, 2002). Gases emitidos em área urbana incluem NO_x, COV, CO e óxidos de enxofre (SO_x = SO₂ + SO₃), dos quais, NO_x, COVs e CO são os principais precursores de ozônio (ALVIM, 2013).

O ozônio é ainda um potente oxidante, é citotóxico, e é capaz de atingir as porções mais distais das vias aéreas (BRAGA, PEREIRA, SALDIVA; 2002).

O O_3 em contato com o aparelho respiratório age principalmente sobre as mitocôndrias, os microssomos e os sistemas enzimáticos (PARK; KIM; LEE, 2009). No pulmão, esta ação primária desencadeia também uma ação de oxidação de forma secundária sobre os macrófagos alveolares, as células epiteliais, as células endoteliais e as células inflamatórias, tais como neutrófilos, eosinófilos, monócitos e linfócitos (RAJENDRASOZHAN et al., 2008).

O ciclo do ozônio troposférico, sendo este um poluente secundário, é influenciado pelas diferentes taxas de emissão de precursores durante o dia (MARTINS, 2006). O problema é que muitas vezes o ozônio na superfície é regido por fatores de emissão locais e regionais, tais como mecanismos de transporte (LI et al., 2007; WANG et al., 2006; GENG et al., 2011) ou até mesmo por transporte intercontinental de longa distância (LI et al., 2002; SUDO; AKIMOTO, 2007, PFISTER et al., 2013). Langaro e Souza (2012) observaram que à baixa umidade do ar a concentração de ozônio é maior, pois a umidade no ar absorve a radiação UV-B que chega à troposfera, tornando-se “concorrente” dos óxidos de nitrogênio, compostos primários precursores do ozônio.

A concentração de ozônio apresenta uma variabilidade diária, ou seja, os valores da concentração podem variar muito de um dia para o outro. Em dias chuvosos ou nublados ocorre uma menor produção de ozônio, por outro lado sob uma maior incidência solar a produção de ozônio aumenta. Parâmetros meteorológicos como a precipitação pluviométrica, a direção e velocidade dos ventos também interferem (PAVÃO et al., 2006).

3.11. Metais

Muitos metais estão presentes na atmosfera fruto de ações antrópicas, principalmente decorrentes do uso veicular e de indústrias. Compostos metálicos são comumente encontrados em associação ao material particulado. Metais traços também são verificados na forma de óxidos comuns, conforme a Tabela 3 (SEINFELD; PANDIS, 2006).

Tabela 3 - Metais traços e suas formas óxidas encontradas no ambiente.

Elemento	Forma óxida
Al	Al ₂ O ₃ - Óxido de alumínio
Ca	CaO - Óxido de cálcio
Fe	Fe ₂ O ₃ - Óxido de ferro III
Si	SiO ₂ - Óxido de silício
Mg	MgO - Óxido de magnésio
Pb	PbO - Óxido de chumbo II
Na	Na ₂ O - Óxido de sódio
K	K ₂ O - Óxido de potássio

Fonte: Adaptado de Seinfeld e Pandis (2006).

Os metais são perigosos, acumulando-se no ambiente e exercendo sua toxicidade. Em geral são elementos densos depositando-se em solos e sedimento. As concentrações de metais pesados aumentam à medida que o tamanho das partículas diminui. Também podem ser transportados por vias aéreas, muitas vezes adsorvidos no material particulado (BAIRD; CANN, 2011).

Diversos metais podem ser encontrados na atmosfera, tais como: ferro (Fe), cálcio (Ca), cromo (Cr), potássio (K), manganês (Mn), chumbo (Pb), sódio (Na), cobre (Cu), mercúrio (Hg), alumínio (Al), zinco (Zn), cádmio (Cd), níquel (Ni), silício (Si), entre outros (FLAGRAN; SEINFELD, 1988, SINGH et al., 2011, CHEN et al., 2013; SOLTANI et al., 2015). Muitos deles têm recebido preocupação especial devido aos seus efeitos na saúde humana e para o ambiente: As, Se, V, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni e Zn. Tais elementos estão presentes em várias formas no ambiente, principalmente as orgânicas, que podem prontamente ser absorvidas pela biota e se acumularem na cadeia alimentar, tornando-se um risco à saúde (DORE et al., 2014).

Os metais, como elementos livres condensados, não são propriamente tóxicos, sendo perigosos quando nas formas catiônicas e ligados a curtas cadeias de átomos de carbono. Em geral, formam complexos com vários ligantes, influenciando funções biológicas, podendo afetar o desenvolvimento e funcionamento de muitos tecidos no organismo (MAGALHÃES, 2005). O chumbo (Pb), por exemplo, é tóxico e gera efeitos agudos e crônicos na saúde humana, causando danos neurológicos, cardiovascular, renal, gastrointestinal, hematológico e reprodutivo. O cádmio (Cd) causa danos nos rins e ossos, além de ser cancerígeno por inalação.

O mercúrio (Hg) pode danificar o fígado, os rins e o sistema digestivo e respiratório, além de danos neurológicos (DORE et al., 2014).

Particularmente na combustão automotiva, além dos metais, são liberados gases como o monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), material particulado, compostos orgânicos como benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEx), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), aldeídos, cetonas, etc. (CARVALHO Jr.; LACAVA, 2003; AMORIM, 2004; CHANG et al., 2012,)

3.12. Padrões de qualidade do ar

Segundo Lima et al. (2012) a qualidade do ar de uma região é influenciada pelos níveis de poluição atmosférica, os quais estão vinculados a um complexo sistema de fontes emissoras. A intensidade do lançamento dessas emissões, transporte, diluição na atmosfera e capacidade suporte da bacia atmosférica, determinam o status da qualidade do ar.

A legislação brasileira trata de forma ampla a problemática da poluição atmosférica, abordando desde padrões de qualidade do ar e padrões de emissão veiculares e industriais, até processos de licenciamento e implantação de fontes estacionárias de emissão atmosférica.

A Lei Federal n.º 6.938/1981 define as regras gerais para políticas ambientais, para o sistema de licenciamento e cria o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, que tem a responsabilidade de estabelecer os padrões e métodos ambientais (BRASIL, 1981).

A Resolução CONAMA Nº 01 de 23/01/86 exige que, na implantação de Distritos Industriais seja elaborado o Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental, de forma a avaliar os riscos decorrentes da implantação de empreendimentos potencialmente poluidores e as formas de minimizar ou compensar os danos ao meio ambiente e comunidades circunvizinhas (BRASIL, 1986).

A legislação Brasileira de qualidade do ar possui padrões próximos aos definidos nos índices estabelecidos pela EPA e NAAQS (National Ambient Air Quality Standards). Estes padrões estabelecem os níveis máximos permitidos para diversos poluentes atmosféricos, estando a máxima concentração do poluente especificada em função de um período de médio de tempo (BRAGA et al., 2005).

Os padrões de qualidade do ar brasileiros foram estabelecidos pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e aprovados pelo CONAMA através da Resolução N° 003 de 28 de junho de 1990 (BRASIL, 1990), sendo estabelecidos dois tipos de padrões de qualidade do ar, conforme descrito a seguir:

- Padrões Primários são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população.
- Padrões Secundários são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

A Resolução CONAMA N° 03/90 também estabelece os métodos de amostragem e análise para diversos poluentes, valores medidos em concentração e padrões nacionais de qualidade do ar para: partículas totais em suspensão (PTS), fumaça, partículas inaláveis (MP₁₀), NO₂, SO₂, CO e O₃ (Tabela 4).

Tabela 4 – Padrões de qualidade do ar no Brasil segundo a Resolução CONAMA 03/90.

Poluente	Tempo médio de amostragem	Padrão primário	Padrão secundário
PTS (µg/m ³)	24 horas	240	150
	Anual (MGA [*])	80	60
Fumaça (µg/m ³)	24h	150	100
	Anual	60	40
Partículas inaláveis MP ₁₀ (µg/m ³)	24h	150	150
	Anual	50	50
SO ₂ (µg/m ³)	24h	365	100
	Anual	80	40
CO (µg/m ³ -ppm)	1h	40.000-35	40.000-35
	8h	10.000-9	10.000-9
O ₃ (µg/m ³)	1h	160	160
NO ₂ (µg/m ³)	1h	320	190
	Anual	100	100

Observação: para PTS, fumaça, partículas inaláveis e SO₂ os padrões primários e secundários relativos às médias de 24 horas podem ser ultrapassados apenas uma vez ao ano. Os padrões primários e secundários do CO de 8 horas e de 1 hora e do ozônio também não podem ser ultrapassados mais de uma vez ao ano. Não há permissão de ultrapassagem para o NO₂. *MGA – Média Geométrica Anual.

Fonte: Adaptado de Santana et al. (2012) e LIMA et al. (2012).

3.13. Índice de qualidade do ar

O efeito da poluição atmosférica sobre a saúde é estimado através do Índice de Qualidade do Ar (IQA) onde a concentração do poluente está relacionada com um valor adimensional do índice que, por sua vez, pode ser associado à uma escala de cores em função dos possíveis efeitos esperados na população. Desta forma, conhecendo a concentração de poluentes, o ar analisado pode ser classificado como de qualidade: boa, regular, inadequada, má e péssima. No Brasil merece destaque as classificações de qualidade do ar estabelecidas pelo CONAMA e pela CETESB paulista, que inclusive adota padrões mais restritivos de ocorrência dos poluentes atmosféricos (Tabela 5).

Tabela 5 – Faixas de concentrações dos poluentes para cálculo do IQA.

Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m ³) 24h	MP _{2,5} (µg/m ³) 24h	O ₃ (µg/m ³) 8h	CO (µg/m ³) 8h	NO ₂ (µg/m ³) 1h	SO ₂ (µg/m ³) 24h
N1 – Boa	0 – 40	0 – 50	0 – 25	0 – 100	0 – 9	0 – 200	0 – 20
N2 – Moderada	41 – 80	>50 – 100	>25 – 50	>100 – 130	>9 – 11	>200 – 240	>20 – 40
N3 – Ruim	81 – 120	>100 – 150	>50 – 75	>130 – 160	>11 – 13	>240 – 320	>40 – 365
N4 – Muito Ruim	121 – 200	>150 – 250	>75 – 125	>160 – 200	>13 – 15	>320 – 1130	>365 – 800
N5 – Péssima	>200	>250	>125	>200	>15	>1130	>800

Fonte: Adaptado de CETESB (2015).

Qualidade	Índice	PTS – 24 h (µg/m ³)	Fumaça 24 h (µg/m ³)
N1 – Boa	0 – 50	0 – 80	0 – 60
N2 – Regular	51 – 100	>80 – 240	>60 – 150
N3 – Inadequada	101 – 199	>240 – 375	>150 – 250
N4 – Má	200 – 299	>375 – 625	>250 – 420
N5 – Péssima	>300	>625	>420

Fonte: Adaptado de São Paulo (2012).

3.14. Poluição atmosférica em áreas industrializadas e urbanas

As indústrias contribuem para a liberação de vários tipos de poluentes para o ambiente. Muitos países enfrentam problemas relacionados à poluição industrial causada por substâncias orgânicas, dióxido de enxofre, material particulado, entre outros (TSAI, 2015).

Nos países desenvolvidos, no início do século XX, as emissões de poluentes para o ar foram consideráveis nos locais de produção e grandes volumes de resíduos muitas vezes eram lançados nas imediações das fábricas. Um exemplo clássico é dos distritos industriais no norte da Inglaterra, onde a precipitação de fuligem formou um revestimento escuro sobre toda a paisagem. Na Alemanha, quantidades indesejáveis de precipitação de poeira da indústria do aço, bem como grandes quantidades de efluentes de esgoto transformou o rio Ruhr em um esgoto industrial. Nos Estados Unidos e no Japão, situações semelhantes ocorreram (SUNDSETH, 2015).

Carvalho et al. (2015) concluíram através de estudo em áreas industriais do estado de São Paulo realizada bianualmente no período de 1980 à 2010, uma diminuição anual para todos os poluentes estudados, exceto para o ozônio. A redução das emissões de SO₂, NO_x e MP foram principalmente devido à Programa Brasileiro de Controle de Emissão Veicular, responsável por uma diminuição de 90% e 80 % nas emissões por veículos ligeiros e os pesados, respectivamente. A redução significativa da concentração de SO₂, explica-se por uma diminuição no teor de enxofre, utilizado em combustíveis para veículos e industriais.

Em cidades do centro do estado de São Paulo, como São Carlos, Ribeirão Preto, Piracicaba, entre outras, onde a economia é dependente de atividades industriais os poluentes NO_x, CO₂, metano, carbono orgânico volátil além de material particulado, podem ser transportados às cidades, atingindo a população (BOWER *et al.*, 1994, VÁLIO, 2015).

Dentro de Cubatão, um grande complexo industrial, 111 fábricas representam mais de 300 fontes de poluição para o ar, a água e o solo. Apesar da implementação da política de controle de emissões atmosféricas durante os últimos 30 anos, estas fontes foram responsáveis pela liberação de $8,96 \times 10^6$ kg de NO_x e $15,5 \times 10^6$ kg de SO₂ na atmosfera em 2009 (CETESB, 2010).

A poluição do ar tem sido colocada como um dos dez principais riscos de saúde enfrentados pelos seres humanos a nível mundial. Delhi, na Índia é uma das cidades mais poluída do mundo, o que resulta em milhares de mortes por ano, possui índices de poluição causada por partículas finas dez vezes maiores do que a de Chennai, também na Índia, que tem dez vezes mais carros. Entretanto Delhi é cercada por áreas industriais que carregam o ar poluído para o centro da cidade favorecido pelas condições de vento, enquanto Chennai sendo uma cidade litorânea apresenta diminuição da concentração dos poluentes atmosféricos devido a ação dos ventos provenientes do mar (KUMAR, 2015).

Com a rápida industrialização da China desde a abertura em 1978, a qualidade de ar tem deteriorado a níveis alarmantes (LAWSON, 2014). Frequentes episódios de neblina e nevoeiro regionais provocados por partículas de finas ocasionaram um aumento de 36 % dos casos de câncer de pulmão para concentrações acima de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (XUE et al., 2014).

