INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES

Autarquia associada à Universidade de São Paulo

**Quantificação e estimativa de material particulado no porto de Santos com
suporte da técnica LIDAR.**

MARIA HELENA GONÇALVES DE ANDRADE SALANI

Dissertação apresentada como parte
dos requisitos para obtenção do Grau de
Mestre em Ciências na área de
Tecnologia Nuclear-Materiais

Orientador:
Prof. Dr. Eduardo Landulfo

**SÃO PAULO
2018**

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia associada à Universidade de São Paulo

**Quantificação e estimativa de material particulado no porto de Santos com
suporte da técnica LIDAR.**

MARIA HELENA GONÇALVES DE ANDRADE SALANI

Dissertação apresentada como parte
dos requisitos para obtenção do Grau de
Mestre em Ciências na área de
Tecnologia Nuclear-Materiais

Orientador:
Prof. Dr. Eduardo Landulfo

Versão corrigida

(Versão original encontra-se na unidade que aloja o Programa de Pós-graduação)

SÃO PAULO
2018

Auxílio CAPES : Processo nº 88882.161639/2017-01

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Salani, Maria Helena Gonçalves de Andrade. Quantificação e Estimativa de material particulado no porto de Santos com suporte da técnica Lidar. 2018. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares- IPEN-CNEN/SP. São Paulo.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: Maria Helena Gonçalves de Andrade Salani

Título: Quantificação e Estimativa de material particulado no porto de Santos com suporte da técnica Lidar.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Nuclear da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Data ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

*Dedico esse trabalho ao meu marido, aos meus filhos, genros, nora, netos, a
minha mãe e ao meu pai (in memoriam).*

Maria Helena

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela benção da vida, pela luz no meu caminho.

Ao meu esposo e companheiro, Maurício Salani por me manter firme sempre com a certeza de que sou muito amada.

À minha família, que com paciência soube compreender os momentos de ausência.

Aos meus filhos Maurício e Guilherme pelo suporte com o Excel.

Aos meus netos Vittor, Helena, Mauricinho e Manuela que com sua luz me permitem ver além do presente.

Ao meu genro, Hélio Marinho que me auxiliou disponibilizando serviços da Praticagem Santos e ao comandante, Helder Puía da Praticagem Santos, por colaborar e disponibilizar informações .

Às amigas do grupo “Loucas das Nuvens” Elaine Araújo, Fernanda, Gigi, Izabel e Thaís, rimos, choramos, nos divertimos e trabalhamos.

Ao grupo Leal e INCITE pelo apoio e troca de conhecimentos.

Às amigas Renata, Márcia e ao amigo Fábio pela paciência com explicações referentes ao trabalho.

Ao amigo e orientador Eduardo Landulfo por acreditar no meu potencial, por me motivar a desenvolver um trabalho com qualidade, pela parceria e empenho.

À CAPES (Processo nº 88882.161639/2017-01) que me auxiliou financeiramente permitindo a realização desse trabalho.

*“Adquirir conhecimento é uma oportunidade que todos têm, porém,
compartilhá-lo é desprendimento, é grandeza.”*

Maria Helena Salani

RESUMO

SALANI, Maria H. G. A. Quantificação e identificação da presença de material particulado no porto de Santos pela técnica lidar e estimativa das emissões por navio e operações com grãos. 2018. 103 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP. São Paulo.

Um porto é uma organização dinâmica que possui áreas críticas que abrigam fontes emissoras de poluentes, como indústrias em seu entorno, modais terrestres (caminhões e trens), operações com carga e descarga de grãos agrícolas, fluxo de navios, entre outros. Neste estudo foi utilizada a modelagem desenvolvida em 2009 pela *Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories* da Agência Americana de Proteção ao Meio Ambiente (US EPA), que estima os fatores de emissão de material particulado por navios considerando a energia, a característica e o tempo de atividade de cada embarcação, o fator de carga de propulsão e o fator de emissão para cada poluente. Para estimar as emissões fugitivas de material particulado provenientes de operações portuárias com milho, grãos de soja e farelo de soja foi utilizada a modelagem desenvolvida em 2006 pelo *Group Emissions Factor US EPA*, que considera o volume de carga movimentada, velocidade do vento, umidade do material e fator de tamanho das partículas. Os resultados, referente aos meses de maio e agosto de 2017, em conjunto com os dados coletados em 16 de maio de 2017 pela técnica LIDAR, indicam que as emissões de material particulado pelos navios têm sua maior taxa de emissão para MP₁₀ (moda grossa). Para as emissões fugitivas em operações com grãos, os resultados mostraram que as maiores emissões são provenientes de operações de soja em grãos. Em suporte às modelagens, foi utilizada a técnica LIDAR (*Light Detection And Ranging*) de sensoriamento remoto que utiliza radiação luminosa, e está baseada na emissão de um feixe de radiação eletromagnética que permite a obtenção de medidas a distância através da radiação retroespalhada. O pulso de luz emitido para a atmosfera interage com as partículas e moléculas que agem como espalhadoras. Os dados coletados são inseridos no programa *Mathematica*, e os valores obtidos inseridos na plataforma *PYTON* gerando gráficos. Os dados foram coletados em 16 de maio de 2017, com medidas em diferentes horários e identificada a possível

presença de material particulado (MP) na região do porto. O porto de Santos, está localizado no centro do litoral do estado de São Paulo, é o maior porto da América Latina e um dos principais conflitos nessa região são as emissões de material particulado.

Palavras-chave: lidar, sensoriamento remoto, material particulado.

ABSTRACT

SALANI, Maria H. G. A. Quantification and identification of the presence of particulate matter in the port of Santos by the technique of handling and estimation of emissions by ship and operations with grains. 2018. 103 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares- IPEN-CNEN/SP. São Paulo.

A harbor is a dynamic organization that has critical areas that contain pollutants sources such as industries in its surroundings, terrestrial modal (trucks and trains), operations with loading and unloading of agricultural bulk, ship flow, among others. This study used the model developed by the Current Methodologies in Preparing Mobile Source of the US Environmental Protection Agency (US EPA), which estimates the emission factors of particulate matter by ships considering the energy, characteristic and time of activity of each vessel, the propulsion load factor and the emission factor for each pollutant. To estimate fugitive emissions of particulate matter from port operations with corn, soybeans and soybean meal was used to model developed by Group Emissions Factor US EPA, which considers the volume of load handled, speed wind, humidity of the material and particle size factor. The results, referring to the months May and August of 2017, together with the data collected on May 16, 2017 by the LIDAR technique, indicate that emissions of particulate matter by ships have their highest emission rate for PM₁₀ (coarse mode). For fugitive emissions of particulate matter in grain operations, the results showed that the highest emissions are from soybean grain operations. In support of modeling, it was used the LIDAR technology (Light Detection And Ranging) remote sensing which uses light radiation, and is based on the emission of an electromagnetic radiation beam that allows to obtain measurements at a distance by backscattering radiation. The pulse of light emitted into the atmosphere interacts with the particles and molecules that act as spreaders. The collected data are inserted into the Mathematica program and the values obtained are inserted into the PYTHON platform generating graphs. The data were collected on May 16, 2017, with measurements at different times and identified the possible presence of particulate matter (PM) in the harbor region. The harbor of Santos, is located in the center of

the coast of the state of São Paulo, is the bigger harbor in Latin America and one of the main conflicts in this region are emissions of particulate matter.

Keywords: Lidar, remote sensing, particulate matter.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVO	17
1.2 Descrição da Área de Estudo	18
1.2.1 Estuário de Santos	18
1.2.2 Porto de Santos	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1 Atmosfera Terrestre	24
2.1.1 Composição Química da Atmosfera	25
2.1.2 Ciclo de Vida e Dispersão	27
2.2 Poluição Atmosférica	29
2.2.1 Poluentes Atmosféricos	33
2.2.2 Classificação dos Poluentes	35
2.3 Material Particulado	41
2.3.1 Portos e Material Particulado	44
2.4 Espalhamento e Extinção de Luz em Moléculas e Partículas	47
2.5 Sensoriamento Remoto	48
2.6 Técnica LIDAR	50
2.6.1 Configurações do LIDAR	52
2.7 Equação LIDAR	55
3 MATERIAIS E MÉTODOS	61
3.1 LIDAR	61
3.1.1 Corrente Escura	63
3.2 Tomada de Medidas	64
3.3 Estimativa de Emissões de Navio	65
3.3.1 Atividade (A)	66
3.3.2 Fator de Carga (FC)	68
3.3.3 Potência do Motor	71
3.3.4 Fator de Emissão (FE)	72
3.4 Estimativa de Emissões Fugitivas de Material Particulado	73
3.5 Estimativa das Concentrações das Emissões	77
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	80

4.1 Resultados Sistema LIDAR	80
4.2 Estimativas e Resultados	93
4.3 Resultados de Emissões por Navios	106
4.4 Resultados de Emissões Fugitivas	109
5 CONCLUSÕES	112
REFERÊNCIAS	114

1 INTRODUÇÃO

A complexidade da estrutura atmosférica das grandes cidades propicia crescente dificuldade para identificar e quantificar suas fontes poluidoras (Andrade, 2016), impactando diretamente nas questões de redução de emissões visando a melhoria da saúde da população.

A atmosfera é um sistema realmente dinâmico com gases constituintes sendo mudados constantemente por processos químicos naturais e antrópicos dentro da própria atmosfera por atividade biológica, emissão vulcânica, decaimento radiativo e atividades industriais humanas (SEINFELD e PANDIS, 1998).

Segundo MOUVIER (1996), devido a contaminação de outros gases, incluindo a presença de partículas líquidas ou sólidas, bem como poluentes mais ou menos nocivos, faz com que o ar puro que seria constituído unicamente por oxigênio e azoto, não exista na natureza.

Os gases são dispersos da atmosfera por reações químicas ocorridas na atmosfera, por atividade biológica, por processos físicos como a formação de partículas, e pela deposição e absorção pelos oceanos e massas de terra (SEINFELD e PANDIS, 1998).

Poluição é qualquer fator que altera o aspecto do sistema original; seja água, ar, solo, etc. Já a contaminação tem fatores patógenos ou químicos que alteram estas características (AMORIM, 2015).

O monitoramento da qualidade do ar, realizado para verificar a concentração de poluentes na atmosfera, pode avaliar o risco da população exposta, e seus resultados possibilitam a tomada de decisão e execução de planos de ação para mitigar quadros severos de poluição do ar.

Nesse trabalho, o monitoramento da qualidade do ar é realizado através de dados coletados por sensoriamento remoto pela técnica lidar, e por estimativas das taxas de emissões de material particulado por emissões de navios obtidas por modelagem matemática indicada pela *Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories* (United State Environmental Protection Agency - US EPA, 2009).

Para a estimativa da concentração de material particulado por emissões fugitivas com operações de carga e descarga de grãos de soja, farelo de soja e

grãos de milho no Porto de Santos no estado de São Paulo, foi utilizada modelagem proposta pela *AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emission Factors* (US EPA, 2006).

Na seção 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES, é feito um comparativo entre as taxas de concentrações de material particulado por emissões de navios e operações com grãos, e os índices fornecidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) no período do estudo. Também são mostrados os gráficos obtidos pelo sistema LIDAR.

1.1 Objetivo

O objetivo desse estudo, é quantificar a presença de material particulado na região portuária de Santos, provenientes das emissões de navios e operações com cargas de graneis agrícolas, utilizando modelagens desenvolvidas pela US EPA e identificar a presença de material particulado por meio da técnica LIDAR.

1.2 Descrição da área de estudo

Santos é uma das mais antigas cidades do Brasil, foi fundada em 26 de janeiro de 1546 pelo nobre português Brás Cubas. É a maior cidade do litoral paulista, com uma população de 433.565 habitantes, segundo o Censo 2014 (Instituto Brasileiro de Geografia Estatística/IBGE), e segundo o mesmo órgão, é a 14ª mais rica do país, com produto interno bruto (per capita) de R\$ 89.198,17 reais.

A cidade ocupa uma área total de 271 km², dos quais 39,4 km² são de área insular e 231,6 km², são de área continental, que está localizada a 72 quilômetros da capital e facilmente acessada pelas rodovias Anchieta e Imigrantes.

O maior gerador de receita e renda para a cidade é o Porto de Santos, devido a entrada e saída de cargas de todo o Brasil, tanto que o município é a segunda cidade que mais arrecada impostos no Estado, atrás apenas da capital.

O Porto de Santos é o maior da América Latina, com 13 quilômetros de extensão e por onde passa mais de um quarto de todas as cargas que entram e saem do Brasil, configuram como principal fonte de riquezas do município, fazendo de Santos a cidade da Região Metropolitana da Baixada Santista mais importante economicamente e uma das mais ricas do país.

Outros setores economicamente importantes para Santos, são o Turismo, Serviços e Pesca. Atualmente, a exploração da camada do pré-sal de petróleo e gás na Bacia de Santos pela PETROBRAS, também é fator impactante, tendo em vista que movimenta todos os setores da economia santista, como por exemplo, o setor imobiliário, comercial, turístico.

1.2.1 Estuário de Santos

Sistemas estuarinos estão propensos a um conjunto de influências de substâncias que são introduzidas por diversas fontes, dentre elas a deposição atmosférica. Essas áreas em geral apresentam forte gradiente de concentração de substâncias químicas, constituindo regiões nas quais as matérias orgânicas e os nutrientes são transformados, retidos ou eliminados. (TOMMASI, 1979; GARNIER et al.2010).

Segundo PARREIRA (2012), além da contaminação direta por efluentes contaminados, os estuários também podem sofrer contaminação de forma indireta, através de deposição atmosférica que pode ser uma das formas principais da contaminação do meio ambiente aquático por poluentes de bifenilas policloradas (PCB's), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH's), dioxinas e furanos, gerados por processos de combustão, em grande parte das indústrias.

Outra forma de contaminação indireta, são provenientes das águas de drenagem superficial, que levam partículas e substâncias para os cursos d'água, especialmente grandes pátios de estocagem de matérias primas e produtos a céu aberto, como por exemplo, fertilizantes. Dessa forma, o estuário de Santos é um local receptor de poluição.

O Estuário de Santos, está localizado na Bacia Hidrográfica da Baixada Santista, além do município de Santos, margeia as cidades de São Vicente, Cubatão e Guarujá (Figura 1.1).

Figura 1.1- Estuário de Santos.

Estuário De Santos e as cidades Santos, São Vicente, Cubatão e Guarujá.
Fonte: Google Earth, 2015

De acordo com PARREIRA (2012) o clima da região do Estuário, é tropical úmido com altos índices pluviométricos, apresentando uma temperatura média anual de 20°C e pluviosidade anual entre 2.000 e 2.500 mm.

Conforme publicado no Relatório de Qualidade do Ar (CETESB, 2018), em 2017, o total de chuvas em Santos foi acima da média climatológica anual. Entretanto, os meses de fevereiro, julho e setembro tiveram precipitação abaixo das respectivas médias mensais.

Ainda de acordo com o relatório da CETESB (2018), o mês de maio foi marcado por chuvas acima da média em praticamente todo o Estado, com exceção de Registro e Santos, como consequência de passagens de sistemas frontais. No mês de junho, as chuvas foram acima da média climatológica na RMSP, Baixada Santista e nas regiões Sul e Sudoeste.

De maneira geral os ventos são fortemente afetados pelo sistema meteorológico de mesoescala denominado brisa, que pode ser marítima, com o vento soprando do mar para o continente, cujo início se dá no final da manhã atuando até o meio da noite, ou terrestre, cujos ventos sopram da terra para o mar, tendo seu início no final da noite até o início da manhã (PARREIRA, 2012).

Quando há massas de ar (frio ou quente), sistemas frontais, entre outros, o efeito da circulação dos ventos destes sistemas se superpõe aos das brisas.

A CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, órgão da Secretaria Estadual de Meio Ambiente, é responsável pelo monitoramento da qualidade do ar santista verificando e quantificando a presença de poluentes na atmosfera da região, atendendo de forma otimizada a uma série de objetivos fornecendo informações como:

- os mais altos níveis de concentração de poluentes esperados para a área de abrangência da rede;
- as concentrações representativas das áreas de maior densidade populacional;
- o impacto da poluição no meio ambiente devido a determinadas fontes ou grupos de fontes;
- os níveis médios de concentração de poluentes na atmosfera para a região.

O monitoramento da qualidade do ar ocorre desde a década de 1980, primeiramente com uma estação manual de monitoramento de fumaça e dióxido de enxofre, localizada na Policlínica do Embaré.

Desde 2011, o município conta com duas estações automáticas, localizadas no Bairro do Boqueirão, região urbana de Santos. Outra estação tem sua localização na Ponta da Praia (Figura 1.2), na Praça Engenheiro José Rebouças, s/nº, Ponta da Praia, cujas coordenadas geográficas são, latitude 23°58'52.69"S e longitude 46°18'00.45"O (CETESB 2015).

Figura 1.2- Estações CETESB

Localização das estações CETESB e fontes emissoras de material particulado.

Fonte: Google Earth, 2015

De acordo com o Relatório de 2015 da CETESB, o objetivo do monitoramento nesse setor (Figura 1.2) que está localizado a distâncias que variam de 650 a 900 metros a sudeste-nordeste (SE-NE) da estação de monitoramento, é

avaliar os impactos das emissões de poluentes provenientes das atividades do Porto de Santos na Região da Ponta da Praia (entrada do estuário).

As emissões podem ser oriundas do transporte e da movimentação de grãos, da movimentação de veículos no entorno, onde o tráfego de caminhões é bastante intenso, principalmente os pesados, da queima de combustível dos navios, de indústrias químicas, armazenamento de fertilizantes, entre outras.

A estação localizada na área portuária conta com aparelhos modernos para medição de níveis de material particulado (poeira) e de ozônio (produzido pela combustão de veículos no ar). De hora em hora é emitido boletim que informa a qualidade do ar na região, e tem como objetivo avaliar os impactos das emissões de poluentes provenientes das atividades do Porto de Santos nessa região da cidade.

1.2.2 Porto de Santos

Com a expansão da cultura do café, originou-se a necessidade de novas instalações portuárias. A exploração e construção do Porto de Santos foi autorizada pelo Decreto Imperial nº 9979, de 12 de julho de 1888. Com base em projeto do engenheiro Saboya e Silva, envolvendo um cais, aterro, via férrea e edificações para armazenagem.

A assinatura do contrato de concessão ocorreu em 20 de julho de 1888, pela empresa Gaffrée, Guinle & Cia, com sede no Rio de Janeiro, que depois se tornou Empresa de Melhoramentos do Porto de Santos e por fim Companhia Doca de Santos. A inauguração do porto se deu em 1892, com a atracação do vapor Nasmith, de bandeira inglesa. A partir de 7 de novembro de 1980, a administração foi assumida pela Companhia Docas do Estado de São Paulo (CODESP).

Está localizado no centro do litoral do estado de São Paulo, estendendo-se ao longo de um estuário limitado pelas ilhas de São Vicente e de Santo Amaro, distando 2 km do oceano Atlântico. No porto, circulam diversos produtos como café, açúcar, laranja, algodão, carvão, trigo, sucos cítricos, soja, veículos, grânéis líquidos diversos, fertilizantes.

Em 2013, o Porto de Santos superou a marca dos 114 milhões de toneladas movimentadas, antecipando em um ano a projeção para 2014 que era

de 112,6 milhões de toneladas demonstrando assim o avanço econômico nacional e consequentemente da região (CODESP 2015).

A poluição atmosférica no porto pode advir tanto da operação de carga e descarga, como da atividade industrial, mas principalmente das descargas atmosféricas dos navios, e dos veículos utilizados para o transporte, podendo ser rodoviários ou ferroviários (SILVA et al, 2005).

A movimentação de carga como alguns grânéis sólidos, carvão, soja em farelo, fertilizante, bauxita entre outros, também pode ser uma fonte geradora de poeira.

A poeira é o elemento sólido presente no ar proveniente da atividade portuária, lançada pelo movimento da carga ou sua transformação em instalações do porto organizado. Produz danos à saúde do ser humano, às edificações, reduzindo inevitavelmente a qualidade do ar, com efeitos visuais desagradáveis (SILVA et al., 2005). No ser humano pode produzir alergias, doenças do sistema respiratório e outras enfermidades.

A situação do porto de Santos é crítica, e se somarmos as emissões dos transportes rodoviário e ferroviário, o quadro agrava-se ainda mais. Aliás, no que diz respeito à poluição aérea, as emissões por parte do transporte rodoviário (90% da logística terrestre) representam um risco tão grande quanto o causado pelos navios (SILVA et al, 2005).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Atmosfera Terrestre

A atmosfera é uma camada gasosa que envolve a Terra e através de um conjunto de funções permite a vida no planeta e o protege.