Os problemas ambientais na China forçaram o governo central a alterar o modelo de desenvolvimento económico que exercia a industrialização rápida a um custo de deterioração do ambiente urbano. A qualidade do ar ambiente foi regulada na China desde 1982, quando os limites iniciais foram estabelecidos para TSP (partículas totais em suspensão), SO_2 , NO_2 , chumbo e BAP (benzo[a]pireno). Em 2000, o padrão foi atualizado com limites menos rigorosos para incentivar a industrialização do país, porém com o aumento das concentrações de poluentes atmosféricos em fevereiro de 2012, lançou-se um novo padrão de qualidade do ar ambiente denominado GB 3095-2012, que define pela primeira vez limites de $\text{MP}_{2,5}$ que entraram em vigor em todo o país em 2016 (ZHANG et al., 2013).

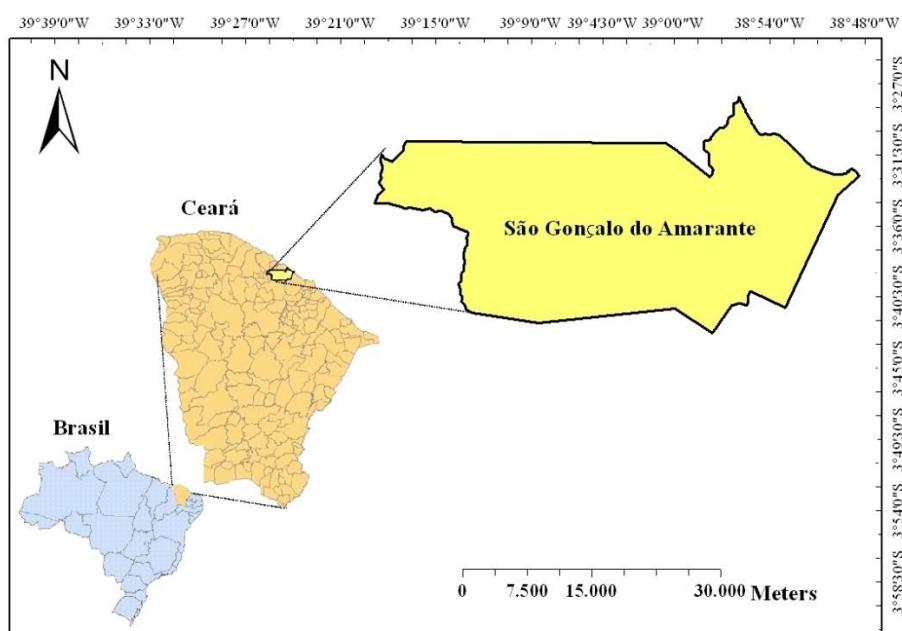
Zeng et al. (2016) realizaram estudo comparativo entre 2 regiões da China, Guiyu, na área industrial, e Haojing, sem influência industrial, quanto ao teor de particulados e metais e seus possíveis impactos na saúde humana. Os autores verificaram que o material particulado proveniente ($54,55 \mu\text{g}/\text{m}^3$) da zona industrial apresentou concentrações (médias) dos metais: Pb ($152,96 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Cd ($5,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Cr ($6,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e Mn ($22,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Na área urbana em $36,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$; os valores foram de: $80,28 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $3,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $7,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $23,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área em estudo

A cidade de São Gonçalo do Amarante localiza-se na Latitude: 3° 36' 26" e Longitude: 38° 58' 06. Anteriormente denominada de Anacetaba (que se traduz como Aldeia dos Anacé, povo indígena que habita o município) é um município brasileiro do estado do Ceará e pertencente à Região metropolitana de Fortaleza. São Gonçalo do Amarante está localizado a cerca de 60 quilômetros de distância da capital cearense, limitando-se com as cidades de Caucaia, Pentecoste, São Luiz do Curu, Trairi, Paraipaba, Paracuru e com o Oceano Atlântico (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização do município de São Gonçalo do Amarante.



Fonte: Autor (2016).

O clima do Município é classificado como Tropical Quente Semiárido Brando, com chuvas de janeiro a maio. Segundo os dados disponibilizados pelo IPECE (2013) as condições climáticas de São Gonçalo do Amarante são definidas por temperaturas entre 19 °C (média das mínimas) e 29 °C (média das máximas) e uma precipitação de chuvas em torno de 1100 mm anuais.

O relevo de São Gonçalo do Amarante é muito suave, com poucas elevações, tratando-se de uma planície litorânea e glaciais pré-litorâneos dissecados em interflúvios tabulares (CEARÁ, 2007). A região compreende no embasamento cristalino, migmatitos e rochas ígneas de naturezas diversas, e a cobertura sedimentar cenozoica representada pelos sedimentos terciários e recentes.

O município de São Gonçalo do Amarante possui em seu território 47% da área do Complexo Industrial do Pecém, o qual foi projetado tecnicamente para abrigar um conjunto de indústrias do tipo: Siderúrgica, Termelétrica, Refinaria entre outras, compreendendo uma área de 13.000 ha. Essas indústrias utilizam diversas matrizes energéticas e processos de combustão que emitem gases e partículas na bacia área local. O termo bacia aérea utilizado no presente estudo, se refere ao volume de ar limitado pelos limites geográficos e meteorológicos dentro dos quais as atividades industriais ou não deverão emitir as cargas poluentes.

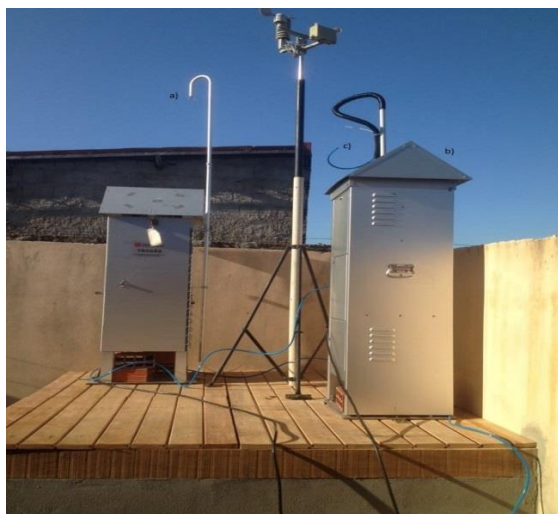
O Complexo Industrial do Pecém (CIP) juntamente com o Complexo Portuário do Pecém, formam o Complexo Industrial e Portuário do Pecém - CIPP, um empreendimento do Governo do Estado do Ceará que remonta à década de 1990, quando da sua inserção nos programas Brasil em Ação e Avança Brasil, do Governo Federal.

O Complexo Portuário do Pecém foi inaugurado em 2002, após a liberação de sua Licença de Operação pelo IBAMA, operando desde então. Já o Complexo Industrial do Pecém aguarda a liberação da Licença de Operação que será emitida pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA.

4.2 Procedimentos de amostragem

As amostragens foram realizadas segundo a legislação brasileira vigente tomando como diretriz a Resolução CONAMA 003/1990. O monitoramento foi executado em um período de três meses, entre outubro e dezembro de 2015. As coletas, (15) quinze em sua totalidade, apresentaram duração de 24 horas com frequência de seis dias entre elas. Dessa forma o dia de coleta varia obrigatoriamente a cada semana, contemplando todos os dias, tornando as amostragens mais representativas (EPA, 1987). Os equipamentos foram dispostos considerando as recomendações das distâncias mínima e máxima entre cada um deles, de forma a evitar interferências entre os mesmos (LIMA, 2015).

Figura 2 - Imagem da estação de monitoramento no município de São Gonçalo do Amarante, onde a) Trigás, b) HIVOL PTS e c) Coletor de O₃.



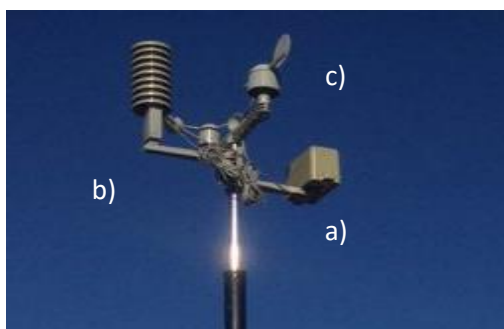
Fonte: Autor (2016).

4.3. Procedimentos de análise e coleta

4.3.1. Parâmetros meteorológicos

A aquisição dos parâmetros meteorológicos de temperatura, umidade relativa, precipitação, pressão, velocidade e direção do vento foi realizada simultaneamente utilizando uma estação meteorológica da marca Instrutemp modelo ITWH1080. Comparativamente, sensores de precipitação, velocidade e direção do vento foram acoplados aos Hivol para aquisição desses parâmetros (Figura 3).

Figura 3 - Sensores para aquisição de dados meteorológicos na Estação Instrutemp: a) sensor de pluviosidade, b) sensor de velocidade do vento e c) sensor de direção do vento.



Fonte: Autor (2016).

Os parâmetros meteorológicos são importantes para verificar a dinâmica dos poluentes analisados no ambiente, considerando os fatores que influenciam suas concentrações, distribuição, difusão, dispersão, remoção, reações, bem como conhecer o comportamento climático e efeitos da sazonalidade da região estudada (VIEIRA, 2009).

4.3.2. Particulado Total em Suspensão (PTS)

Para a análise dos materiais particulados tipo PTS foi utilizado um amostrador de grande volume (Hivol HVS 3000) da Ecotech (Figura 4). A seleção das partículas a serem analisadas foi feita por um equipamento que possui um *inlet* (cabeça). Foram usados filtros de fibra de vidro da marca Sartorius Stedim com dimensões de 203 mm de largura e 254 mm de comprimento e 52 g/m² de gramatura para a retenção das partículas.

Figura 4 - Imagem do amostrador Hivol com *inlet* para PTS utilizado na pesquisa.



Fonte: Autor (2016).

Experimentalmente foi utilizada uma vazão constante de 64 m³/h visto que o equipamento possui sensores de temperatura e pressão ambiente que, automaticamente, mantem a taxa de fluxo. O controle de fluxo automático permite que o equipamento funcione no fluxo correto independente da carga do filtro, conforme as NBR 13412/1995 e NBR 9547/1997.

Para determinação das concentrações de PTS foram realizadas análises gravimétricas, conforme as NBR 13412/1995 e NBR 9547/1997 (ABNT, 1995, 1997).

As concentrações do particulado PTS foram calculadas levando em consideração a razão entre a massa de material particulado coletado e o volume amostrado, conforme a Equação 1:

$$C_{PM} (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{m_f - m_i}{V} \times 10^6 \quad (1)$$

Onde: C_{PM} é a concentração do material particulado em $\mu\text{g}/\text{m}^3$; m_f é a massa final do filtro (g); m_i é a massa inicial do filtro (g); V é o volume amostrado (m^3) e 10^6 é o fator de conversão de gramas para microgramas.

4.3.3. SO_2 e NO_2

Para as análise de SO_2 e NO_2 utilizou-se um amostrador de pequeno volume designado Trigás[®] da empresa Energética para análise de dois gases inorgânicos: (Figura 5). Os gases foram analisados conforme metodologias padronizadas, considerando a Resolução CONAMA 003/1990. O SO_2 foi determinado segundo o método da pararrosanilina de acordo com US-EPA EQS-0775-002/1975 (EPA, 1975) e NBR 9546/1986 (ABNT, 1986) e o NO_2 foi determinado com base no método do arsenito de sódio conforme US-EPA – N° EQN-1277-026 (EPA, 1977).

Figura 5 - Imagens do equipamento Trigás com detalhamento dos frascos amostradores.



Fonte: Autor (2016).

4.3.4. Ozônio

Para a determinação de O_3 foi utilizado um analisador de Ozônio Modelo 202 da 2B Technologies (Figura 6). A faixa de detecção observada é de 1,5 ppb a 250 ppm.

Figura 6 – Monitor de ozônio utilizado na pesquisa para as determinações do O_3 troposférico.



Fonte: Adaptado pelo Autor (2016) a partir do site do fabricante.

4.3.5. Metais (Fe, Cu, Pb e Ni)

Para a análise dos metais foi efetuada a digestão via micro-ondas do material particulado (PTS) usando um forno digestor micro-ondas Milestone (método HPR-GE-72). Os metais ferro (Fe), cobre (Cu), níquel (Ni) e chumbo (Pb) foram analisados em um espectrofotômetro de absorção atômica iCE 3300 da Thermo Corp. As concentrações foram determinadas a partir das respectivas curvas de calibração de cada metal usando padrões analíticos Quimis® dos mesmos. As condições absorciométricas utilizadas estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Condições analíticas usadas nas determinações dos metais pesados associados ao material particulado total (PTS).

Metal	Corrente da lâmpada (mA)	Chama	Comprimento de onda (nm)	Limite de detecção ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
Fe	7,0	Ar-C ₂ H ₂	248,3	0,050
Cu	3,0		324,7	0,025
Ni	5,0		232,0	0,080
Pb	5,0		217,0	0,060

Fonte: Autor (2016).

4.3.6 Compilação e análise dos dados coletados

Os resultados obtidos foram analisados e os valores comparados com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 003/1990 e Decreto Estadual Nº 59.113/2013 de São Paulo, visando estabelecer o índice de qualidade do ar na área estudada, conforme a CETESB. Os parâmetros também foram comparados com os padrões preconizados pela EPA e Comunidade Europeia (EC), bem como com resultados obtidos em outros estudos realizados no Brasil e no mundo. Parâmetros estatísticos (médias, desvios, coeficientes de correlação) foram determinados para verificar a qualidade dos dados obtidos, relacionando-os entre si ou com os parâmetros meteorológicos e eventos ocorridos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Variáveis meteorológicas

O monitoramento compreendeu o período de 05 de outubro (1ª coleta) a 29 de dezembro de 2015 (última coleta), totalizando 15 campanhas. As variáveis meteorológicas: temperatura média, umidade relativa, velocidade média dos ventos e precipitação pluviométrica foram medidas e os valores obtidos estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Variáveis meteorológicas observadas na área em estudo no município de São Gonçalo do Amarante durante o período de outubro a dezembro de 2015.

Coletas	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)	Ventos (m/s)	Precipitação pluviométrica (mm)
1	28	74	3,4	0,0
2	29	67	4,7	0,0
3	29	72	3,3	0,0
4	28	72	3,9	0,0
5	28	72	3,9	0,0
6	29	70	3,3	0,0
7	28	72	4,1	0,0
8	29	73	4,0	0,0
9	29	74	3,3	0,0
10	29	72	2,9	0,0
11	29	71	2,7	0,0
12	29	72	3,6	0,0
13	29	80	2,9	0,0
14	29	72	3,6	0,0
15	28	76	1,9	0,0
<i>Média</i>	29	72,5	3,5	0,0
<i>Desvio Padrão</i>	0,44	2,81	0,68	—
<i>Coef. de Variação</i>	1,52	3,90	19,6	—
<i>Mínimo</i>	28	67	1,92	—
<i>Máximo</i>	29	80	4,71	—

— Não Calculado. Fonte: Autor (2016).

A temperatura média diária durante o monitoramento apresentou baixa amplitude, variando entre 28 e 29 °C (média de 29 °C) durante o período de amostragem. Diferentemente, as variações diárias foram elevadas, podendo atingir diferenças de até 10 °C quando se compara os períodos da tarde e da madrugada.

A umidade relativa registrada variou entre 67% e 80%, sendo observado um incremento nas últimas coletas. O período estudado foi caracterizado ainda pela ausência de chuvas (precipitação pluviométrica nula). Particularmente a umidade relativa do ar influencia na dispersão dos PTS. A umidade promove a aglomeração das partículas, fazendo com que aumentem de diâmetro e densidade, devido aos processos de coalescência, sedimentando com mais facilidade e diminuindo o tempo de residência dessas na atmosfera (AMORIM, 2004).

As variáveis meteorológicas são ainda importantes parâmetros para o estudo da dinâmica e dispersão dos poluentes atmosféricos. A temperatura pode influenciar nas concentrações de poluentes atmosféricos pela ascensão do ar mais quente por ser mais leve, favorecendo a dispersão dos poluentes. Situação contrária se tem no fenômeno de inversão térmica, mantendo os poluentes próximos à superfície (SZWARCFITER, 2004).

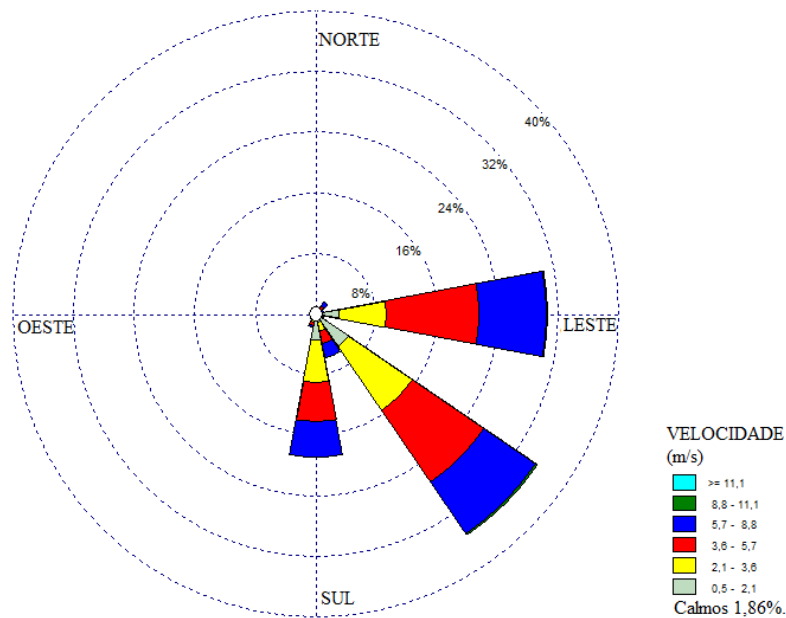
A precipitação é um dos principais eventos de retirada dos poluentes existentes no ar, através dos processos de deposição úmida, carreando-os para os solos e corpos hídricos (SHUKLA et al., 2008; NARESH; SUNDAR; SHUKLA, 2006). Além disso, alguns compostos podem reagir com gotas de água existentes na atmosfera, gerando poluentes secundários (VIEIRA, 2009).

A velocidade dos ventos é a principal responsável pela dispersão das partículas e poluentes presentes na atmosfera. Para caracterização do perfil de ventos que predominam na área de estudo foi construída a rosa dos ventos para cada mês de amostragem (Figura 7). A frequência dos ventos e suas respectivas classes estão apresentadas na Figura 8.

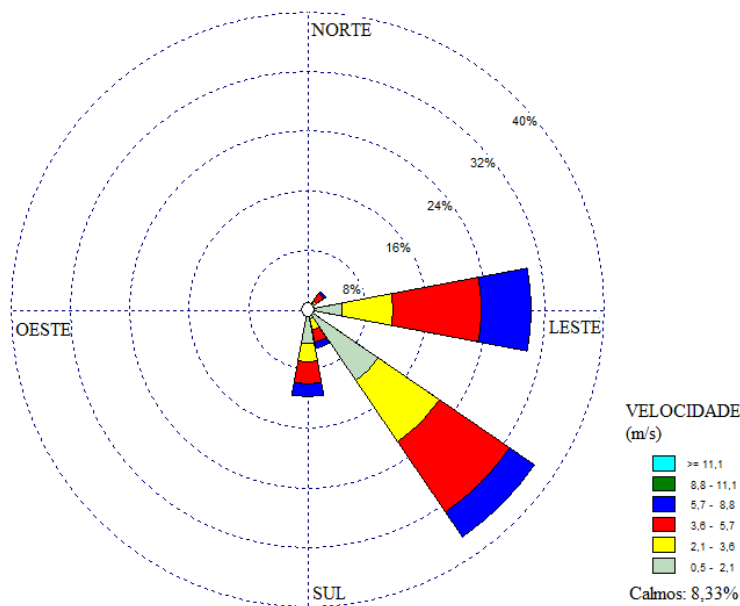
Segundo Chu (1995) ventos fracos, mas constantes, como os observados neste estudo são fatores importantes no transporte, mistura e acúmulo de poluentes na atmosfera. Os ventos são responsáveis pelo carregamento dos compostos existentes no ar para outras regiões, assim, estes podem ser transportados a longas distâncias, e o aumento da velocidade dos ventos tende a promover maior dispersão de gases e partículas (MORAES, 2004).

Figura 7 - Rosa dos ventos na área em estudo no município de São Gonçalo do Amarante durante o período de monitoramento.

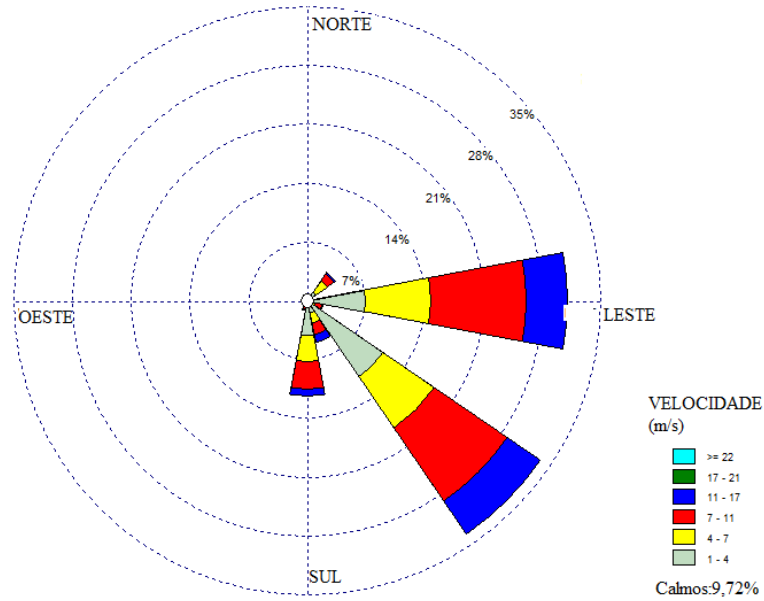
a) outubro de 2015



b) novembro de 2015.



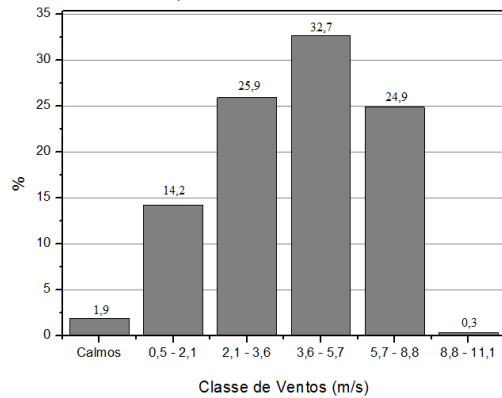
c) dezembro de 2015.



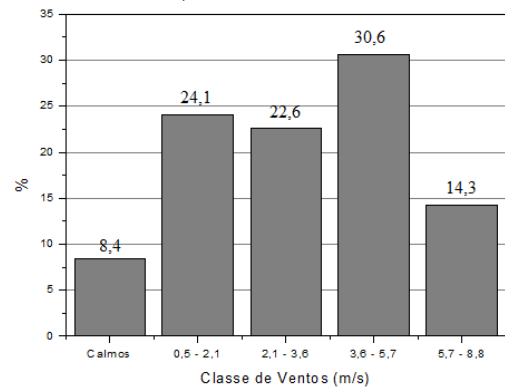
Fonte: Autor (2016).

Figura 8 – Frequencia dos ventos na área em estudo no município de São Gonçalo do Amarante durante o período de monitoramento.

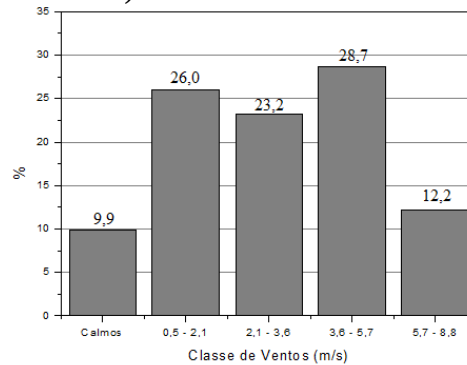
a) outubro de 2015



b) novembro 2015



c) dezembro de 2015



Fonte: Autor (2016).

A análise das rosas dos ventos no período estudado mostra uma maior frequência dos ventos nos setores leste e sudeste, havendo também predominância na direção sul nos meses de outubro, novembro e dezembro, totalizando 66 % dos ventos nos meses de outubro e novembro e 68% dos ventos no mês de dezembro. Tal característica reflete o perfil do comportamento das massas de ar no litoral cearense, onde predominam os ventos de nordeste, sudeste e, sobretudo, leste, tal como foi verificado nos estudos de Lima (2015), Azevedo (2014), Leite e Frota (2010) e Silva et al. (2010). Segundo Leite e Frota (2010) a influência das edificações na intensidade e direção dos ventos, pode ocasionar alterações dependendo de suas presenças e alturas em cada região.

Considerando a frequência de distribuição dos ventos em função das velocidades, foi observada uma variação na faixa entre 0,5 m/s e 5,7 m/s, correspondendo a 76,3% de todo o período analisado, destacando-se as faixas entre 2,1 m/s a 3,6 m/s e 3,6 m/s a 5,7 m/s, com ocorrência de 23,8% e 30,6%, respectivamente, para uma velocidade média de 3,5 m/s. As velocidades dos ventos observadas embora baixas são relativamente mais elevadas quando comparadas a outras regiões.

Estudos de Xu et al. (2015) mostraram velocidades abaixo dos 3 m/s na área urbana de Shanghai, China. Torres (2005) em Juiz de Fora/MG verificaram ventos com velocidades máximas de 2,5 m/s. Jones, Harrison e Baker (2010) analisaram na Inglaterra a influência dos ventos sobre a concentração de poluentes e constataram a diminuição dos teores de material particulado, NO_x , SO_4^{2-} e NO_3^- com o aumento da intensidade destes. Os valores analisados no referido estudo situaram-se entre 0,5 e 10 m/s e verificou-se que a maior parte dos poluentes sofre redução de suas concentrações para velocidades acima de 2,5 m/s.

5.2. Monitoramento dos poluentes

As concentrações dos poluentes PTS , SO_2 e NO_2 encontradas na área em estudo estão dispostas na Tabela 8, considerado o número de coletas, a média amostral ($\bar{x}$), o desvio padrão (DP), o coeficiente de variação (CV) e os valores máximos e mínimos de cada parâmetro.

Tabela 8 - Concentrações dos poluentes monitorados durante o período de outubro a dezembro de 2015 na área em estudo no município de São Gonçalo do Amarante.

Coleta	PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24 h	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24 h	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24 h
1	35,3	< LMD	< LMD
2	53,6	6,87	< LMD
3	49,8	28,1	< LMD
4	57,6	< LMD	< LMD
5	48,1	< LMD	< LMD
6	57,1	< LMD	< LMD
7	60,2	7,46	< LMD
8	44,2	< LMD	< LMD
9	32,6	< LMD	< LMD
10	43,4	< LMD	< LMD
11	42,3	< LMD	< LMD
12	33,9	< LMD	< LMD
13	50,8	< LMD	< LMD
14	48,4	< LMD	< LMD
15	75,3	< LMD	< LMD
χ	48,8	2,90	—
DP	11,2	7,64	—
CV	22,9	38,1	—
Mínimo	32,6	6,87	—
Máximo	75,3	28,1	—

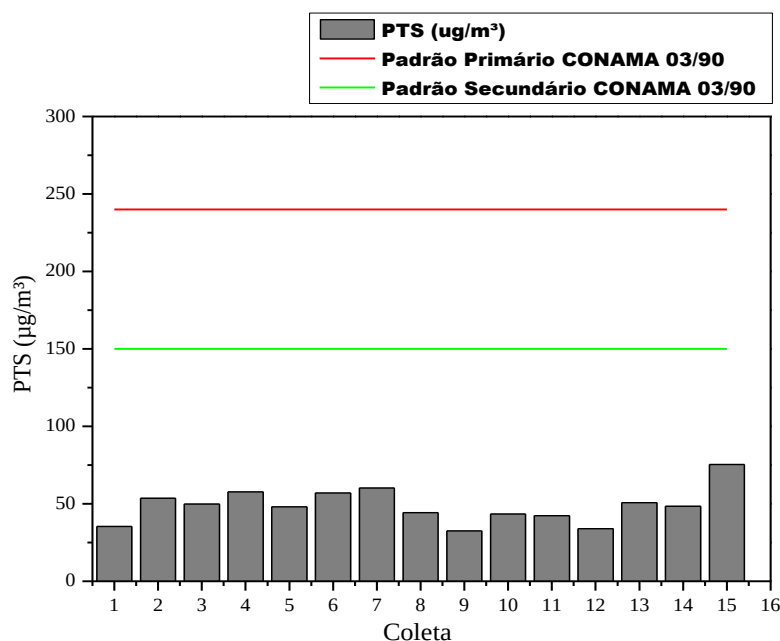
LMD = limite mínimo de detecção. LMD SO₂ = 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,0015 ppm). LMD NO₂ = 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,0050 ppm).