A atmosfera está dividida em camadas, a Troposfera e Estratosfera as mais próximas da superfície terrestre, e as camadas Mesosfera, Termosfera e Exosfera como é apresentado na Figura 2.1.

Figura 2.1-Camadas da atmosfera.

Fonte: Figura adaptada de Atmospheric Science; Hobbs and Wallace, 2006.

A troposfera e a estratosfera são as camadas mais próximas da superfície terrestre e, que sofrem ação da poluição do ar (ANDRADE, 2016). Essas duas camadas, compõem a baixa atmosfera e a estratosfera apresenta maior estabilidade, se opondo a troposfera que é termodinamicamente muito instável e tem variação negativa de temperatura em função da altura. A altitude média da troposfera em relação a superfície terrestre é de 10 a 15 Km e, é onde se encontra

a maior parte dos poluentes atmosféricos, sofrendo transportes e reações químicas (SANTOS JÚNIOR, 2015).

2.1.1 Composição química da atmosfera

No início da Terra acredita-se que a atmosfera era uma mistura de dióxido de carbono (CO_2), diáximo (N_2), e vapor de água (H_2O), com quantidades vestigiais de Hidrogênio (H_2), uma mistura semelhante à emitida por vulcões.

A atmosfera primitiva e a atmosfera atual, tem pouca semelhança, a primitiva era uma mistura de gases reduzidos como o hidrogênio (H_2) e metano (CH_4), a maior parte do vapor d'água evaporado do interior da Terra, foi condensado da atmosfera formando os oceanos, e o CO_2 desgaseificado depois de diluído nos oceanos formaram as rochas sedimentares carbonadas (SEINFELD e PANDIS, 1998).

A atmosfera atual, como apresentada na Tabela 2.1 é composta por uma mistura de gases onde predomina o nitrogênio (N_2) com 78%, o oxigênio (O_2) com 21%, argônio (Ar) com 1%, além de outros constituintes com menos de 1%. Dentre esses constituintes está o vapor d'água com 0,25% encontrado na baixa atmosfera, sendo altamente variável com concentrações em torno de 0,5% (HOBBS e WALLACE, 2006).

Outros componentes, também apresentados na Tabela 2.1, são os gases traço que representam 1% da atmosfera e tem o papel de equilibrar a radioatividade da Terra e as propriedades químicas da atmosfera. Sua presença pode ser atribuída a processos geológicos, biológicos, químicos e antropogênicos. Alguns, como o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), ozônio (O_3), dióxido de nitrogênio (NO_2) e dióxido de enxofre (SO_2), são de grande importância ambiental (FORNARO, 2013; SEINFELD e PANDIS, 1998).

Tabela 2.1- Composição da atmosfera

Gases da Atmosfera	Massa Molecular (g)	Concentração Fracionada por volume
Nitrogênio (N ₂)	28,013	78,08%
Oxigênio (O ₂)	32,000	20,95%
Argônio (Ar)	39,95	0,93%
Vapor d'água (H ₂ O)	18,02	0 – 5%
Dióxido de Carbono (CO ₂)	44,01	380 ppm
Neônio (Ne)	20,18	18 ppm
Hélio (He)	4,00	5 ppm
Metano (CH ₄)	16,1	1,75 ppm
Criptônio (Kr)	83,80	1 ppm
Hidrogênio (H ₂)	2,02	0,5 ppm
Óxido de Nitrogênio (N ₂ O)	56,03	0,3 ppm
Ozônio (O ₃)	48,00	0 – 0,1 ppm

Apresentação dos gases predominantes N₂, O₂, Ar, vapor d'água e gases traços na atmosfera terrestre.

Fonte: Adaptado de Hobbs e Wallace (2006).

Os constituintes gasosos restantes, os gases traço, representam menos de 1% e desempenham um papel crucial no balanço da radiação da Terra, nas propriedades químicas da atmosfera (SEINFELD e PANDIS, 1998), conforme indicado na Tabela 2.1 cada concentração fracionada em volume está baseada no número de moléculas, ou pressões parciais exercidas por esses gases (SEINFELD e PANDIS, 1998).

Os constituintes da atmosfera terrestre são fundamentais para o funcionamento e equilíbrio da vida no planeta, no controle da temperatura, regulando as propriedades termodinâmicas da atmosfera, o clima e a precipitação, nos ciclos biogeoquímicos e no transporte de nutrientes essenciais para os seres vivos em geral (MONKS, 2009; SEINFELD e PANDIS, 1998).

A presença dos gases traço pode ser atribuída a processos geológicos, biológicos, químicos e antropogênicos. Alguns, como dióxido de carbono (CO₂),

Metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), Ozônio (O_3), dióxido de nitrogênio (NO_2) e dióxido de enxofre (SO_2) são de grande importância ambiental (FORNARO, 2013; SEINFELD e PANDIS, 1998).

A atmosfera é o destinatário de muitos dos produtos de nossa sociedade tecnológica. Estes efluentes incluem produtos da combustão de combustíveis fósseis e o desenvolvimento de novos produtos químicos sintéticos. Historicamente, essas emissões podem levar a consequências imprevistas na atmosfera. (SEINFELD e PANDIS, 1998).

O ciclo de vida dos gases traço depende de um conjunto de processos químicos e físicos que podem alterar a concentração de uma espécie, que por sua vez, altera o tempo de vida de outras.

2.1.2 Ciclo de Vida e Dispersão

O ciclo de vida dos gases traço depende de um conjunto de processos químicos e físicos, que podem alterar a concentração de uma espécie, deixando de ser uma espécie primária (proveniente direto da fonte de emissão) que por sua vez, através de reações químicas entre elas e os componentes presentes na atmosfera, pode alterar a concentração e tempo de vida de outras espécies, gerando uma espécie secundária (MAIOLI e NASCIMENTO, 2005).

O tempo de residência determina quanto tempo em média uma molécula permanecerá na atmosfera antes do processo de dispersão ou remoção que pode ser de segundos a centena de anos, como apresenta a Figura 2.2 (MAIOLI e NASCIMENTO, 2005; SEINFELD e PANDIS, 1998).

Figura 2.2- Tempo de residência de algumas espécies na atmosfera.

Tempo de permanência e escala espacial.
 Fonte: Maioli e Nascimento, (2005, p.9).

Os CFCs, CH_4 e N_2O são espécies de maior tempo de residência, podendo ser transportados à uma escala global. Os gases OH , NO_3 , e CH_3O_2 , são muito instáveis, possuem pouco tempo de residência (MAIOLI e NASCIMENTO, 2005).

Os processos de dispersão ou remoção podem ser por deposição seca ou úmida. A deposição seca, é sem precipitação, transfere o material tanto de espécies gasosas com massa específica superior à do ar, como particulada diretamente para a superfície da Terra devido a aceleração da gravidade (Seinfeld e Pandis, 1998).

A deposição úmida, transfere o material para a superfície terrestre em meio aquoso (chuva, neve, nevoeiro), podendo ser por dissolução, condensação do núcleo das nuvens (NCC) ou colisão (LEME, 2010; SEINFELD e PANDIS, 1998; MAIOLI e NASCIMENTO, 2005).

A remoção das partículas próximas a superfície terrestre se dá pela deposição seca e acima de 100 m da superfície por lavagem por precipitação. O cálculo do tempo de vida pode auxiliar na estimativa de quanto uma partícula pode se afastar de sua fonte e/ou permanecer na atmosfera antes de sua remoção.

2.2 Poluição Atmosférica

A poluição do ar é causada por todo tipo de atividade, fenômeno e substância presente na atmosfera em condições acima dos níveis ambientais normais e, que contribua para a deterioração da qualidade natural da atmosfera, causando males aos seres humanos e ao meio ambiente (US EPA, 2013; SEINFELD e PANDIS, 1998).

O ser humano consome em média 2 kg de água, 1,5 kg de alimentos e 15kg de ar por dia, podendo ficar cinco dias sem tomar água ou se alimentar, porém, não sobrevive mais que cinco minutos sem ar (LISBOA, 2007).

A poluição atmosférica, não é um processo recente e apesar de ter a participação da natureza, a responsabilidade humana é grande devido aos contínuos lançamentos de substâncias poluentes provenientes de atividades antrópicas para a atmosfera.

A origem dos problemas de poluição do ar de uma certa localidade, pode ser proveniente de um complexo somatório de emissões e concentração de substâncias presentes no ar (LUCON, 2003).

Algumas propriedades da atmosfera podem ser alteradas devido à poluição (LISBOA, 2007). Essas alterações podem causar problemas como:

- Visibilidade: pode ser comprometida com o levantamento de pó em determinadas áreas devido a velocidade dos ventos;
- Neblina: em massa de ar poluída a neblina é formada por gotículas d'água compostas por produtos químicos dissolvidos que favorecem a permanência em condições de subsaturação;
- Radiação urbana: a radiação recebida é menor, e partículas sólidas provenientes de cinzas e fuligem refletem a luz de volta para o espaço impedindo que a mesma chegue a Terra;

- Aumento da temperatura: o aumento da concentração de alguns constituintes como o metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) entre outros gases, podem causar alteração na temperatura;
- Chuva ácida: ocorre com o aumento de SO_x e CO na atmosfera.

Outros problemas também considerados muito graves causados pela poluição do ar, são o smog fotoquímico e a inversão térmica.

Smog que é a combinação das palavras *smoke* e *fog* (fumaça e neblina) é a mistura de névoa com partículas de fumaça, é formada quando o grau de umidade na atmosfera é elevado e o ar está praticamente parado. O smog como mostra a Figura 2.3, se forma sobre as cidades com maiores problemas de poluição na forma de uma bruma opaca, geralmente meio escura. O fenômeno pode ser agravado pelo aumento da incidência de raios UV na superfície terrestre (MEDEIROS, 2005).

Figura 2.3-Smog fotoquímico.

Visibilidade de um dia sem a presença de smog e de um dia com a presença de smog.
Fonte: Adaptado de Batista, 2016.

A inversão térmica, Figura 2.4 ocorre em situações em que o ar quente passa sobre o ar frio ficando acima dele, e por ser mais denso, o ar frio que ficou em baixo não sobe e o ar quente que ficou em cima do frio não desce. Na interseção

do ar quente com o frio forma-se uma camada de inversão que dificulta a dispersão das partículas de poluição mantendo-as na troposfera (MEDEIROS 2005).

Figura 2.4- Inversão térmica.