— Não Calculado.

Fonte: Autor (2016).

Na Tabela 8 observa-se que a as concentrações de material particulado (PTS) amostrado (média de 48,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) não excederam em nenhuma coleta os valores diários de padrão primário (240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e de padrão secundário (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/90 (Figura 9).

Figura 9 – Concentrações médias de PTS (24 h) observadas durante o período de outubro a dezembro de 2015 na área em estudo no município de São Gonçalo do Amarante.



Fonte: Autor (2016).

A variação entre os níveis de PTS obtidos pode ser atribuída às condições meteorológicas diárias (temperatura, umidade relativa do ar, velocidade dos ventos) e ao fluxo de veículos nas áreas próximas ao sítio sob monitoramento. Automóveis movidos a gasolina também podem gerar particulado, causado pela combustão incompleta do óleo lubrificante e do uso de aditivos no combustível (VIEIRA, 2009).

As partículas totais em suspensão (PTS) foram monitoradas em uma região industrial no oeste da Índia. Os valores encontrados variaram entre 220,5 e 1130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos anos de 2004 e 2005, considerados como níveis extremamente elevados (BASHA et al., 2010).

Segundo Lima (2015) a frequência dos ventos mais intensos em Fortaleza/CE no mês de outubro de 2014 foi (faixa de 5,7 m/s a 8,8 m/s), correspondente à temporada dos ventos mais intensos no estado (FUNCEME, 2014), pode ter favorecido a dispersão dos PTS, refletindo no declínio das concentrações dos mesmos. Este autor detectou níveis de PTS entre 60 e 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (média de 81,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) no mesmo mês no ano de 2014, os quais são bem superiores aos observados neste estudo.

Alves (2009) analisou o material particulado em Colombo, cidade com intenso desenvolvimento industrial localizada na região metropolitana de Curitiba e correlacionou a

poluição provocada pelas indústrias de cal da região com os efeitos que suas emissões de material particulado podem causar à saúde das crianças que estão nas escolas próximas.

Um estudo realizado na cidade de Terni em Umbria região central da Itália, mostrou que a presença de pólos industriais e atividades urbanas dentro do vale têm contribuído para várias ultrapassagens na concentração de material particulado ao longo do ano, sob condições atmosféricas estáveis durante o inverno e os meses de verão (SGRIGNA et al., 2016).

Em um monitoramento realizado por Sýkorová et al. (2015) foi realizado um comparativo entre o material particulado coletado em uma montanha e outro coletado na área industrial de Silesian na República Checa. Os autores observaram que o processo industrial tem maior influência na concentração de particulado, apresentando uma diferença superior a 23% entre os dois sítios avaliados ($24,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $30,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Estudo realizado em Pequim para avaliar as consequências das construções utilizadas nas olimpíadas mostrou aumento de material particulado de $34,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $82,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (SU et al., 2015).

Segundo a Organização Mundial da Saúde, o material particulado afeta mais pessoas do que qualquer outro poluente e a exposição crônica a estas partículas contribui para o risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares, respiratórias e do pulmão (WHO, 2014).

Particularmente, todas as coletas apresentaram concentrações de PTS menores que os valores definidos pela Resolução CONAMA 03/90 para padrão primário e secundário. Os resultados indicam que a qualidade do ar na área de estudo é **boa**, apesar da proximidade da estação de coleta à rodovia CE 085 que possui intensa circulação de veículos automotores, e que se constitui na principal via de acesso às praias do litoral oeste de estado do Ceará.

Na Tabela 9 observa-se que as concentrações de PTS encontradas nesta pesquisa foram superiores as observadas nos estudos anteriores disponibilizados pela SEMACE para os anos de 2011 a 2014 na área em estudo, considerando o provável impactos das emissões poluentes provenientes do Complexo Industrial do Pecém.

Tabela 9 - Concentrações médias anuais de PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) no Município de São Gonçalo do Amarante disponibilizadas pela SEMACE e a observada nesta pesquisa (trimestral).

	SEMACE 2011	SEMACE 2012	SEMACE 2013	SEMACE 2014	Este estudo 2015
PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	28	34	36	31	48,8

Fonte: Autor (2016).

Em geral os valores encontrados de particulados podem estar associados às alterações das condições climáticas e aumento das edificações na área, bem como as obras de duplicação e recapeamento na entrada da cidade, que ocorreram durante o período do estudo.

Com relação aos gases inorgânicos SO_2 e NO_2 os valores encontrados permaneceram bem abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/90 para padrão primário e secundário e aos valores estabelecidos pela EPA, Comunidade Europeia e CETESB. Notadamente observa-se um aumento da concentração de PTS ao longo dos anos, principalmente no trimestre em estudo, o que é uma alerta para possíveis intervenções antrópicas poluentes na área em estudo.

A análise comparativa dos dados do auto-monitoramento ambiental disponibilizado pela SEMACE com esta pesquisa está apresentada na Tabela 10.

Tabela 10 - Concentrações médias anuais de SO_2 e NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) no Município de São Gonçalo do Amarante disponibilizadas pela SEMACE e as observadas nesta pesquisa (trimestral).

	SEMACE 2011	SEMACE 2012	SEMACE 2013	SEMACE 2014	Este estudo 2015
SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,0	6,0	13	26	2,83
NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	37	11	28	32	< 9 ^a

Fonte: Autor (2016). ^aLMD = Limite mínimo de detecção.

Os dados da Tabela 10 mostram um aumento das concentrações de SO_2 nos anos de 2011 a 2014; os quais coincidem com o período de início dos testes pré-operacionais da Energia Pecém, termelétrica que utiliza como matriz energética o carvão mineral e também com as obras de duplicação e repavimentação da CE 085.

Particularmente neste estudo os resultados encontrados no período de monitoramento foram considerados ainda menores que os relatados pela SEMACE, indicando que a qualidade do ar na área de estudo é boa para o parâmetro de SO₂ e NO₂.

Lima (2015) encontrou valor médio de SO₂ de 0,26 µg/m³ como máximo de 3,01 µg/m³ em seu estudo numa área urbana da cidade de Fortaleza sob influência de intenso tráfego veicular.

Na Turquia ocidental Civan et al. (2015) encontraram em áreas residenciais próximas a rodovias concentrações de SO₂ em torno de 14 µg/m³ e de NO₂ de 7 µg/m³, valores elevados quando comparados às concentrações encontradas neste estudo (2,83 µg/m³).

Em uma área industrial e urbana de Pequim, China, avaliaram-se as concentrações dos gases inorgânicos SO₂ e NO₂. Os autores relataram valores para SO₂ entre 30 e 120 µg/m³ e de NO₂ entre 36 e 75 µg/m³ (SHENG, 2016).

Estudos para a avaliação da qualidade do ar na cidade de Betim (MG), conhecida pelo seu desenvolvimento industrial relataram concentrações médias de SO₂ de 2,5; 4,1 e 13 µg/m³ em áreas distintas da Cidade de Betim, onde se destaca a indústria metalúrgica (BELO HORIZONTE, 2013).

As coletas de NO₂, assim como os demais poluentes, foram realizadas em 24 horas, sendo os valores de referência estabelecidos em legislação, considerando medidas de 1 hora ou anual, inviabilizando a comparação dos resultados com a legislação. Porém, vale salientar que em todas as quinze coletas foram encontradas concentrações abaixo do limite de detecção.

Os resultados detalhados para o monitoramento do ozônio estão descritos na Tabela 11 enquanto a Figura 10 apresenta uma comparação entre os valores deste estudo e os padrões recomendados pela CONAMA.

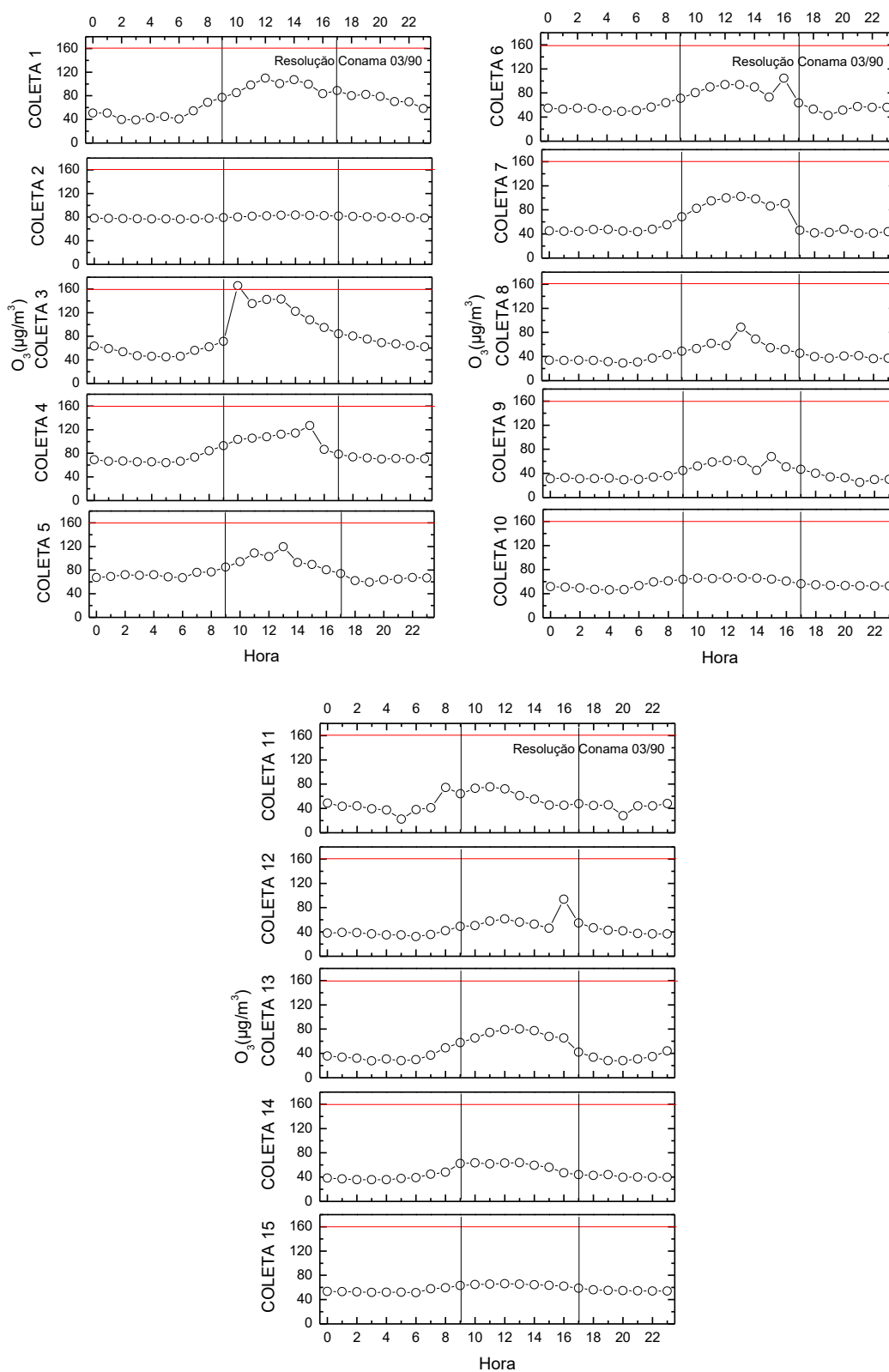
Tabela 11 - Concentrações médias de O₃ (µg/m³) observadas durante o período de outubro a dezembro de 2015 na área em estudo no município de São Gonçalo do Amarante.

Coleta	Concentração máxima de ozônio 1 h (µg/m³)	Concentração média de ozônio 8 h* (µg/m³)	Concentração média de ozônio 24 h (µg/m³)
1	109,8	95,2	71,7
2	83,4	81,8	78,2
3	165,6	122,8	81,8
4	126,8	106,2	83,1
5	119,4	96,6	78,1
6	104,6	87,1	65,2
7	102,2	90,4	60,3
8	88,6	60,6	44,5
9	67,8	55,2	40,3
10	66,2	61,1	48,1
11	75,4	61,4	49,3
12	94,1	58,4	45,7
13	80,1	71,1	46,4
14	63,8	59,7	48,4
15	66,2	80,9	65,6
<i>χ</i>	94,3	79,2	60,4
<i>DP</i>	28,2	20,4	15,3
<i>CV</i>	3,37	3,88	3,91
<i>Mínimo</i>	63,8	55,2	40,3
<i>Máximo</i>	165,6	122,8	83,1

*Período das 09:00 às 17:00 h, onde ocorre a maior incidência solar.

Fonte: Autor (2016).

Figura 10 - Concentrações horárias de O_3 (1 h) observadas durante o período de outubro a dezembro de 2015 na área em estudo no município de São Gonçalo do Amarante.



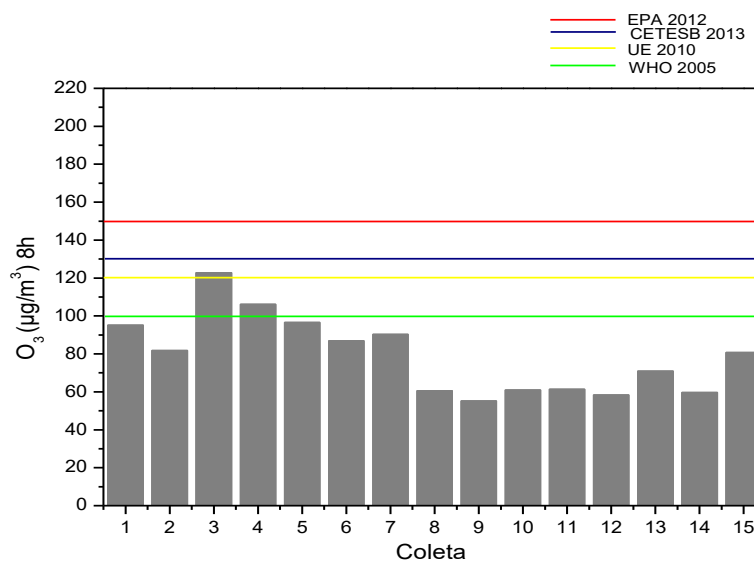
Fonte: Autor (2016).

A concentração média de ozônio para 1 h encontrada foi de $94,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ com valores mínimos de $68,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e máximo de $165,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabela 11). A Resolução CONAMA 03/90 estabelece uma concentração máxima para 1 h de $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$, assim observa-se que na terceira coleta este limite foi ultrapassado, o que é preocupante. Nas demais coletas os valores permaneceram dentro dos limites aceitáveis para este poluente. Em geral, para o O_3 (1 h) a qualidade do ar permaneceu boa segundo o monitoramento realizado.

No período amostrado, caracterizado como primavera no hemisfério sul, observaram-se concentrações médias horárias e mensais de ozônio no horário que foram mais elevadas no mês de outubro e decaíram nos meses seguintes (Figura 10). Segundo Assunção (2002) e Huang (2015) este decréscimo se deve a ausência de radiação solar no período noturno e as variações de temperatura. No período em estudo foram determinadas médias mensais das concentrações máximas de ozônio de: $121,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $85,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $75,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para os meses de outubro, novembro e dezembro, respectivamente (Figura 9). Campos (2013) observou que o mês de maior incidência de raios solares é outubro e que esta decresce nos meses subsequentes, o que explica o comportamento das concentrações do ozônio encontrados neste trabalho.

A Figura 11, por sua vez, apresenta a comparação entre os valores encontrados e os padrões internacionais (mais restritivos) referenciados pela US EPA e OMS.

Figura 11 - Concentrações horárias de O_3 (8 h) observadas durante o período de outubro a dezembro de 2015 na área em estudo no município de São Gonçalo do Amarante.



Fonte: Autor (2016).

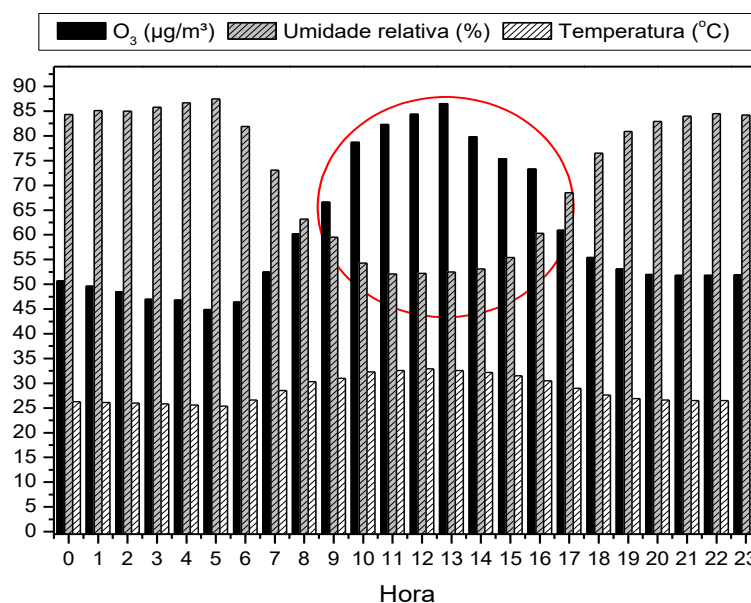
Pavão et al. (2006) encontraram médias diárias das concentrações de ozônio em Campo Grande/MS mais baixas durante a noite e ao amanhecer. O valor mínimo observado foi de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (à noite) e máximo de $1132,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (durante o dia), com pico de intensidade sendo atingido, na maior parte das coletas, entre as 10 e 16 h.

O perfil diurno de ozônio mostrou altos valores de concentração do meio dia para o fim da tarde, concordando com o que tipicamente se espera pelas reações fotoquímicas combinadas com os perfis de emissão diurna em áreas urbanas (EPA, 2006).

Segundo Seinfeld (1989), ao pôr do sol a produção fotoquímica do ozônio cessa e, à noite o resfriamento radiativo da superfície geralmente leva à formação de uma camada de inversão que pode atingir centenas de metros, inibindo assim, as emissões superficiais de atingirem o ozônio preso acima. Ao nascer do sol, a inversão é rapidamente destruída, fazendo com que o ozônio e outros poluentes formados no dia anterior desçam para a superfície servindo de contribuição para o segundo dia de reações. Ainda segundo o autor, estima-se que picos de concentração de ozônio são esperados cerca de 3 a 5 h depois de introduzidos na atmosfera, o que pode percorrer em distâncias a 30 a 150 km.

A Figura 12 mostra a influência dos parâmetros umidade e temperatura nas concentrações do ozônio.

Figura 12 - Concentrações médias de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), umidade relativa (%) e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) na área em estudo no Município de São Gonçalo do Amarante.



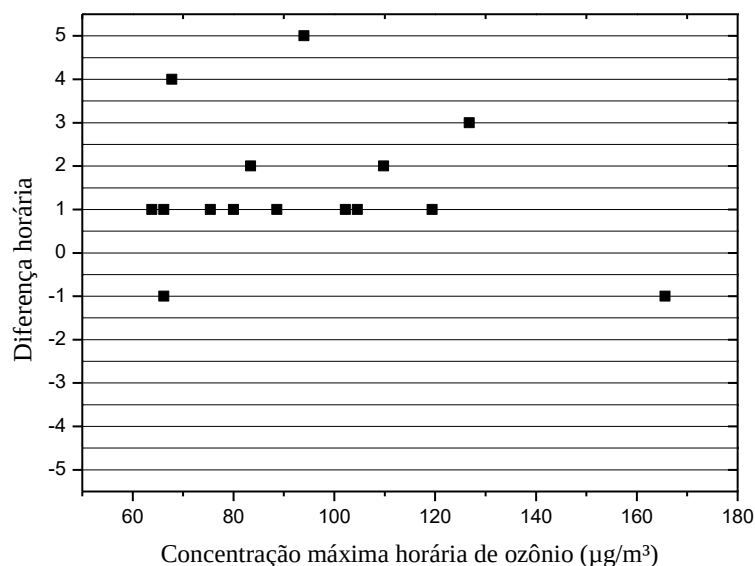
Fonte: Autor (2016).

Na Figura 10 analisando-se variação horária do O_3 observa-se que os máximos de concentração de ozônio ocorrem no período entre 9 e 17 horas e que há um rápido decréscimo da concentração de ozônio ocorre durante o período noturno em que diminui a radiação para formação de novas moléculas de ozônio. Segundo Silveira et al. (2013), em condições de altas temperaturas, a radiação solar é maior, o que implica na redução da umidade relativa do ar e um aumento da concentração de ozônio, como observado na Figura 12.

Elevados picos de concentração de ozônio, frequentemente ocorrem em grandes centros urbanos exibindo variáveis perfis de concentração, como observado por Dropinchinski (2002), Arbilla et al. (2002), Kuebler et al. (1996) e Barrett et al. (1998) que relataram uma maior intensidade da luz durante o verão como fator a ser considerado nos picos de concentração O_3 .

A Figura 13 apresenta a diferença de nível entre as concentrações de ozônio em função da diferença entre o horário de ocorrência da concentração máxima de O_3 e do horário de ocorrência da temperatura máxima de cada dia.

Figura 13 - Perfil representativo das diferenças horárias entre temperaturas máximas e concentrações máximas de ozônio.



Fonte: Autor (2016).

Na Figura 13 em 8 (oito) coletas a máxima concentração de ozônio ocorreu 1 (uma) hora após o horário da temperatura máxima representando 53,3% das amostragens. Este resultado está em consonância com os apresentados por Fioravante (2006). Segundo este autor,

assumindo-se que a temperatura máxima ocorre no mesmo horário da radiação máxima, ou em poucas horas após, pode-se afirmar que há indícios que precursores do ozônio estão presentes na região, pois a radiação solar favorece a transformação do dióxido de nitrogênio em óxido de nitrogênio e oxigênio, que por sua vez, reagirá com o oxigênio da atmosfera (O_2) formando o ozônio (O_3) troposférico (MELO, 1998; ROCCO, 2008).

Segundo Dutra (2009) as concentrações máximas registradas pela estação Praça Rui Barbosa em Belo Horizonte/MG ocorreram 61,2% no período entre uma hora antes (diferença igual a -1) e uma hora após (diferença +1) a máxima temperatura diária registrada, o que se assemelha ao observado neste trabalho.

Por fim, para identificação dos metais pesados mais comuns associados ao material particulado total (PTS) relata-se a Tabela 12. Nesta tabela estão apresentados os valores das concentrações dos metais ferro, cobre, chumbo e níquel encontrados durante o período de monitoramento.

Tabela 12 – Concentrações dos metais pesados associados ao material particulado nas amostras coletadas no período de outubro a dezembro de 2015 no município de São Gonçalo do Amarante.

Coleta	Metais			
	Fe ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	19,9	0,044	0,066	0,009
2	7,4	ND	0,034	ND
3	8,8	ND	0,050	ND
4	13,6	ND	ND	ND
5	9,1	ND	ND	ND
6	10,2	ND	0,014	ND
7	10,4	ND	ND	ND
8	19,1	ND	ND	ND
9	6,2	ND	ND	ND
10	6,8	ND	ND	ND
11	5,6	ND	ND	ND
12	3,6	ND	0,008	ND
13	5,8	0,005	0,067	ND
14	4,5	ND	ND	ND
15	5,3	ND	ND	ND
χ	9,08	0,0033	0,016	0,0006
DP	4,97	—	—	—
CV	54,7	—	—	—
Mínimo	3,6	0,005	0,014	—
Máximo	19,9	0,044	0,067	—

Fonte: Autor (2016). ND – Não detectado. — Não calculado.

Na Tabela 12 observa-se que apenas o ferro foi detectado em todas as amostras e apresentou as concentrações mais elevadas, com média de $9,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e valor máximo de $19,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, enquanto que os maiores valores encontrados para os demais elementos foram: $0,044 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de Cu, $0,067 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de Pb e $0,009 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de Ni.

No que diz a respeito dos metais ferro, cobre e zinco na atmosfera, não existe legislação regulamentadora no Brasil. Porém, para o chumbo, a CETESB (2013) estabelece um valor de $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para a média trimestral em amostras de PTS, enquanto a OMS (2000) estabelece $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{ano}$ e a EPA (1999) referencia $0,15 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{ano}$. Há uma grande preocupação em reduzir o chumbo presente na atmosfera, porque quando relacionado a danos à saúde da população, este metal pode causar anemia, danos renais, cerebrais e até morte. Neste trabalho a média de Pb para o período em estudo foi de $0,016 \mu\text{g}/\text{m}^3$, bem abaixo do recomendado pela CETESB. Na prática observa-se que em nenhuma das amostras ultrapassou-se os valores estabelecidos pelas legislações citadas.

Pant e Harrison (2013) em um estudo realizado associaram a presença de Fe à fenômenos de ressuspensão do solo. Assim, as concentrações de Fe encontradas podem estar relacionadas às obras de duplicação da entrada do município de São Gonçalo do Amarante ocorridas no período, que necessitaram de terraplanagem e pavimentação, com intensa movimentação do solo, gerando maior dispersão de material particulado.

Silva et al. (2010) após estudos das emissões dos escapamentos de veículos automotores brasileiros movidos a etanol e gasohol (gasolina brasileira, adicionada de até 26 % de etanol anidro) e detectaram a presença de metais como Fe, S e Al, Ca, Si, Br e Zn, além de Mn, Pt, Ni, Cu, Pb e CR em concentrações traço.

Em um estudo realizado por Basha et al. (2010) em uma região industrial do oeste da Índia, analisou as partículas totais em suspensão (PTS) e os metais pesados contidos no PTS. Em relação a as concentrações os autores encontraram teores de $98,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o Fe, $24,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o zinco e $3,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o cobre.

Em Seul, Coreia, Kim et al. (2014) realizaram um estudo atmosférico envolvendo composição de PTS local e a presença de metais. Neste estudo, os metais mais abundantes encontrados foram: Fe, Zn, Ba, Cu, Pb, Mn, os quais apresentaram em média concentrações de: 2,82; 0,22; 0,10; 0,077; 0,0073; 0,0073, respectivamente.

Zhang et al. (2013) estudaram os metais pesados associados ao PTS e ao $MP_{2,5}$ na região sudeste de Lijiang, Tibet. Dentre os metais estudados, os maiores níveis de concentrações encontrados foram observados para o Ca (média de $5,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Al (média de $1,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Fe (média de $1,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$), S (média de $1,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e K (média de $0,97 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Os autores relacionaram os valores encontrados à queima de biomassa e as atividades antropogênicas.

Em um estudo realizado na cidade urbana de Ouro Preto/MG, Magalhães (2010) relataram metais pesados associados a PTS em valores de 0,27 a $4,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o Cu; 0,50 a $5,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o Fe e de 0,013 a $0,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o Pb.

6. CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados pode-se concluir que:

Em todas as amostras, a concentração dos poluentes monitorados: PTS, SO₂, NO₂ e O₃ se mantiveram dentro dos limites estabelecidos pelas resoluções CETESB, EPA e WHO em praticamente todo o período amostrado. Somente para o ozônio em uma das coletas realizada o valor ultrapassou os 160 µg/m³ em 1 h estabelecido para este poluente.

Particularmente observa-se um aumento da concentração de PTS ao longo dos últimos 5 anos. Os valores encontrados no último trimestre de 2015 foram em média 57% superiores aos relatados pelo órgão ambiental para 2014 e 53 % para o quadriênio 2011-2014.

Não foram verificadas relações entre as concentrações dos gases analisados com os dias da semana coletados, o que pode demonstrar a influência do tempo de permanência de cada composto na atmosfera para os níveis encontrados.

As concentrações máximas de ozônio na área em estudo no Município de São Gonçalo do Amarante foram observadas no período entre 9 e 17 horas, o que pode estar associado diretamente aos períodos de maior intensidade de radiação e temperatura no horário estudado.

Os teores de metais associados ao material particulado analisado apresentaram-se baixos para áreas urbanas próximas a complexos industriais, sendo as concentrações máximas encontradas de: 19,9 µg/m³ para o Fe; 0,009 µg/m³ para o Ni e 0,044 µg/m³ para o Cu. O Pb apresentou concentrações entre 0,067 e 0,014 µg/m³, as quais são bem inferiores aos 1,5 µg/m³ estabelecidos pela CETESB em um período de um trimestre.

Em geral, segundo os parâmetros estabelecidos pela CETESB a qualidade do ar na região pode ser considerada boa para os parâmetros analisados.