Apresentação de inversão térmica em relação ao fluxo normal do ar.
Fonte: Adaptado de Araújo, 2012

O nível de poluição atmosférica é medido pela concentração de substâncias poluentes presentes no ar e o grau de exposição dos receptores a tais substâncias, considerando-se processos físicos (diluição) e químicos como reações (LUCON, 2003).

Os problemas de poluição do ar são distintos e com características próprias e, para diferenciá-los utiliza-se uma escala de abrangência espacial como mostra a Tabela 2.2.

Tabela 2.2- Escala de Abrangência.

ESCALAS DE ABRANGÊNCIA ESPACIAL				
ESCALA DO PROBLEMA	ESCALA HORIZONTAL	ESCALA VERTICAL	ESCALA TEMPORAL	EXEMPLOS
MICRO	Ambientes fechados	< 100 m		Emissões de ar condicionado
LOCAL	Fontes e receptores muito próximos 500 a 4000 m	100 m	Horas	Tráfego local
URBANA	Centros Urbanos 4 km a 50 km	2 km	Dias	Emissões industriais e veiculares
REGIONAL	Cidades, regiões metropolitanas	TROPOSFERA	Meses	Poluentes transportados de regiões urbanas degradam regiões não ocupadas
GLOBAL	Em torno do Globo Terrestre	ATMOSFERA	Décadas	Redução da camada de Ozônio Gases de efeito estufa

Escala do Problema: dimensão do problema. Escala Horizontal: dimensão da região envolvida. Escala vertical: Camada atmosférica atingida. Escala temporal: tempo de duração do problema. Fonte: Adaptado de Lacava (2014), Cavalcanti (2010).

Com a expansão da urbanização, e o crescimento da frota motorizada, as fontes de poluição multiplicaram-se e concentraram-se, agravando ainda mais o problema, mesmo em áreas não industrializadas (LACAVA, 2014). A Tabela 5 mostra as diferenças nas concentrações entre os componentes atmosféricos do ar normal e do ar poluído (ARAÚJO, 2012).

Tabela 2.3- Composição do ar normal e do ar poluído.

COMPONENTE	AR NORMAL	AR POLUÍDO
Nitrogênio	78,09%	78,09%
Oxigênio	20,94%	20,94%
Argônio	0,93%	0,93%
Dióxido de Carbono	305-370 ppm	330-550 ppm
Monóxido de Carbono	0,12-0,9 ppm	10-360 ppm
Dióxido de Enxofre	0,0002 ppm	0,01-0,06 ppm
Dióxido de Nitrogênio	0,0005-0,02 ppm	0,12-0,25 ppm
Amônia	0,006-0,01 ppm	0,075-0,285 ppm

Fonte: Araújo, 2012.

2.2.1 Poluentes Atmosféricos

De acordo com a definição da U.S. EPA (2006), poluentes considera-se poluente atmosférico um ou mais produtos químicos ou substâncias em concentrações suficientemente elevadas no ar para prejudicar humanos, outros animais, vegetação ou materiais, como produtos químicos ou condições físicas (como excesso de calor ou ruído).

Os poluentes atmosféricos podem causar efeitos mais ou menos severos variando de acordo com sua composição e concentração no local em que está presente, conforme apresentado na Tabela 2.4.

Tabela 2.4- Efeitos causados por poluentes.

POLUENTE	EFEITOS
ÓXIDO DE ENXOFRE (SO _x)	<ul style="list-style-type: none"> - Irritação do aparelho respiratório e conjuntivas oculares - Tosse, rinite, queimadura dos olhos e pele. - Danos sobre a vegetação, alteração do processo fotossintético. - Corrosão em metais, - Descoloração em pinturas.
MATERIAL PARTICULADO (MP)	<ul style="list-style-type: none"> - Diminuição da visibilidade. - Doenças pulmonares (asma, bronquite, etc.). - Corrosivo. - Interfere na fotossíntese das plantas.
MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento do nível de carboxiemoglobina no sangue, levando a stress. - Deficiência na capacidade psicomotora, dor de cabeça, tontura, alucinação, depressão, angina, asfixia e morte.
DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> - Influência a longo prazo no aumento da temperatura da Terra e fenômenos relacionados. - Asfixia e morte.
DIÓXIDO DE NITROGÊNIO (NO ₂) (gás marrom)	<ul style="list-style-type: none"> - Tosse e catarro. - Dor no peito, edema pulmonar, Irritação nos olhos. - Taquicardia.
AMÔNIA (NH ₃) (gás incolor, em grande quantidade assemelha-se a fumaça branca)	<ul style="list-style-type: none"> - Irritação nos olhos, nariz e garganta. - Dispneia, espasmos nos brônquios. Dor no peito. - Edema pulmonar. - Queimadura na pele.
OZÔNIO (O ₃)	<ul style="list-style-type: none"> - Irritação dos olhos e mucosa. Edema pulmonar. - Doença respiratória crônica.

Principais poluentes e possíveis efeitos que podem causar.

Fonte: Lisboa (2007).

As fontes de poluentes provêm de processos naturais ou antrópicos (Tabela 2.5). São exemplos de fontes naturais os gases emitidos por erupções vulcânicas, atividades de gêiseres, decomposição de vegetais e animais, formação de gás metano nos pântanos, aerossóis marinhos, incêndios naturais em florestas e pólen das plantas.

As fontes antrópicas, compreendem diversos processos de operações industriais, queima de combustíveis fósseis, queimadas agrícolas, produtos voláteis, entre outros (ALMEIDA, 1999).

Tabela 2.5- Fontes de poluentes.

MODALIDADE DE FONTES	TIPOS DE FONTES	POLUENTES
Antropogênicas Fixas	Processos Industriais.	MP, SO _x , NO _x , CO, HC.
	Construção Civil	MP
	Queima ao Ar Livre e Queimadas	MP, SO _x , NO _x , CO, HC, Fumaça
	Exploração, Beneficiamento, Movimentação e Estocagem de Materiais Fragmentados	MP
Antropogênicas Móveis	Avião (gasolina e/ou querosene)	NO _x , HC, MP
	Navios e Barcos (diesel/óleo combustível); Caminhão e Ônibus (diesel)	MP, SO _x , NO _x , CO, HC
	Automóveis e Motocicletas (gasolina/álcool)	MP, NO _x , CO, HC, Aldeídos
NATURAIS	Oceânica	MP
	Decomposição Biológica	SO _x , H ₂ S, HC, Composto de Enxofre
	Praias e Dunas	MP
	Queimadas	MP, SO _x , NO _x , CO, HC
	Erosão Eólica do Solo e Superfície	MP

SO_x - Óxidos de Enxofre; NO_x - Óxidos de Nitrogênio; CO - Monóxido de Carbono; HC - Hidrocarbonetos; MP - Material Particulado e H₂S - Ácido Sulfídrico.

Fonte: Maioli, 2005.

A origem ou fonte dos poluentes atmosféricos são diversas sendo que as naturais, estão espalhadas por toda Terra variando sua intensidade ao longo de sua existência, tornando-as em alguns casos mais importantes do que algumas fontes antrópicas (CAVALCANTI, 2010).

A dispersão de poluentes na atmosfera pode sofrer influência de alguns fatores como temperatura, inversão térmica, direção e velocidade do vento, radiação solar, umidade e precipitação, entre outros (CETESB, 2015).

2.2.2 Classificação dos Poluentes.

A variedade das substâncias que podem ser encontradas na atmosfera é muito elevada, o que dificulta a classificação dos poluentes. De um modo geral, são divididos de acordo com suas fontes (primárias ou secundárias).

Os primários são os originados diretamente da fonte de emissão e os secundários são formados na atmosfera através de reações químicas entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera (CETESB, 2017).

Os poluentes também podem ser classificados quanto ao estado físico e composição e estabilidade química. O estado físico compreende os gases e vapores e partículas sólidas e líquidas (NUNES, 2015), a composição química compreende os poluentes orgânicos e inorgânicos.

Quanto a estabilidade química os poluentes podem ser instáveis ou estáveis. Os instáveis, após sua emissão sofrem mudanças na composição química decorrentes de reações com outros compostos, os estáveis, não sofrem alterações após a emissão para a atmosfera (MAIOLI, 2005).

Devido a maior frequência de ocorrência e dos efeitos adversos que causam são considerados principais poluentes atmosféricos:

- Monóxido de Carbono (CO),
- Ozônio (O₃),
- Óxidos de Nitrogênio (NO_x),
- Óxidos de Enxofre (SO_x),
- Hidrocarbonetos (HC),
- Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) e
- Material Particulado (MP)

A Tabela 2.6 mostra os principais poluentes suas características, principais fontes e impacto que causam ao meio ambiente.

Tabela 2.6- Principais poluentes.

POLUENTE	CARACTERÍSTICAS	PRINCIPAIS FONTES	EFEITOS GERAIS AO MEIO AMBIENTE
Partículas Inaláveis Finas (MP_{2,5})	Partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar (poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem), que podem percorrer longas distâncias e permanecer no ar. Faixa de tamanho: <2,5 µm	Processos de combustão. Aerossol secundário (formado na atmosfera), como sulfato e nitrato, entre outros.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.
Partículas Inaláveis (MP₁₀) e Fumaça	Partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar (poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem). Faixa de tamanho: 10 µm.	Processos de combustão. Aerossol secundário (formado na atmosfera).	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água
Dióxido de Nitrogênio (NO₂)	Gás marrom avermelhado com odor forte e muito irritante	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás, incinerações.	Chuva ácida. Danos à vegetação e à colheita.
Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em veículos automotores.	Um dos precursores do Ozônio.
Ozônio (O₃)	Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais. Principal componente da névoa fotoquímica.	Não é emitido diretamente para a atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis.	Pode levar a formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.

Principais poluentes na atmosfera, suas características, principais fontes e consequências.
Fonte: CETESB, 2013.

➤ Monóxido de Carbono (CO)

Um dos primeiros gases traço a ser observado. Por ter longa permanência na atmosfera, pode ser transportado a longas distâncias a partir de sua fonte de origem (LAJ, 2009).

O CO, é produzido pela oxidação do metano (CH₄) ou hidrocarbonetos não metanos (NMHC). Como se vê nas reações (2.1) e (2.2), O CO afeta a concentração troposférica do radical hidroxila (OH) e do ozônio (O₃), o que interfere na oxidação da atmosfera (RODRIGUES, 2016).

Outras fontes, são a queima de biomassa e a combustão de combustíveis fósseis em diversos processos industriais, ou veículos automotores responsáveis pelos altos níveis desse poluente em grandes centros urbanos (HOBBS, 2006; ANDRADE, 2016). O CO, é um dos precursores do ozônio (O₃) em presença de radiação ultravioleta (ANDRADE, 2016).

➤ Ozônio (O₃)

O ozônio troposférico é um poderoso gás efeito estufa, está centrado na fotoquimeografia da fase gasosa troposférica da atmosfera e, é a principal fonte da radical hidroxila que controla entre outras espécies a concentração de metano (CH₄) (MONKS, 2009).

Os gases traço Óxido de nitrogênio (NO), monóxido de carbono (CO) e compostos orgânicos emitidos para a atmosfera por atividades antrópicas, podem levar a formação de O₃ através de reações fotoquímicas, o que agrava a poluição do ar devido as ações nocivas sobre vegetais, animais materiais e sobre o homem mesmo em baixas concentrações (HOBBS, 2006; LISBOA, 2007).

Na troposfera, é um gás incolor, inodoro e principal componente da névoa química (smog fotoquímico). Em geral as concentrações de O₃ aumentam pela manhã atingindo seu pico durante a tarde, suas concentrações mais elevadas acontecem geralmente nas estações de primavera e verão (CETESB, 2015).

O ozônio presente na estratosfera é essencial, pois absorve radiação solar de comprimentos de onda entre 240 e 290 nm (UV-C – ultravioleta C) (SEINFELD E PANDIS, 1998).

Como efeito do O₃ estão os danos à saúde humana, vegetação, deterioração de materiais, principalmente borrachas, têxteis e corantes, devido ao fator oxidante (REIS JÚNIOR, 2005).

➤ Óxidos de nitrogênio (NO_x)

Os óxidos de nitrogênio (NO_x), representam a combinação de monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂) (LUCON, 2003). A presença dos NO_x na atmosfera pode levar a formação de poluentes secundários como o ozônio (O₃), ácido nítrico (HNO₃), nitratos e compostos orgânicos tóxicos (ANDRADE, 2016).

A formação dos NO_x pode ocorrer através de diferentes processos, dissociação térmica e subsequente reação do nitrogênio e oxigênio molecular presentes no ar de combustão em temperaturas elevadas, evolução e reação do nitrogênio ligado ao combustível com o oxigênio (fuel NO_x) e, formação intermediária de ácido cianídrico (HCN), seguida de sua oxidação para NO (LUCON, 2003).

As reações (2.3), (2.4), (2.5) e (2.6) demonstram o NO₂ ao reagindo com oxigênio atômico (O) formando NO e O₂.

(2.6)

O dióxido de nitrogênio é muito mais tóxico do que o monóxido de nitrogênio e seu tempo de vida é de apenas um dia (ANDRADE, 2016; HOBBS e WALLACE, 2006).

O NO_2 é um dos precursores da chuva ácida que causa grandes efeitos sobre a vegetação, aos materiais e estruturas, acidificando às águas de superfície, o que proporciona graves danos aos organismos aquáticos. Isso, ocorre porque o NO_2 reage com a água presente no ar, promovendo a formação do ácido nítrico (HNO_3) e nitroso (HNO_2), conforme reação (2.7), (SEINFELD E PANDIS, 1998).

(2.7)

➤ Óxidos de Enxofre (SO_x)

Os gases de enxofre mais importantes presentes na atmosfera são o dióxido de enxofre (SO_2), sulfeto de hidrogênio (H_2S), sulfeto de carbonila (COS) e dissulfeto de carbono (CS_2), que geralmente após sua emissão para a atmosfera terrestre são oxidados para SO_2 , e eventualmente para ácido sulfúrico (H_2SO_4) (HOBBS e WALLACE, 2006).

O SO_2 , pode ser transformado em SO_3 que com a umidade passa rapidamente a H_2SO_4 , formando um dos componentes da chuva ácida (ANDRADE, 2016), é também precursor de sulfatos, que compõe partículas da moda fina ($< 10\mu\text{m}$) (LUCON, 2003).

O dióxido de enxofre é proveniente de processos que utilizam queima de óleo combustível, refinarias de petróleo, veículos movidos a diesel ou outros combustíveis fósseis, indústrias de papel e celulose.

➤ Hidrocarbonetos (HC)

São gases e vapores resultantes da queima incompleta e evaporação de combustíveis fósseis e de outros produtos orgânicos voláteis e em operações de

transporte e transferência de combustíveis. Em áreas densamente urbanizadas e industrializadas também são gerados por indústrias químicas, refinarias, petroquímicas, coquearias e processos de queima de material orgânico (ANDRADE, 2016; CETESB, 2001).

Os hidrocarbonetos estruturados no anel benzeno (C_6H_6), são denominados hidrocarbonetos aromáticos como o xileno, tolueno, etilbenzeno, e são encontrados na atmosfera devido ao uso de solventes e aditivos em combustíveis (SEINFELD E PANDIS, 1998).

Os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs) em virtude do seu potencial carcinogênico, são de grande interesse. São formados a partir da queima incompleta de substâncias orgânicas e nos processos de combustão são adsorvidos, principalmente em partículas de poeira e de fuligem. Dependendo da temperatura e pressão do vapor, permanecem na atmosfera em parte na forma gasosa (REIS JÚNIOR, 2005).

➤ Compostos orgânicos voláteis (COVs)

Numerosos compostos de carbono orgânico são voláteis o suficiente para estarem presentes na atmosfera. Cada um tem seu próprio comportamento químico e reatividade diferente (MONKS, 2009).

Os COVs são provenientes da queima incompleta de combustíveis automotivos e processos industriais, através de processos evaporativos. Na presença de COVs, as concentrações de ozônio (O_3) aumentam devido ao NO ser convertido em NO_2 na formação de radicais (LUCON, 2003).

Os COVs mais abundantes na atmosfera são o formaldeído (HCHO), acetona e metanol. O HCHO, desempenha papel fundamental na química atmosférica, uma vez que facilmente fotólise por serem uma fonte de radical hidroperoxilo (HO_2) e do ozônio (O_3) na presença de NO_x , é formado como intermediário durante a oxidação de muitos COVs ou emitido diretamente pela queima de combustíveis fósseis ou queima de biomassa. O metanol (CH_3OH) é o COV mais abundante na atmosfera e em geral suas concentrações são distribuídas de modo mais equilibrado que os demais COVs devido sua permanência ser bastante longa (MONKS, 2009).

2.3 Material Particulado (MP)

Encontrados na atmosfera, são partículas sólidas ou líquidas cuja suspensão constituem um aerossol (excluindo partículas de nuvem) (HOBBS, 2006; MOUVIER, 1995).

As partículas são originárias de uma grande variedade de fontes naturais e antrópicas. As naturais, são poeiras de vento, spray marinho, e erupções vulcânicas e as antropogênicas compreendem a queima incompleta de combustíveis fósseis (SEINFELD e PANDIS, 1998).

As partículas emitidas diretamente de sua fonte são consideradas primárias e as formadas na atmosfera por processos de conversão de gás e/ou condensação de compostos gasosos em partículas de aerossol já pré-existent, formam o aerossol secundário (SEINFELD e PANDIS, 1998; MONKS, 2009).

O tamanho das partículas varia de alguns nanômetros (nm) a dezenas de micrometros (μm) em diâmetro.

Partículas $< 2,5 \mu\text{m}$ de diâmetro, são consideradas partículas da moda fina e se subdividem em partículas de moda de acumulação, com diâmetro entre $0,08 \mu\text{m}$ e $1 \mu\text{m}$ a $2 \mu\text{m}$, e partículas com diâmetro entre $0,01 \mu\text{m}$ e $0,08 \mu\text{m}$, chamadas de partículas da moda de núcleo de Aitken (Seinfeld e Pandis, 1998)

A distinção entre o tamanho das partículas é fundamental em relação aos efeitos físicos, químicos, e de estimativa de tempo de vida (Seinfeld e Pandis, 1998).

Na atmosfera, o material particulado possui uma variedade de efeitos sobre o meio ambiente, devido as partículas sofrerem transformações e interações físicas e químicas como mudança de tamanho, estrutura e composição (coagulação, reestruturação, transições de fase, absorção de gás e reações químicas), como apresentado na Figura 2.5 (MONKS, 2009).

Figura 2.5- Ciclo atmosférico de aerossóis.

Fonte: Adaptado de Monks, 2009.

As partículas com diâmetro $< 1 \mu\text{m}$ geralmente tem concentrações atmosféricas em torno de 10 a vários milhares por cm^3 , as que excedem $> 1 \mu\text{m}$ de diâmetro são encontradas em concentrações inferiores a 1 cm^3 (SEINFELD e PANDIS, 1998).

Em geral, os componentes químicos predominantes do material particulado são sulfatos, nitratos, amônia, sal marinho, metais de solo (alumínio, cálcio, ferro), metais pesados (chumbo, cobre, zinco entre outros), compostos orgânicos, elementos cristais e água (MONKS, 2009; SEINFELD e PANDIS, 1998).

Os sulfatos formados pela conversão de vapor do ácido sulfúrico devido a oxidação atmosférica do SO_2 e seus precursores para sulfato, são os principais componentes das partículas inorgânicas. Outro componente é o nitrato, formado pela conversão de vapor de ácido nítrico, devido a oxidação na atmosfera do N_2 para nitrato (MONKS, 2009).

As partículas orgânicas são formadas por dois componentes principais, o *Black* carbono (carbono elementar) e material orgânico. Sua formação é proveniente dos COVs de origem antrópica e natural, que se oxidam na atmosfera para formar produtos de baixa volatilidade (semi-voláteis), que se distribuem em fase gasosa e particulada. As partículas orgânicas podem ser emitidas para atmosfera como primárias ou secundárias (MONKS, 2009; SEINFELD E PANDIS, 1998).

As partículas podem absorver ou espalhar radiação solar, podem atuar como núcleo de condensação de nuvens (CCN) e como núcleo de gelo (IN) o que pode afetar a microfísica das nuvens e do ciclo hidrológico (ARTAXO et al., 1994).

O tempo que um material particulado permanece na atmosfera depende de aspectos físicos, químicos e dinâmicos da atmosfera, das propriedades das partículas, da absorção e espalhamento da radiação solar, podendo variar de horas a semanas (MONKS, 2009; SEINFELD e PANDIS, 1998).

As partículas com diâmetro $< 0,01 \mu\text{m}$, tem geralmente tempo de residência maiores ou iguais a um dia, e os principais mecanismos de remoção dessas partículas são a difusão para partículas de nuvens e coagulação (HOBBS, 2006). As partículas da moda fina, são muito leves permanecendo em suspensão por longo tempo, podendo percorrer longas distâncias, sendo que as mais pesadas (moda grossa) sedimentam mais rapidamente (MOUVIER, 1995).