Em termos, a implantação do complexo industrial no Município de São Gonçalo do Amarante até o presente momento ainda tem produzido pouco impacto ambiental sobre a área em estudo, o que é importante para subsidiar futuras modificações no cenário desta localidade quando da instalação de novas indústrias e atividades antrópicas no local.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros relatam-se:

- O estabelecimento de outros pontos amostrais na área do Complexo Industrial e Portuário do Pecém para uma avaliação mais ampla da qualidade do ar.
- Monitoramento complementar dos parâmetros ambientais de MP_{10} , $MP_{2,5}$, fumaça e CO, previstos na resolução CONAMA 03/90.
- Avaliar as concentrações de *black carbon*, compostos orgânicos voláteis (COVs), hidrocarbonetos e outros poluentes de interesse (BTX, HPAs, etc) visando a especificação química de componentes na área em estudo.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13412: Material em suspensão na atmosfera - Determinação da concentração de partículas inaláveis pelo método do amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas. Rio de Janeiro, 1995.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9546: Dióxido de enxofre no ar ambiente determinação da concentração pelo método da pararrosanilina. Rio de Janeiro, 1986.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9547: Material particulado em suspensão no ar ambiente - Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume. Rio de Janeiro, 1997.
- ABREU, M. L. **Ocorrência de Chuva ácida em unidades de Conservação da Natureza Urbanas: Estudo de Caso no Parque Estadual da Pedra Branca – Rio de Janeiro.** Dissertação de Mestrado do Programa de Pós Graduação do Programa de Engenharia Ambiental – Recursos Hídricos, Universidade do Estado do Rio de Janeiro- UERJ, 2005.
- ALMEIDA, S. M., CANHA, N., SILVA, A., FREITAS, M. C., PEGAS, P., ALVES, C., EVTYUGINA, M., PIO, C. A. Children exposure to atmospheric particles in indoor of Lisbon primary schools. **Atmospheric Environment**, v. 45, p. 7594-7599, 2011.
- ALVES, R. **Avaliação da qualidade do ar em escolas fundamentais da cidade de Colombo através de material particulado em suspensão e sua relação com a indústria local da cal.** (Dissertação Mestrado). Gestão Ambiental, Universidade Positivo. Curitiba, 2009.
- ALVIM, D. S. **Estudo dos principais precursores de ozônio na região metropolitana de São Paulo.** Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 178 f., 2013.
- AMORIM, W. D. **Monitoramento da concentração e caracterização do material particulado suspenso na atmosfera.** Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química. 2004.
- ANDERSON, J. O., THUNDIYIL, J. G., STOLBACH, A. Clearing the air: a review of the effects of particulate matter air pollution on human health. **Journal of Medical Toxicology**, v. 8, n. 2, p.166-75, 2012.
- ANDRADE, S. J. et al. **Concentração de material particulado atmosférico (MP10 e MP2,5) em duas regiões distintas da Bahia: uma estação de ônibus e uma ilha.** 34^a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, Florianópolis/SC, p.36, 2011.
- ARBEX, M. A., SANTOS, U. P., MARTIN, L. C., SALDIVA, P. H. N., PEREIRA, L. A.A. P., BRAGA, A. L. F. Air pollution and respiratory system. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 38, n. 5, p. 643-655, 2012.

ARBILLA, G.; MARTINS, E.M.; MOREIRA, A.; MOREIRA, L.F.R. Ozone air quality modeling. A case study: A heavily vehicle impacted urban avenue in Rio de Janeiro, Brazil. **Journal Brazilian Chemical Society**, v. 13, p. 308-317, 2002.

ASSUNÇÃO, J. V.; HASEGAWA, P. T. Geração Termelétrica com Turbinas a Gás Natural e seu Impacto na Qualidade do Ar. Workshop: “**Geração Termelétrica a Gás Natural**”, promovido pelo IBAMA e PETROBRAS, Porto Alegre-RS, junho/2001.

ASSUNÇÃO, J. V. **Tecnologias e seleção de sistemas de controle da poluição do ar: material particulado, gases, vapores e odores**. Apostila do Curso "Tecnologias de Controle de Poluição" realizado na Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo: CETESB. p. 1-22, 2002.

AVIGO Jr., D. **Qualidade do ar em escolas de Curitiba**. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental), Universidade Positivo. Curitiba, 2008.

AZEVEDO, J. A. H. **Monitoramento atmosférico de material particulado, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e metais em um trecho urbano da cidade de Fortaleza**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 99 f., 2014.

BAIRD, C. Química Ambiental. 2ª ed. Porto Alegre, Bookman, 2002.

BAIRD, C.; CANN, M. Química ambiental. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BAKONYI, S. M. C.; DANNI-OLIVEIRA, I. M.; MARTINS, L. C.; BRAGA, A. L. F. Air Pollution and respiratory diseases among children in the city of Curitiba, Brazil. **Rev. Saúde Pública**, v. 38, n .5, p. 695-700, 2004.

BASHA, S.; JHALA, J.; THORAT, R.; GOEL, S.; TRIVEDI, R.; SHAH, K.; MENON, G.; GAUR, P.; MODY, K. H.; JHA, B. Assessment of heavy metal content in suspended particulate matter of coastal industrial town, Mithapur, Gujarat, India. **Atmospheric Research**, v. 97, p. 257-265, 2010.

BARRETT, L. A.; BUNCE, N. J.; GILLESPIE, T. J. Estimation of tropospheric ozone production using concentration of hydrocarbons and NO_x, and a comprehensive hydrocarbons reactivity parameter. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 113, p. 1-8, 1998

BEELLEN, R.; HOEK, G.; VAN DEN BRANDT, P. A.; GOLDBOHN, R. A.; FISCHER, P.; SCHOUTEN, L. J.; ARMSTRONG, B.; BRUNEKREEF, B. Long- term exposure to traffic-related air pollution and lung cancer risk. **Epidemiology**, v. 19, p. 702-710, 2008.

BELO HORIZONTE. Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Monitoramento da qualidade do ar na região metropolitana de Belo Horizonte no ano base de 2011: relatório técnico. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, p. 60, 2013.

BOTKIN, D. B., KELLER, E. A. *Ciência Ambiental: Terra um planeta vivo*, LTC. Rio de Janeiro, 2011.

BOWER, J. S. et al. Assessing recent surface ozone concentrations in the U.K. **Atmospheric Environment**, v. 28, p. 115-128, 1994.

BRAGA, A.; PEREIRA, L. A.; A., SALDIVA, P. H. N. Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana. In: *Sustentabilidade na Geração e Uso de Energia no Brasil: os próximos 20 anos*, Campinas, 2002.

BRAGA, et al. *Introdução à Engenharia Ambiental*. Ed, Prentice Hall, São Paulo, 2005.

BRANCO, S. M. *Ecologia da cidade*. São Paulo: Moderna. Coleção Desafios, p. 64, 2003.

BRANCO, M. C. A. **A inspeção veicular como instrumento de controle da poluição atmosférica nas grandes cidades**. Dissertação Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas - São Paulo, 2015.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. Dispõe sobre procedimentos relativos a Estudos de Impacto Ambiental. Resolução n.º 1 de 23/01/1986. Diário Oficial da União, de 17/02/1986.

BRASIL. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Normais climatológicas da área da SUDENE. S/l, p. 82, 1981.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. Dispõe sobre procedimentos relativos a Estudos de Impacto Ambiental. Resolução n.º 1 de 23/01/1986. Diário Oficial da União, de 17/02/1986.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 003, de 28 de junho de 1990. Estabelece padrões de qualidade do ar para concentração de poluentes atmosféricos, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Poder Executivo. 1990.

BROOK, R. D.; FRANKLIN, B.; CHAIR, W. C.; HONG, Y.; OWARD, G.; LIPSETT, M.; LUEPKER, R.; MITTLEMAN, M.; SAMET, J.; SMITH Jr., S. C.; TAGER, I. Air pollution and cardiovascular disease. A Statement for Healthcare Professionals from the expert panel on population and prevention science of the American Heart Association. **Circulation**, v. 109, p. 2655-2671, 2004.

CAMPOS, C. G. C.; VIEIRA, H. J.; BACK, A. J.; SILVA, A. L. Fluxos de radiação solar global em vinhedos de altitude de São Joaquim-SC. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 3, p. 722-729, 2013.

CANÇADO, J. E. D.; BRAGA, A. B.; PEREIRA, L. A. A.; ARBEX, M. A.; SALDIVA, P. H. N.; SANTOS, U. P. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 32, p. s5-s11, 2006.

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

CARVALHO, F. G.; JABLONSKI, A. Estudo das partículas totais em suspensão e metais associados em áreas urbanas. **Química Nova**, v. 23, n. 5, p. 614-617, 2000.

CARVALHO Jr., J. A.; LACAVA, P. T. Emissões em processos de combustão. UNESP, 2003.

CARVALHO, V. S. B.; FREITAS, E. D.; MARTINS, L. D.; MARTINS, J. A.; MAZZOLI, C. R.; ANDRADE, M. F. Air quality status and trends over the Metropolitan Area of São Paulo, Brazil as a result of emission control policies. **Environmental Science e Policy**, v. 47, p. 68-79, 2015.

CAVALCANTI, P. M. P. S. **Modelo de gestão da qualidade do ar - abordagem preventiva e corretiva.** Tese (Doutorado em Ciência em Planejamento Energético) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p. 252, 2010.

CEARÁ, IPLANCE – Atlas do Ceará. Escala 1:1.500.000. Fortaleza, p.56, 2007.

CETESB. Relatório de Qualidade do ar no Estado de São Paulo em 2000. São Paulo, 2001.

CETESB. Relatório da Qualidade do Ar da cidade de São Paulo: 2006. São Paulo, 2006.

CETESB, Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo. Série Relatórios, Secretaria do Estado do Meio Ambiente, São Paulo. <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>, 2010.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Qualidade do ar no estado de São Paulo 2013. São Paulo: CETESB, 2014. 110 p.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Qualidade do ar no estado de São Paulo 2012. São Paulo: CETESB, 2013. 123 p.

CETESB. Relatório Operação Inverno 2014. São Paulo, 2015.

CHANG, S. S.; LEE, W. J.; WANG, L. C.; LIN, N. H.; CHANG-CHIEN, G. P. Influence of the Southeast Asian biomass burnings on the atmospheric persistent organic pollutants observed at near sources and receptor site. **Atmospheric Environment**, v. 78, p. 184-194, 2012.

KULKARNI, P., CHELLAM, S., FRASER, MP. Tracking petroleum refining emissions using lanthanum and lanthanides as elemental markers for PM_{2.5}. **Environ. Sci. Technol.** v. 41, n. 19, p. 6748-6754, 2007.

CHEN, Y., SCHLEICHER, N., CHEN, Y., CHAI, F., NORRA, S. The influence of governmental mitigation measures on contamination characteristics of PM_{2.5} in Beijing. **Sci. Total Environ.**, v. 490, p. 647-658, 2014.

CHEN, B.; STEIN, A. F.; MALDONADO, P. G.; CAMPA, A. M. S.; GONZALEZ-CASTANEDO, Y.; CASTELL, N.; ROSA, J. D. Size distribution and concentrations of heavy metals in atmospheric aerosols originating from industrial emissions as predicted by the HYSPLIT model. **Atmospheric Environment**, v. 71, p. 234-244, 2013.

CHU, S-H. Meteorological considerations in siting photochemical pollutant monitors. **Atmospheric Environment**, v. 29, n. 21, p. 2905-2913, 1995.

CIVAN, M. Y.; ELBIR, T.; SEYFIOGLU, R.; KUNTASAL, O. O.; BAYRAM; DOGAN, G.; YURDAKUL, S.; ANDIÇ. O.; MUEZZINOGLU, A.; SOFUOGLU, S. C.; PEKEY, H.; PEKEY, B.; BOZLAKER, A.; ODABASI, M.; TUNCEL, G. Spatial and temporal variations in atmospheric VOCs, NO₂, SO₂, and O₃ concentrations at a heavily industrialized region in Western Turkey, and assessment of the carcinogenic risk levels of benzene. **Atmospheric Environment**, v. 103, p. 102-113, 2015.

COELHO, M. S. Z. S. **Uma análise estatística com vistas a previsibilidade de doenças respiratórias em função de condições meteorotrópicas na cidade de São Paulo no ano de 2007**. Tese (Doutorado em Ciências) - Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 202 f., 2007.

DANNI-OLIVEIRA, I. M. A Cidade de Curitiba e a Poluição do Ar: Implicações de seus atributos urbanos e geoecológicos na dispersão de poluentes em período de inverno. In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

DORE, A.K.; HALLSWORTH, S.; MCDONALD, A. G.; WENER, M.; A, M.; ABBOT, J.; NEMITZ, E.; DORE, C. J.; MALCOLM, H.; VIENO, M.; REIS, S.; FOWLER, D. Quantifying missing annual emission sources of heavy metals in the United Kingdom with an atmospheric transport model. **Science of the Total Environment**, v. 479-480, p. 171-180, 2014.

DUTRA, E., G.; FIORAVANTE, F. E., FERREIRA, D. F. **Emissão veicular e o ozônio troposférico na região metropolitana de belo horizonte, Minas Gerais, Brasil**. Anais do 9º Congresso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Las Palmas de Gran Canaria. 2009.

DROPINCHINSKI, L. M. **Estimativas do impacto das emissões de hidrocarbonetos pela vegetação na formação de oxidantes fotoquímicos em São Paulo**. São Paulo: USP. Dissertação (Mestrado) Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas USP, São Paulo, 110p, 2002. Atmosféricas USP, São Paulo, 2002.

EC. European Commission. Air Quality Standards. 2015. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>>. Acesso em: 22 fev. 2016.

EEFTENS, M. et al. Elemental composition of particulate matter and the association with lung function. **Epidemiology**, v. 25, p. 648-657, 2014.

EPA. United States Environment Protection Agency. About Air Toxic. 2012. Disponível em: <<http://www.epa.gov/oar/toxicair/newtoxics.html>>. Acesso em: 3 dez. 2014.

EPA. United States Environmental Protection Agency. Code of Federal Regulation – CFR 40.Part 53 to 60. Whashington: US Government Printing Office, 1987.

EPA. United States Environmental Protection Agency. Compendium method IO-2.1 - Sampling of ambient air for total suspended particulate matter (SPM) and PM₁₀ using high volume (HV) sampler. In: EPA. Compendium of methods for the determination of inorganic compounds in ambiente air. EPA/625/R-96/010a.Cincinnati, 1999.

EPA. United States Environmental Protection Agency. Pararosaniline method for the determination of sulfur dioxide in the atmosphere - technicon II automated analysis system. Epa designated equivalent method nº. EQS-0775-002. Research Triangle Park, 1975.

EPA. United States Environmental Protection Agency. Sodium arsenite method for determination of nitrogen in the atmosphere. EPA designated equivalent method nº. EQN-1277-026. Research Triangle Park, 1977.