Em média as partículas são removidas da atmosfera aproximadamente à mesma taxa que entram (HOBBS e WALLACE, 2006).

A remoção da atmosfera pode ocorrer a partir de dois mecanismos, deposição na superfície terrestre (deposição seca) e incorporação em gotas de nuvem durante a formação de precipitação (deposição úmida), que atinge a superfície terrestre e outras partículas também são eliminadas e removidas da atmosfera (MONKS, 2009; SEINFELD e PANDIS, 1998).

A deposição úmida é o principal processo das partículas da moda de acumulação e a deposição seca, é altamente relevante em relação a escala local de qualidade do ar e efeitos à saúde (MONKS, 2009).

O material particulado pode ser transportado pelos fluxos de ar que encontram durante o tempo de residência na atmosfera, podendo ser em escalas intercontinentais e até mesmo globais (HOBBS e WALLACE, 2006).

Uma vez transportadas pelo ar, as partículas podem sofrer alteração de tamanho e composição por condensação de espécies de vapor ou por evaporação, coagulando com outras partículas, por reação química ou por ativação na presença de excesso de saturação de água para se tornarem partículas de nevoa e nuvem (SEINFELD E PANDIS, 1998).

O transporte a longas distâncias por correntes de ar favorece a interferência na química e na física da atmosfera, não somente em escala local, mas também em escalas regionais (BARBOSA, 2016).

De acordo com Andrade (2011), o material particulado é um importante indicador de qualidade do ar devido à correlação com inúmeros problemas de saúde por sua toxicidade em altas concentrações.

Estas partículas suspensas no ar após entrarem nos pulmões são suficientemente pequenas para passar através dos tecidos e entrar na corrente sanguínea, podendo assim desencadear inflamações que eventualmente causam falhas cardíacas e pulmonares (SARDINHA, 2013).

Partículas inaláveis, ou seja, MP_{10} , passam através do nariz e da boca e são facilmente depositadas na área da traqueia e nos brônquios. As partículas de $MP_{2,5}$ também designadas por partículas finas têm maior impacto sobre a saúde humana, incluem poluentes como sulfatos, nitratos e carbono negro, penetram profundamente nos pulmões e no sistema cardiovascular (SILVA, 2017).

Atividades portuárias, mais especificamente emissões de navios, podem implicar em elevado impacto na saúde humana. Esses impactos podem estar associados a asma, doenças respiratórias e cardiovasculares, cancro dos pulmões e mortes prematuras (ARIMOTO, 2001; citado por SILVA, 2017). As partículas emitidas diretamente pelos navios, tais como o carbono produzido durante a combustão incompleta de combustíveis fósseis, aumentam o impacto sobre a saúde.

2.3.1 Portos e material particulado

As atividades desenvolvidas nos portos podem resultar em emissões de material particulado como os processos de estocagem em decorrência das ações dos ventos nas pilhas de estocagem, operações de carga e descarga decorrentes das emissões fugitivas dos equipamentos envolvidos nesse processo, como

shiploaders, *ship-unloaders*, gruas, guindastes, entre outros (YAMAGATA e DOMATO, 2001).

Um porto é uma organização dinâmica que contém áreas críticas que abrigam várias fontes emissoras de poluentes como mostra a Tabela 2.7.

Tabela 2.7- Fontes emissoras em portos

FONTES	POLUENTES
<p>➤ NAVIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Queima de Combustíveis - Pintura e manutenção (estaleiros) - Manuseio de voláteis (abastecimento, carga e descarga) 	<ul style="list-style-type: none"> • MPs, NOx, SOx, COVs. • MPs e COVs • COVs
<ul style="list-style-type: none"> - Geradores, empilhadeiras, shiploders, shipunloaders, portêiners, guindastes 	<ul style="list-style-type: none"> • MPs, NOx, SOx, COVs e CO
<ul style="list-style-type: none"> - Fluxo de caminhões e trens 	<ul style="list-style-type: none"> • MP (suspensão de poeira) • NOx, SOx, COVs e CO
<ul style="list-style-type: none"> - Estocagem e operações de granéis agrícolas 	<ul style="list-style-type: none"> • MPs
<ul style="list-style-type: none"> - Indústrias (químicas, petroquímicas, fertilizantes) 	<ul style="list-style-type: none"> • MPs, NOx, SOx, COVs e CO

Fonte: Autor da dissertação.

Em estudo feito em Portugal na região de Setubal, Silva (2017) afirma que as atividades portuárias com todas suas operações envolvidas como manuseio de material sólido, transporte rodoviário e marítimo de carga produzem quantidade relevante de partículas que impactam na qualidade do ar.

Segundo Pérez (2016) citado por Silva (2017) a contribuição estimada das emissões na área urbana de Barcelona varia de 9 e 12% para MP₁₀ e entre 11 e 15% para MP_{2,5} e pode ser atribuída principalmente à queima de combustíveis fosseis e a formação de sulfato de amônio.

Este setor assume especial importância, pois os portos estão normalmente localizados próximo de centros urbanos, contribuindo para o aumento das emissões de partículas para a atmosfera e afetando os níveis de qualidade do ar. Na União Europeia localizam-se mais de 1200 portos comerciais, sendo a

Europa uma das regiões com maior densidade portuária de todo o mundo (SILVA, 2017).

Em Santos, município do estado de São Paulo, a região da Ponta da Praia, próxima aos terminais de operações com grãos sofre com as emissões de material particulado e problemas respiratórios que surgem (Figura 2.6).

Figura 2.6- Navio durante operação de carga de grãos no porto de Santos

Fonte: Autor da dissertação.

Constantemente pode ser observado a nuvem de poeira formada no ar, com sua coloração alaranjada e odor característicos, denunciando as operações em andamento no porto, colocando em risco a saúde dos trabalhadores e moradores da região (CEZAR, 2017).

Sardinha (2013), em estudo feito na região do porto de Lisboa em Portugal, afirma que o transporte marítimo é a forma mais eficiente de transporte, porém é uma grande fonte emissora de material particulado e outros poluentes devido reações químicas no ar, onde os SO_2 e NO_x são convertidos em partículas

finas, na forma de aerossóis de sulfatos e nitratos, além das partículas emitidas diretamente pelos navios, tais como o carbono negro.

Estas partículas secundárias aumentam o impacto sobre a saúde, podendo ser ligadas a mortes prematuras. As emissões dos navios também podem conter partículas cancerígenas.

Além das emissões por queima de combustíveis fósseis os navios também contribuem com emissões por meio de gases que se formam nos porões da embarcação em função do produto transportado, o que pode resultar em emissões significativas durante a descarga do navio (Sardinha, 2013).

2.4 Espalhamento e Extinção de Luz em Moléculas e Partículas

O espalhamento de luz pode ser definido como um processo onde uma partícula ou uma pequena quantidade de matéria, no caminho de propagação de uma onda eletromagnética, absorve energia dessa onda e irradia essa energia em um ângulo sólido total centrado na partícula (Measures, 1984).

O espalhamento da luz ocorre quando o índice de refração de uma partícula é diferente do índice de refração do meio. O espalhamento pode ser elástico ou Rayleigh e inelástico ou Raman.

No espalhamento elástico o comprimento de onda reirradiado pela partícula é igual ao comprimento de onda incidente, portanto, a energia do fóton espalhado é igual à do fóton incidente. No inelástico, o comprimento de onda reirradiado é diferente do incidente e a energia do fóton espalhado é diferente da energia do fóton incidente devido a uma modificação de seu estado energético, durante a interação com a partícula (Measures, 1984).

As partículas que ocasionam o espalhamento na atmosfera variam de tamanho, moléculas de gases ($\approx 10^{-4} \mu\text{m}$), aerossóis ($\approx 1 \mu\text{m}$), gotas de água ($\approx 10 \mu\text{m}$), cristais de gelo ($\approx 100 \mu\text{m}$), grandes gotas de água e granizo ($\approx 1 \text{ cm}$) (Liou, 2002).

O espalhamento e absorção de luz por uma partícula pode ser influenciado pelo comprimento de onda da radiação eletromagnética incidente, tamanho da partícula e índice de refração.

Espalhadores com diâmetro muito menor que o comprimento de onda da radiação incidente ($\alpha \ll 1$) causam o espalhamento Rayleigh e pode descrever o espalhamento de luz em moléculas na atmosfera (Liou, 2002), e os com diâmetro da ordem do comprimento de onda da radiação incidente, $x \geq 1$ causam o espalhamento Mie (Mie, 1908).

Quando um feixe de luz incide em um meio o espalhamento ocorre em todas as direções e podem converter uma parte da radiação incidente em energia térmica (absorção) (Seinfeld e Pandis, 1998) e a variação da intensidade depende do ângulo de incidência da luz e das características físicas dos espalhadores presentes no meio.

Além do processo de espalhamento, a luz também pode sofrer processo de absorção, ambos retiram energia de um feixe de luz que se propaga por um meio. A atenuação da energia do feixe é conhecida como extinção. (Lopes, 2011).

O coeficiente de extinção (α) representa a medida da atenuação do feixe de radiação ao atravessar um meio material, sua unidade no SI é m^{-1} . A atenuação pode ocorrer devido a processos de espalhamento ou absorção devido a presença de aerossóis, poeira, ou ainda pela interação com moléculas de gases da atmosfera como ozônio, nitrogênio ou vapor d'água (Lopes, 2011).

2.5 Sensoriamento Remoto

Sensoriamento remoto é uma técnica que possibilita adquirir medidas ou informações sobre um objeto, meio ou fenômeno sem a necessidade de contato físico com o mesmo, permitindo amplitude em relação às aplicações, análises e processamento de dados (Lopes, 2011).

A técnica utilizada para o sensoriamento remoto é baseada na interação da radiação eletromagnética com um meio formado por partículas ou moléculas, que são captadas por um sensor através de um sinal que interpretado, possibilita a obtenção de informações sobre os constituintes desse meio. (Lopes, 2011).

A técnica do sensoriamento remoto compreende comprimentos de onda do ultravioleta ($\approx 10^{-9}$ m), infravermelho (10^{-4} m) e região de micro-ondas (entre 1 mm e 1m), podendo ser dividida em sensoriamento remoto passivo e ativo.

No sensoriamento remoto passivo (Figura 2.8), o sensor capta a radiação eletromagnética retida por um alvo, o qual é iluminado por uma fonte de energia externa; no caso do alvo ser a atmosfera, a fonte de energia externa é o Sol (Liou, 2002; Measures 1984; Wetitkamp, 2005).

Figura 2.8- Sensoriamento remoto passivo e ativo.

Representação técnica do sensoriamento remoto.
Fonte: Adaptado de Lopes, 2011.

No sensoriamento remoto ativo, o sensor capta a radiação espalhada ou retro espalhada pelo alvo que foi irradiado por uma fonte artificial, sendo um gerador de microondas no caso do RADAR ou um laser no caso da técnica LIDAR (Liou, 2002; Measures 1984; Wetitkamp, 2005).

Como exemplo temos os sensores a bordo de satélites como mostram as figuras 2.8 e 2.9 que captam a radiação solar espalhada após interação com constituintes da atmosfera (nuvens e aerossóis) podendo-se obter informações de propriedades ópticas, radiativas e da composição da atmosfera

No sensoriamento remoto ativo, a fonte de radiação gerada artificialmente (Figura 2.9), pode ser um laser que interage com os componentes do sistema Terra-atmosfera, parte dessa radiação é espalhada e captada pelo sensor que por meio dos dados obtidos analisa os constituintes e a estrutura da atmosfera ou níveis da superfície (Lopes, 2011).

Figura 2.9- Representação de sensoriamento remoto ativo e passivo.

Sensoriamento remoto ativo por instrumentos a bordo de satélites.
Fonte: Adaptado de Lopes, 2011.

2.6 Técnica LIDAR

Um instrumento muito importante na realização do sensoriamento remoto da atmosfera é o sistema LIDAR, acrônimo de *Light Detection and Ranging* que pode ser compreendido como “detecção da luz e determinação da distância” (Liou, 2012; Lopes, 2011; Measures, 1984;). Utiliza um laser para medidas de propriedades ópticas da atmosfera (Kovalev e Eichinger, 2004), e possui a habilidade de caracterização espacial e temporal dos aerossóis no perfil vertical da atmosfera (Lopes, 2011).

A técnica lidar representa uma ferramenta indispensável em estudos da estrutura e distribuição vertical dos aerossóis na atmosfera devido a sua

capacidade de medir esse perfil com uma alta resolução temporal e espacial, permitindo a separação do sinal de nuvens e aerossóis (Lopes, 2011).

O comprimento de onda utilizado é de acordo com as medidas que se deseja obter, variando dentro da faixa espectral eletromagnética (Moraes, 2017).

Os sistemas lidar mais modernos apresentam configuração monoestática na qual a fonte de radiação (laser), encontra-se no mesmo local do receptor conforme Figura 2.10. As configurações monoestáticas podem ser divididas em coaxial no qual o feixe laser é transmitido no mesmo campo de visão do receptor e biaxial que transmite o feixe laser de maneira adjacente ao campo de visão do telescópio (Lopes, 2011).

Figura 2.10- Tipos de configuração monoestática.

Fonte: Figura adaptada de Lopes, 2011.

Alguns resultados obtidos pelo sistema lidar são altura e espessura das nuvens e de camadas de aerossóis, perfil de retroespalhamento e extinção da atmosfera (Lopes, 2011). Uma das vantagens do lidar é sua alta resolução vertical e temporal, não interferir diretamente no objeto de estudo por não alterar suas

características físicas e/ou químicas, alta sensibilidade na detecção de moléculas (Moraes, 2017).

2.6.1 Configurações do LIDAR

A técnica lidar utiliza como fonte de radiação um feixe de radiação eletromagnética (laser) com a finalidade de obter medidas a distância por meio do sinal espalhado que retorna ao sistema, a radiação retroespalhada (Costa, 2011).

Um pulso de luz ao ser enviado para a atmosfera interage com partículas e moléculas que agem como espalhadoras, uma porção dessa radiação é espalhada no caminho de volta do sistema lidar, captada por um telescópio e focalizada em um sistema de detecção que realiza a medida do sinal obtido (Lopes, 2011).

À parcela da radiação que é espalhada e retorna para o sistema LIDAR dá-se o nome de radiação retro espalhada. Esta radiação retro espalhada, medida pelo receptor do LIDAR, é usada para determinar os coeficientes de retro-espalhado espalhamento e extinção das partículas e/ou moléculas do meio no qual o feixe se propaga (Costa, 2010).

O sistema lidar, é formado por três partes:

- sistema de transmissão: laser e os componentes de envio do feixe,
- sistema de recepção (telescópio),
- sistema de detecção do sinal de retorno que possui os detectores e os equipamentos de aquisição de dados) (Costa, 2015).

A Figura 2.11 mostra o esquema do sistema lidar e seus componentes.

Figura 2.11 – Representação esquemática de um sistema lidar.

Sistema transmissor (laser), sistema receptor (telescópio), sistema de detecção (caixa de detecção óptica e sistema de aquisição de dados).

Fonte: Adaptado de *Lidar Range-Resolved Optical Remote Sensing of the Atmosphere* (Weitkamp, p.3, 2005)

O sistema transmissor gera pulsos luminosos e os direciona para a atmosfera (Costa, 2015). Os tipos de lasers e os comprimentos de onda utilizados dependem da sua aplicação e podem variar de 250 nm, região UV, até 11 µm região infravermelho. Os lasers pulsados devido suas características ópticas como, baixa divergência do feixe, largura de banda de 10^{-1} nm (monocromaticidade) e pulsos intensos e curtos, tornam-se fonte ideal para o sistema lidar (Costa, 2010).

O pulso intenso emitido em um curto intervalo de tempo permite cronometrar o sinal espalhado ao longo do intervalo da medida, sendo que a duração do pulso do laser deve ser menor do que a altitude a ser medida (Costa, 2010).

Novos lasers mais potentes com novas tecnologias foram desenvolvidos como o laser Nd: YAG, cujo comprimento de onda no fundamental é 1064 nm e sua frequência pode ser dobrada, triplicada, ou até quadriplicada dando maior

diversidade quanto aos comprimentos de onda em 532, 355 e 266 nm, respectivamente (Lopes, 2011).

Para distâncias curtas, o feixe de laser emitido não pode ser completamente digitalizado para o detector, portanto é medido somente uma parte do sinal de retorno do lidar que varia com a distância e depende do diâmetro do feixe do laser, da forma e da divergência, das propriedades da imagem do telescópio, do campo de visão do receptor e da localização dos eixos ópticos do transmissor e receptor em relação um ao outro (Weitkamp, 2005).

A melhor configuração para o sistema lidar acontece quando todo o feixe laser está dentro do campo de visão do sistema de detecção proporcionando um completo *overlap*, ou sobreposição (Costa, 2010; Lopes, 2011).

A divergência do feixe deve ser mínima, e para diminuí-la é utilizado um colimador que é um instrumento óptico, um telescópio pequeno instalado na saída do laser que expande o feixe e mantém seus raios paralelos (Costa, 2010; Lopes, 2011).

O sistema de recepção coleta e processa a radiação retroespalhada e a direciona para um fotodetector que converte os fótons em sinal elétrico. O espelho primário do telescópio coleta a luz retroespalhada pelos elementos na atmosfera e foca essa luz em uma caixa de detecção através de um espelho secundário (Costa, 2010).

Quanto maior o espelho primário, maior quantidade de luz retroespalhada será coletada, aumentando o sinal do sistema. O diâmetro do espelho primário pode variar entre centímetros a alguns metros, os menores são utilizados para medidas de baixa altitude (Costa, 2015).

O sistema de detecção e o registrador de dados capta a luz direcionada pelo sistema receptor produzindo um registro permanente da intensidade medida em função da altitude (Costa, 2010).

Após o direcionamento da radiação e da seleção do comprimento de onda desejado, fotomultiplicadoras (sensores), convertem os fótons incidentes em pulsos de corrente elétrica intensos o suficiente para serem detectados pelo registrador (Lopes, 2011). O registrador é um dispositivo eletrônico que processa e registra esse sinal eletrônico (Costa, 2010).

O sinal captado pelas fotomultiplicadoras pode ser registrado de duas formas, contagem dos fótons onde ocorre a contagem individual dos pulsos

(*Photocounting*) e por ser mais sensível é mais utilizada em medidas de sinais menos intensos, provenientes de grandes distâncias (Weitkamp, 2005).

Outro modo de contagem é a detecção analógica onde uma corrente média devido aos fótons é medida, registrada e convertida em sinal analógico e processada como sinal digital, esta é mais utilizada para distâncias próximas ao sistema e que possuem um sinal mais intenso, mais forte de retroespalhamento. (Costa, 2015; Lopes, 2011).

O ruído de fundo (*background*) é a luz detectada pelo sistema proveniente de outras fontes que não sejam o feixe de laser (luz do sol, Lua, estrelas e de origem antropogênica). Quanto maior o campo de visão do detector, maior a quantidade de ruído. Portanto, é mais vantajoso ter um pequeno campo de visão que auxilia para que o ruído de fundo se mantenha em níveis mais baixos (Lopes, 2011).

A largura da banda estreita ou monocromaticidade do laser permite que os componentes ópticos da caixa de detecção filtrem espectralmente a luz detectada e transmita para o tubo fotomultiplicador os fótons selecionados apenas no comprimento de onda desejado. Essa seleção permite representar o quanto de sinal é contaminado por ruído. Quanto maior a razão sinal-ruído, menos contaminante é o ruído na detecção do sinal (Kovalev e Eichinger, 2004).

2.7 Equação LIDAR

Com base em WEITKAMP (2005), o sinal detectado por um sistema lidar pode ser escrito como (2.1):

$$P(R) = KG(R)\beta(R)T(R) \quad (2.1)$$

Onde, $P(R)$ = potência da luz detectada pelo sistema lidar a uma distância R , composta por quatro fatores. O primeiro fator, K , é uma constante que resume o desempenho do sistema lidar, o segundo, $G(R)$, descreve a dependência geométrica do sistema. Esses dois fatores são completamente determinados pela configuração do lidar e, portanto, podem ser controlados.

As informações sobre a atmosfera (objeto de estudo) e, portanto, todas as quantidades mensuráveis, estão contidas nos dois últimos fatores da Equação. O termo $\beta(R)$ é o coeficiente de retroespalhamento à distância R . Descreve a capacidade da atmosfera ou objeto de estudo de espalhar a luz novamente na direção a partir da qual ela vem. $T(R)$ é o termo de transmissão e descreve a quantidade de luz dispersada na ida e na volta do caminho óptico do lidar. Tanto $\beta(R)$ quanto $T(R)$ são os sujeitos de investigação e, em princípio, desconhecidos para o experimentador.