EPA. United States Environmental Protection Agency. Benzo(a)pyrene (BaP): TEACH Chemical Summary. 2006.

FIORAVANTE, E. F., CÉZAR JÚNIOR, A. **Análise das ocorrências de concentrações máximas de ozônio na Região Metropolitana de Belo Horizonte**. Belo Horizonte: FEAM, 2006.

FLAGRAN, R. C.; SEINFELD, J. H. Fundamentals of air pollution engineering. New Jersey: Englewood Cliffs, p. 542, 1988.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Chuvas na quadra chuvosa de 2014 ficaram 24% abaixo da média. Funceme, 27/06/2014a. Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/comunicacao/noticias/604-chuvas-na-quadra-chuvosa-de-2014-ficaram-24-abaixo-da-m%C3%83%C2%A9dia>>. Acesso em: 27 jan. 2015.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Começa a temporada dos ventos mais intensos no Ceará. Funceme, 16/10/2014b. Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/comunicacao/noticias/609-come%C3%A7a-a-temporada-dos-ventos-mais-intensos-no-cear%C3%A1>>. Acesso em: 27 jan. 2015.

GENG, F., TIE, X., GUENTHER, A., LI, G., GAO, J., HARLEY, P. Effect of isoprene emissions from major forests on ozone formation in the city of Shanghai, China. **Atmos. Chem. Phys.**, v. 11, p. 10449–10459, 2011.

GETZ, G. S. Immune function in atherogenesis. **J. Lipid Res.**, v. 46 p. 1-10, 2005.

GONÇALVES Jr., S. J. **Avaliação da participação de material particulado e seus impactos à saúde humana em escolas próximas a vias de tráfego veicular e refinaria de petróleo.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Curitiba, 2014.

GUANABARA, A. P. S. **Associação da função pulmonar em estudantes do ensino Fundamental com a qualidade do ar nas cidades de Atibaia e Cubatão.** Dissertação de mestrado da Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, 2011.

GILMOUR, K. M.; PERRY, S. F.; BERNIER, N. J.; HENRY, R. P.; WOOD, C. M. Extracellular carbonic anhydrase in the dogfish, *Squalus acanthias*: a role in CO₂ excretion. **Physiol. Biochem. Zool.**, v. 74, p. 477-492, 2001.

HAMRA, G. B; GUHA, N.; COHEN, A.; LADEN, F.; RAASCHOU-NIELSEN, O.; SAMET, J.M.; VINEIS, P.; FORASTIERE, F.; SALDIVA, P.; YORIFUJI, T.; LOOMIS, D. Outdoor particulate matter exposure and lung cancer: a systematic review and meta-analysis. **Environ. Health**, v. 122, n. 9, p. 906-913, 2014.

HINRICHS, R., KEINBACH, M. Energia e Meio Ambiente – Tradução da 3ª Edição Norte Americana – Ed. Pioneira Thomson Learning, 2003.

HOGAN, D. J.; CUNHA, J. M. P.; BAENINGER, R.; CARMO, R. L (Org.). Migração e Ambiente em São Paulo: aspectos relevantes da dinâmica recente. Campinas: Núcleo de Estudos de População / UNICAMP, 2000.

HUANG, J.; GUSTIN, M. S. Use of passive and active sampling methods to understand of Hg, ozone, and other pollutants to high elevation sites. **Environ. Sci. Technol.**, v. 49, p. 432-441, 2015.

HYSTAD, P.; DEMERS, P. A.; JOHNSON, K. C.; CARPIANO, R. M.; BRAUER, M. Long-term residential exposure to air pollution and lung cancer risk. **Epidemiology**, v. 24, n. 5, p. 762-772, 2013.

IPECE - INSTITUTO DE PESQUISA E ATIVIDADE ECONÔMICA DO CEARÁ. Perfil Básico Municipal 2013: São Gonçalo do Amarante. Fortaleza, 2011. Disponível 2011/saogonçalo.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2015.

JACOBSON, M. Z. **Atmospheric Pollution: History, Science, and Regulation.** 1.ed. New York: Cambridge University Press, 2006.

JONES, A. M.; HARRISON, R. M. BAKER, J. The wind speed dependence of the concentrations of airborne particulate matter and NO_x. **Atmospheric Environment**, v. 44, p. 1682-1690, 2010.

KAMPA, M., CASTANAS, E. Human health effects of air pollution. **Environmental Pollution**, v. 151, p. 362-367, 2008.

KIELY, G. **Environmental Engineering**. Mc Graw Hill, 1996.

KIM, Y-H.; KIM, K-H.; MA, C-J.; SHON, Z-H., PARK, C. G.; SONG, S-K.; RO, C-U.; BROWN, R. J. C. An investigation into the relationship between the major chemical components of particulate matter in urban air. **Chemosphere**, v. 95, p. 387-394, 2014.

KUEBLER, J.; GIOVANNONI, J.-M.; RUSSELL, A.G. Eulerian modeling of photochemical pollutants over the Swiss Plateau and control strategy analysis. **Atmospheric Environment**, v. 30, n. 6, p. 951-966, 1996.

KUMAR P., KHARE M., HARRISON R. M., BLOSS W. J., LEWIS A. C., COE H., MORAWSKA L. New Directions: Air pollution challenges for developing megacities like Delhi. **Atmospheric Environment**, v. 122, p. 657-661, 2015.

LAGUNA-TORRES, V. A., GOMEZ, J., OCANA, V., AGUILAR, P., SALDARRIAGA, T., CHAVEZ, E., PEREZ, J., ZAMALLOA, H., FORSHEY, B., PAZ, I. Influenza-like illness sentinela surveillance in Peru. **Plos One**, 2009.

LANGARO et al. Influência da radiação solar e umidade do ar na concentração do ozônio. **Revista de Ciências Exatas e da Terra UNIGRAN**, v. 1, n. 1, p. 32-40, 2012.

LAWSON, G. A rhetorical study of in-flight real estate advertisements a potential site of ethical transformation in Chinese cities. **Cities**, v. 31, p. 85-95, 2013.

LEITE, R. C. V.; FROTA, A. B. **Análise da influência da verticalização sobre a ventilação natural através de aplicativo de dinâmica dos fluidos computadorizada - Estudo de caso em Fortaleza, Ceará**. In: VIII Seminário Internacional de Arquitetura, Urbanismo e Design, 2010, São Paulo (SP). Anais... 2010.

LEMOS, J. F. Poluição veicular: Avaliação dos impactos e benefícios ambientais com a renovação da frota veicular leve da cidade de São Paulo. USP, São Paulo, p. 133, 2010.

LI, Q. et al. Transatlantic transport of pollution and its effects on surface ozone in Europe and North America. **J. Geophys. Res.**, v. 107, n. D13, ACH 4-1- ACH 4-21, 2002.

LI, J., WANG, Z., AKIMOTO, H., GAO, C., POCHANART, P., WANG, X.Q. Modeling study of ozone seasonal cycle in lower troposphere over east Asia. **J. Geophys. Res.**, v. 112, D22S25, 2007.

LIMA et al. Poluição atmosférica e clima: refletindo sobre os padrões de qualidade do ar no Brasil. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 5, p. 555-564, 2012.

LIMA, R. M. **Avaliação da Qualidade do Ar em um trecho urbano da Cidade de Fortaleza – Ceará**. 2015. Dissertação. (Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 105 f., 2015.

LIN, C. A.; NISHIOKA, D. C.; CONCEIÇÃO, G. M. S.; BRAGA, A. L. F.; SALDIVA, P. H. N. Air pollution and neonatal deaths in São Paulo, Brazil. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 37, p. 765-770, 2004.

MAGALHÃES, L. C. **Estudo do material particulado atmosférico e metais associados às partículas totais em suspensão na cidade de Ouro Preto, MG**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 81 f., 2005.

MAGALHÃES, L. C.; NALINI Jr., H. A.; LIMA, A. C.; COUTRIM, M. X. Determinação de metais traço no material particulado em suspensão em Ouro Preto, Minas Gerais. **Química Nova**, v. 33, n. 3, p. 519-523, 2010.

MAIA, L. F. P. G. **Análise de variabilidade climática do Estado do Rio de Janeiro**. In: IQM Verde II – Índice de Qualidade Municipal Verde II, Fundação CIDE. Governo do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ. 2003.

MARTINS, C. R.; ANDRADE, J. B. Química atmosférica do enxofre (IV): emissões, reações em fase aquosa e impacto ambiental. **Química Nova**, v. 25, p. 259-272, 2002.

MARTINS, L. D. **Sensibilidade da formação do ozônio troposférico às emissões veiculares na Região Metropolitana de São Paulo**. Tese, Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas. 2006.

MORAES, M. R. **Ferramenta para a previsão do vento e dispersão de poluentes na micro-escala atmosférica**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MOREIRA, T. C. L. **Interação da vegetação arbórea e poluição atmosférica na cidade de São Paulo**. **Dissertação de mestrado em Recursos Florestais**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo, 2010.

NARESH, R.; SUNDAR, S.; SHUKLA, J. B. Modeling the removal of primary and secondary pollutants from the atmosphere of a city by rain. **Applied Mathematics and Computation**, v. 179, p. 282-295, 2006.

NG, S., GORDON, A. Influenza burden and transmission in the tropics. **Curr. Epidemiol. Rep.**, v. 2, n. 2, p. 89-100, 2015.

NOBRE, C.; YOUNG A. F.; SALDIVA, P.; MARENGO J.; NOBRE A. D.; SINÉSIO A. J.; SILVA, G.C.M; LOMBARDO, M. Vulnerabilidades das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. 2010. Disponível em:<http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/publicacoes/2010/SumarioExecutivo_megacidades.pdf> Acesso em: 05 out. 2012.

PANT, P.; HARRISON, R. M. Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: A review. **Atmospheric Environment**, v. 77, p. 78-97, 2013.

PARK, H. S; KIM, S. R; LEE, Y. C. Impact of oxidative stress on lung diseases. **Respirology**. v. 14, n. 1, p. 27-38, 2009.

PARKER, A. Industrial air pollution handbook. London: MCc Graw-Hill Book Company, 1977.

PASCAL, M.; CORSO, M.; CHANEL, O.; DECLERCQ, C.; BADALONI, C.; CESARONI, G.; HENSCHER, S.; MEISTER, K.; HALUSA, D.; MARTIN-OLMEDO, P.; MEDINA, S. Assessing the public health impacts of urban air pollution in 25 European cities: Results of the Aphekom project. **Science of the Total Environment**, v. 449, p. 390-400, 2013.

PAULA, M. et al. Fixação de carbono e a emissão dos gases de efeito estufa na exploração da cana-de-açúcar. **Ciências Agrotecnológicas**, v. 34, p. 633-640, 2010.

PAULIQUEVIS, T; ARTAXO, P.; OLIVEIRA, P.H.; PAIXÃO, M. O papel das partículas de aerossol no funcionamento do ecossistema amazônico. **Ciência e Cultura**, v. 59, n. 3, p. 1-6, 2007.

ROBAINA, T. T., PAVÃO, H. G., THIELLE, A. S. O ozônio de superfície: variações diárias e sazonais, para Campo Grande. **Informe Agropecuário/Inpe**, p. 106-115, 2005.

PEREIRA, L. A. A., LOOMIS, D.; CONCEIÇÃO, G. M. S.; BRAGA, A. L. F.; ARCAS, R. M.; KISHI, H. S.; SINGER, J. M.; BÖHM, G.M.; SALDIVA, P. H. N. Association between air pollution and intrauterine mortality in São Paulo, Brazil. **Environ. Health Perspec.**, v. 106, n. 6, p.325-29, 1998.

PETERS, A.; VERONESI, B.; CALDERON-GARCIDUENAS, L.; GEHR, P.; CHEN, L. C.; GEISER, M.; REED, W.; ROTHEN-RUTISHAUSER, B.; SCHURCH S.; SCHULZ, H. Translocation and potential neurological effects of fine ultrafine e particles a critical update. **Part. Fibre Toxicol.**, v. 3, p. 13, 2006.

PFISTER, G. G., WALTERS, S., EMMONS, L. K., EDWARDS, D. P., AVISE, J. Quantifying the contribution of inflow on surface ozone over California during summer 2008. **J. Geophys. Res.**, v. 118, n. 21, p. 12,282–12,299, 2013.

POLEDNIK, B. Particulate matter and student exposure in school classrooms in Lublin, Poland. **Environmental Research**, v. 120, p. 134-139, 2013

POPE III, C. A., DOCKERY, D. W. Health effects of fine particle air pollution: lines that connect. **J. Air & Waste Management Association**, v. 56, n. 6, p. 709–742, 2006.

RAJENDRASOZHAN, S; YANG, S R; EDIRISINGHE, I; YAO, H; ADENUGA, D. RAHMAN I. Deacetylases and NF-kappaB in redox regulation of cigarette smoke induced lung inflammation: epigenetics in pathogenesis of COPD. **Antioxid Redox Signal**, v.10, n. 4, p. 799-811, 2008.

REIS, M. M A. **Poluição atmosférica e efeitos adversos na gravidez em um município industrializado no estado do Rio de Janeiro**. Tese Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

RESENDE, F. Poluição atmosférica por emissão de material particulado: avaliação e controle nos canteiros de obras de edifícios Fernando Resende – Edição Revisada – São Paulo, p. 210, 2007.

RESOLUÇÃO CONAMA nº 03, de 28 de junho de 1990. Disponível em: <http://www.ibram.df.gov.br/sites/400/406/00002049.pdf>. Acesso:11/07/15.

RETAMA, A.; BAUMGARDNER, D.; RAGA, G.B; MCMEEKING, G.R; WALKER, J.W. Seasonal and diurnal trends in black carbon properties and copollutants in Mexico City. **Atmos. Chem. Phys.**, v. 15, p. 9693-9709, 2015.

RIBEIRO, H; ASSUNÇÃO, J. V. Efeitos das queimadas na saúde humana. **Estudos Avançados**, v. 16, n. 44, p. 125-148, 2002.

ROBBINS, S. L.; COTRAN, R. S.; KUMAR, V. Patologia Básica. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1992.

ROCCO, J. **Efeitos da poluição atmosférica na área do Aeroporto Internacional de São Paulo - Guarulhos sobre ensaio de bioindicadores vegetais**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós Graduação da Medicina da Universidade de São Paulo - USP, 2008.

SALDIVA, P.H.N. et al. Meio ambiente e saúde: o desafio das metrópoles. São Paulo: Ex Libris, 2010.

SALGADO, P. E. T.. Informações Gerais e Ecotoxicológicas de Material Particulado. Série **Cadernos de Referência Ambiental**, v. 14, p. 1- 112, 2003.

SANTANA, E. , CUNHA, K. B., FERREIRA, A. L., ZAMBONI, A. Padrões de Qualidade do ar: Experiência comparada do Brasil, EUA e União Europeia. São Paulo: IEMA, 2012.

SANTOS, M. Técnica, espaço, tempo. Globalização e meio técnico científico informacional. São Paulo: Hucitec, p. 190, 1994.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Padrões de Qualidade do ar. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/Informa??es-B?sicas/22-Prdr?es-e-?ndices>>. Acesso em: 3 dez. 2014.

SÃO PAULO. Decreto Estadual Nº. 59.113, de 23 de abril de 2013. Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas. Diário Oficial do Estado de São Paulo. Poder Executivo, 2013.

SAINT-GEORGES, F.; GARÇON, G.; ESCANDE, F.; ABBAS, I.; VERDIN, A.; GOSSET, P.; MULLIEZ, P.; SHIRALI, P. role of air pollution particulate matter (PM_{2.5}) in the occurrence of loss of heterozygosity in multiple critical regions of 3p chromosome in human epithelial lung cells (1132). **Toxicology Letters**, v. 187, n. 3, p.172-179, 2009.

SAVÓIA E. J., DOMINGOS, M., GUIMARÃES, E. T., BRUMATI, F., SALDIVA, P. H. D. Biomonitoring genotoxic risks under the urban weather conditions and polluted atmosphere in Santo André, SP, Brazil, through Trad-MCN bioassay. **Ecotoxicology Environmental**, v. 72, p. 255-260, 2009.

SEINFELD, J.H. Urban air pollution: state of the science. **Science**, v. 243, p. 745-752, 1989.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. 2. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., p. 1225, 2006.

SEINFRA – Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental do Complexo Industrial do Pecém, Fortaleza, Ceará, 2009.

SERBULA, M. S., MILJKOVIC, D. D., KOVACEVIC, R., ILIC, A. A. Assessment of airborne heavy metal pollution using plant parts and topsoil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.76, p. 209-214, 2012.

SGRIGNA, G., BALDACCHINI, C., ESPOSITO, B. R., CALANDRELLI, R., TIWARY, A., CALFAPIETRA, C. Characterization of leaf-level particulate matter for an industrial city using electron microscopy and X-ray microanalysis. **Science of the Total Environment**, v. 548–549, p. 91-99, 2016.

SHENG, N.; TANG, U. W. The first official city ranking by air quality in China - A review and analysis. **Cities**, v. 51, p. 139- 149, 2016.

SHUKLA, J. B.; MISRA, A. K.; SUNDAR, S.; NARESH, R. Effect on removal of gaseous pollutant and two different particulate matters from the atmosphere of a city. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 48, p. 832-844, 2008.

SIMON, E., BRAUN, M., VIDIC, A., BOGYÓ, D., FÁBIÁN, I., TÓTHMÉRÉSZ, B. Air pollution assessment based on elemental concentration of leaves tissue and foliage dust along urbanization gradient in Viena. **Environmental Pollution**, v. 159, n. 5, p. 1229-1233, 2011.

- SILVA, A. B.; ARAGÃO, M. R. S.; CORREIA, M. F.; SILVA, P. K. O. Caracterização da variabilidade do vento no Aeroporto Internacional de Fortaleza, Ceará. Parte 1: Análise da direção. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010, Belém (PA). Anais... 2010.
- SILVA, D. R., VIANA, V. P., MÜLLER, A. M., LIVI, F. P., DALCIN, P. T. Respiratory viral infections and effects of meteorological parameters and air pollution in adults with respiratory symptoms admitted to the emergency room. **Influenza Other Respir. Viruses**, v. 8, n. 1, p. 42-52, 2014.
- SILVEIRA, H. C., SCHMIDT-CARRIJO, M., SEIDEL, E. H., SCAPULATEMPO-NETO, C., LONGATTO-FILHO, A., CARVALHO, A. L, REIS, R. M., SALDIVA, P. H. N. Emissions generated by sugarcane burning promote genotoxicity in rural workers: a case study in Barretos, Brazil. **Environ. Health**, v. 12, n. 1, p. 87-93, 2013.
- SINGH, D. P.; GADI, R.; MANDAL, T. K. Characterization of particulate-bound polycyclic aromatic hydrocarbons and trace metals composition of urban air in Delhi, India. **Atmospheric Environment**, v. 45, n. 40, p. 7653-7663, 2011.
- SOLTANI, N.; KESHAVARZI, B.; MOORE, F.; VAKOL, T.; LAHIJANZADEH, A. R.; JAAFARZADEH, N.; KERMANI, M. Ecological and human health of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in road dust of Isfahan metropolis, Iran. **Science of the Total Environment**, v. 505, p. 712-723, 2015.
- SU, C., HAMPEL, R., RANCK, U., WIEDENSOHLER, A., CYRYS, J., PAN, X., WICHMANN, H. E., PETERS, A., SCHNEIDER, A., BREITNER, S. Assessing responses of cardiovascular mortality to particulate matter air pollution for pre-, during- and post-2008 Olympics periods. **Environ. Res.**, v. 142, p. 112-122, 2015.
- SUDO, K., AKIMOTO, H. Global source attribution of tropospheric ozone: long-range transport from various source regions. **J. Geophys. Res.**, v. 112, D12302, 2007.
- SUNDSETH, K; LOPEZ- APARICIO, S.; SUNDVOR, I. Bioethanol vehicle transport in Oslo as climate policy: what are the social economic costs resulting from acetaldehyde pollution effects?. **J. Clean. Prod.**, v. 108, p. 1157-1167, 2015.
- SZWARCFITER, L. **Avaliação do potencial de programas de inspeção e manutenção e de renovação acelerada da frota**. 2004. 274 f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- SYKOROVÁ, B.; KUCBEL, M.; RACLAVSKY, K. Composition of airborne particulate matter in the industrial area versus mountain area. *In press* doi:10.1016/j.pisc.2015.12.006, 2015.
- TORRES, F. T. P.; MARTINS, L. A. Fatores que influenciam na concentração do material particulado inalável na cidade de Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 4, n. 16, p. 23-39, 2005.

TSAI, M. Y. et al. Spatial variation of PM elemental composition between and within 20 European study areas – Results of the ESCAPE project. **Environ. Int.**, v. 84, p. 181-192, 2015.

VÁLIO, V. M. Análise do material particulado em uma região de São Carlos-SP. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, 2015.

VET, R. et al. A global assessment of precipitation chemistry and deposition of sulfur, nitrogen, sea salt, base cations, organic acids, acidity and pH, and phosphorus. **Atmos. Environ.**, v. 93, p. 3-100, 2014.

VIEIRA, L. M. **Avaliação da qualidade do ar em um porto através de parâmetros físico-químicos e toxicológicos**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental), Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2007.

VIEIRA, N. R. **Poluição do ar**: indicadores ambientais. Rio de Janeiro: E-papers, p. 220, 2009.

VIEIRA-FILHO M. S.; LEHMANN, C.; FORNARO, A. Influence of local sources and topography on air quality and rainwater composition in Cubatão and São Paulo, Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 101, p. 200-208, 2015.

WALLACE, J. M. *Atmospheric Science*. Academic Press, 1977, 467 p.

WANG, H., ZHOU, L., TANG, X. Ozone concentrations in rural regions of the Yangtze Delta in China. **J. Atmos. Chem.** v. 54, p. 255–265, 2006.

WANG, K. Y., CHAU, T. T. An association between air pollution and daily outpatient visits for respiratory disease in a heavy industry area. **Plos One**, v. 8, p. 75220, 2013.

WANG, R.; HENDERSON, S. B.; SBIHI, H., ALLEN, R. W., BRAUER, M. Temporal stability of **land use regression models for traffic-related air pollution**. **Atmos. Environ.**, v. 64, p. 312–319, 2013.

WHO. World Health Organization (OMS). 1999. Disponível em <http://www.epa.gov/airtrends/>. Acessado em: 10/11/2013.

WHO. World Health Organization. Air guidelines for Europe. 2. ed. European Series N°. 91. Copenhagen: WHO Regional Publication, 2000. 273 p.

WHO. World Health Organization. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. Geneva: WHO, 2005. 20 p.

XU, J.; YAN, F.; XIE, Y.; WANG, F.; WU, J.; FU, Q. Impact of meteorological conditions on a nine-day particulate matter pollution event observed in December 2013, Shanghai, China. **Particuology**, v. 20, p. 69-79, 2015.

XU, J. H.; FLEITER, T.; FAN, Y.; EICHHAMMER, W. CO₂ emissions reduction potential in China's cement industry compared to IEA's Cement Technology Roadmap up to 2050. **Appl. Energy**, doi:10.1016/j.apenergy.2014.03.004, 2014.

XUE, L. K. et al. Ground-level ozone in four Chinese cities: Precursors, regional transport and heterogeneous. **Atmos. Chem. Phys.**, v. 14, p. 13175-13188, 2014.

YANG, C.; PENG, X.; HUANG, W. A time-stratified case-crossover study of fine particulate matter air pollution and mortality in Guangzhou, China. **Int. Arch. Occup. Environ. Health**, v. 85, p. 579-585, 2012.

YUAN, J.M.; BUTLER, L.M.; GAO, Y. T.; MURPHY, S. E.; CARMELLA, S. G.; WANG, R.; NELSON, H. H.; HECHT, S. S. Urinary metabolites of a polycyclic aromatic hydrocarbon and volatile organic compounds in relation to lung cancer development in lifelong never smokers in the Shanghai Cohort Study. **Carcinogenesis**, v. 35, p. 339-340, 2014.

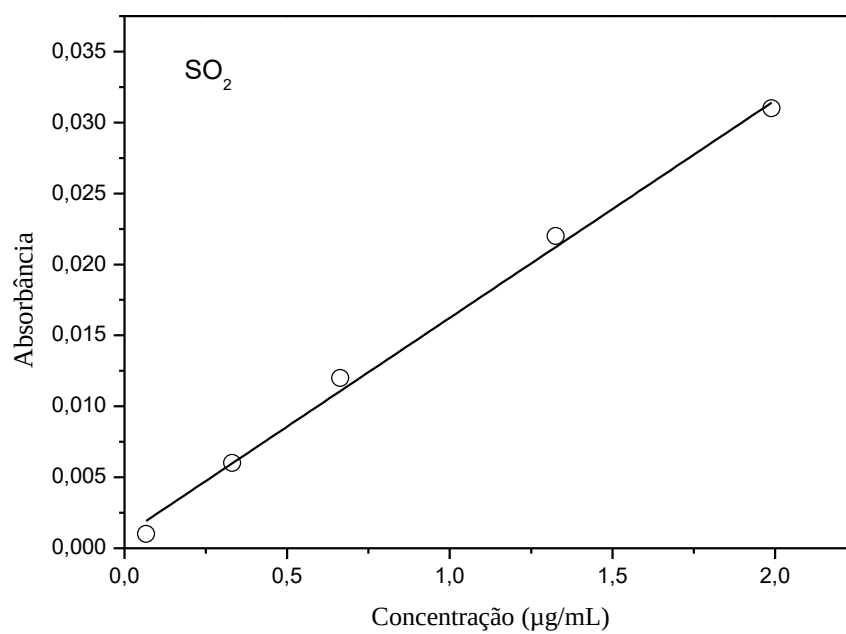
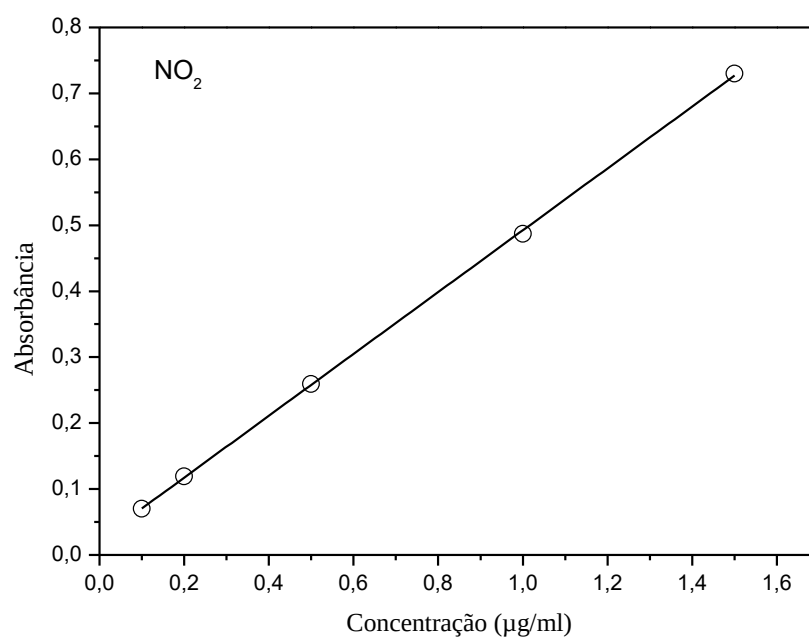
ZENG, X.; XU, X.; ZHENG, X.; REPONEN, T.; CHEN, A.; HUO, X. Heavy metals in PM_{2.5} and in blood, and children's respiratory symptoms and asthma from an e-waste recycling area. **Environ Pollut.**, v. 210, p. 346-353 2016.

ZHANG, N.; JUNJI, C.; XU, H.; ZHU, C. Elemental compositions of PM_{2.5} and TSP in Lijiang, southeastern edge of Tibetan Plateau during pre-monsoon period. **Particuology**, v.11, p. 63-69, 2013.

ZHANG J. J.; SAMET, J. M. Chinese haze versus Western smog: lessons learned. **J. Thorac Dis.**, v. 7, n. 1, p. 3-13, 2015.

ZHANG, L.; DONG, L.; YANG, W.; ZHOU, L.; SHI, S.; ZHANG, X.; NIU, S.; LI, L. WU, Z.; HUANG, Y. Passive air sampling of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in the Yangtze River Delta, China: Concentrations, distributions, and cancer risk assessment. **Environmental Pollution**, v. 181, p. 159-166, 2013.

ANEXOS

Anexo 1 – Curvas de calibração para NO₂ e SO₂.

Anexo 2 – Curvas de calibração para os metais Fe, Cu, Pb e Ni.