O fator K (2.2), pode ser descrito como:

$$K = P_0 \frac{CT}{2} A \eta \quad (2.2)$$

P_0 é a potência média de um único pulso laser, e T é o comprimento do pulso temporal. Portanto, $E_0 = P_0 T$ é a energia do pulso, e CT é o comprimento do volume iluminado pelo pulso laser durante o tempo T . O fator $1/2$ aparece devido a uma aparente sobreposição do pulso laser através do processo de retroespalhamento.

Quando o sinal lidar é detectado em um instante t depois que a frente de onda do pulso foi emitida, a luz retroespalhada por essa frente de onda retorna a uma distância $R_1 = ct/2$. Ao mesmo tempo, a luz produzida pela frente de onda posterior do mesmo pulso chega a uma distância $R_2 = c(t - \tau)/2$ (Costa, 2015). Assim, $\Delta R = R_1 - R_2 = ct/2$ é o comprimento do volume a partir do qual a luz retroespalhada é recebida num instante t chamado de comprimento efetivo do pulso. A é a área do espelho primário do telescópio que coleta a luz retroespalhada e η é a eficiência total do sistema.

O fator geométrico (2.3), é dado por:

$$G(R) = \frac{O(R)}{R^2} \quad (2.3)$$

e inclui a função de sobreposição, $O(R)$, e o termo R^2 . A diminuição da intensidade do sinal com a distância ao quadrado deve-se ao fato de que a área do telescópio receptor faz parte da superfície esférica de raio R que envolve o volume espalhado. Se imaginarmos um espalhamento isotrópico à distância R , a área de telescópio A irá coletar a fração (2.4):

$$\frac{I_c}{I_s} = \frac{A}{4\pi R^2} \quad (2.4)$$

da intensidade total, I_s , espalhada em ângulo sólido, 4π . Em outras palavras, o ângulo sólido A/R^2 é o ângulo de percepção do lidar para a luz espalhada a uma distância R . O fator 4π não aparece explicitamente na equação lidar por ser anulado pela definição do coeficiente de retroespalhamento, $\beta(R, \lambda)$.

O coeficiente de retroespalhamento $\beta(R, \lambda)$ (2.5), é o parâmetro atmosférico que determina a intensidade do sinal lidar e descreve a quantidade de luz que é espalhada na direção do sistema receptor. O coeficiente de retroespalhamento é o valor específico do coeficiente de espalhamento para um ângulo de espalhamento de $\theta = 180^\circ$. Seja N_j a concentração de partículas espalhadas de natureza j em um volume iluminado pelo pulso do laser e $d\sigma_{j, sca}(\pi, \lambda) / d\Omega$ a seção de retroespalhamento da partícula para o comprimento de onda, λ .

O coeficiente de retroespalhamento pode ser descrito como:

$$\beta(R, \lambda) = \sum_j N_j(R) \frac{d\sigma_{j, sca}}{d\Omega}(\pi, \lambda) \quad (2.5)$$

Somado por todos os tipos de espalhadores. Uma vez que a concentração volumétrica é dada em unidade m^{-3} e a seção de retroespalhamento em $m^2 sr^{-1}$, o coeficiente de retroespalhamento tem unidade de $m^{-1} sr^{-1}$.

Adotando-se novamente o modelo simplificado de espalhamento isotrópico no que há um único tipo de partícula no volume espalhado, a relação

entre o coeficiente de retroespalhamento e a seção de espalhamento isotrópica, σ_{sca} , é $4\pi\beta = N\sigma$. A intensidade da luz espalhada pelo volume iluminado, $V = A_L \Delta R = A_L ct/2$, no qual A_L é a seção do feixe de laser, é proporcional à área $A_s = N\sigma_{sca} V$, ou seja, é proporcional à seção de espalhamento de todas as partículas no volume V . Assim, a intensidade relativa da luz espalhada é dada por (2.6):

$$\frac{I_s}{I_0} = \frac{A_s}{A_L} = \frac{N\sigma_{sca}CT}{2} = \frac{4\pi\beta CT}{2} \quad (2.6)$$

Substituindo na equação 2.6, obtêm-se a razão entre a intensidade da luz coletada e emitida:

$$\frac{I_c}{I_0} = \frac{A\beta_{CT}}{2R^2} \quad (2.7)$$

O lado direito da equação descreve a parte da equação lidar que se refere diretamente a geometria de espalhamento, a qual contém o tamanho e as propriedades de retroespalhamento do volume espalhado e o ângulo de percepção do lidar.

Na atmosfera a luz do laser é espalhada por moléculas de ar e partículas de matéria, nesse caso o coeficiente de retroespalhamento é dado por (2.8):

$$\beta(R, \lambda) = \beta_{mol}(R, \lambda) + \beta_{aer}(R, \lambda) \quad (2.8)$$

O espalhamento molecular ou Rayleigh (índice *mol*) ocorre, principalmente, por causa das moléculas de nitrogênio e oxigênio presentes na atmosfera e, portanto, depende da densidade do ar, diminuindo com a altitude. O espalhamento das partículas ou Mie (índice *aer*) varia temporal e espacialmente ao longo da atmosfera.

Para completar a equação lidar, vê-se considerar a quantidade de luz dispersada na ida e na volta do caminho óptico do lidar. O termo de transmissão, $T(R)$ pode assumir valores entre 0 e 1 e é dado por (2.9):

$$T(R, \lambda) = \exp \left[-2 \int_0^R \alpha(r, \lambda) dr \right] \quad (2.9)$$

Este termo resulta de forma específica da lei de Lambert-Beer-Bouguer (um feixe monocromático de radiação sofre uma atenuação exponencial ao atravessar um meio homogêneo) para o lidar. Os limites da integral vão de zero (junto a fonte de emissão e detecção) até uma distância R e o fator 2 é devido ao caminho de ida e volta feito pela luz transmitida. A extinção da luz é a soma de todas as perdas na transmissão e, $\alpha(R, \lambda)$ é o coeficiente de extinção, sendo definido da mesma forma que o coeficiente de retroespalhamento como o produto da concentração volumétrica e a seção de extinção $\sigma_{j,ext}$ para cada tipo de espalhador j ,

$$\alpha(R, \lambda) = \sum_j N_j (R) \frac{d\sigma_{j,ext}}{d\Omega}(\lambda) \quad (2.10)$$

A extinção pode ocorrer devido ao espalhamento e à absorção da luz por partículas e moléculas. Portanto, o coeficiente de extinção pode ser escrito como a soma de quatro componentes:

$$\alpha(R, \lambda) = \alpha_{mol,sca}(R, \lambda) + \alpha_{mol,abs}(r, \lambda) + \alpha_{aer,sca}(R, \lambda) + \alpha_{aer,abs}(R, \lambda) \quad (2.11)$$

na qual os índices *sca* e *abs* são para espalhamento e absorção, respectivamente. Uma vez que o espalhamento em todas as direções contribui para a extinção da

luz, a seção de espalhamento (integral), σ_{sca} , juntamente com a seção de absorção σ_{abs} , ambos em m^{-1} , compõe a seção de extinção,

$$\alpha_{ext}(\lambda) = \sigma_{sca}(\lambda) + \sigma_{abs}(\lambda) \quad (2.12)$$

Consequentemente, o coeficiente de extinção tem unidade de m^{-1} .

Tal como indicado nas equações acima, β e α dependem do comprimento de onda da luz do laser. Essa dependência do comprimento de onda é determinada pelo tamanho, índice de refração e pela forma das partículas espalhadoras.

Como resultado da descrição anterior, pode se escrever a equação 2.1 na forma

$$P(R, \lambda) = P_0 \frac{CT}{2} A \eta \frac{O(R)}{R^2} \beta(R, \lambda) \exp \left[-2 \int_0^R \alpha(r, \lambda) dr \right] \quad 2.13)$$

Deve-se mencionar que o sinal detectado será sempre constituído por uma contribuição do ruído de fundo, ou *background*, P_{bg} , em adição ao sinal do lidar descrito acima. Durante o dia o ruído de fundo tem contribuição da luz solar direta ou dispersa, enquanto à noite, a lua e as estrelas, bem como fontes de luz artificial, contribuem para o ruído de fundo.

O ruído eletrônico no detector é outra fonte de sinal indesejada. O ruído de fundo deve ser subtraído antes do cálculo do sinal de lidar. Normalmente os últimos dados do sinal, onde não é esperado que haja mais fótons retroespalhados, ou a partir do período anterior à emissão do pulso do laser são usados para calcular o valor médio do ruído de fundo e o erro correspondente, ΔP_{bg} , necessário para calcular o erro de qualquer quantidade calculada a partir dos sinais detectados.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é apresentado as especificações do equipamento lidar, suas características e como ele opera. Também será demonstrado o modelo desenvolvido pelo United State Environmental Protection Agency (US EPA, 2009) para o cálculo das emissões de navio e o modelo para o cálculo de emissões fugitivas de material particulado (US EPA 2006).

As modelagens propostas nesse estudo foram preparadas pelo Programa de Estratégias Setoriais da United State Environmental Protection Agency com o objetivo de entender e quantificar os impactos da qualidade do ar nas operações portuárias.

As emissões de navios são provenientes principalmente de motores a diesel operando dentro de uma área portuária, enquanto que as operações com grãos são emissões terrestres provenientes dos equipamentos utilizados para carga e descarga desses produtos.

Os produtos para a estimativa de emissões fugitivas por material particulado são a soja, farelo de soja e milho.

3.1 LIDAR

O sistema de transmissão do LIDAR utilizado nesse estudo trabalha com um laser *Q-switched* pulsado comercial Nd: YAG da Quantel S.A., modelo CFR 200 que possui uma divergência de menos de 0,5 mrad na saída do sistema (Costa, 2015)

O Nd: YAG emite na espectral infravermelho a um comprimento de onda de 1064 nm. Dobrar e triplicar a frequência com cristais não lineares é amplamente utilizado para converter a radiação primária de ND: YAG para 532 e 355 nm (WEITKAMP, 2005).

A energia do pulso é de 500 mJ (em 1064 nm) com uma taxa de repetição do laser de 20 Hz e a largura do pulso é de 8 ns, dando ao sistema uma resolução espacial de 3,75 m.

Neste estudo foi utilizado um lidar portátil articulado biaxial desenvolvido pela Raymetrics Lidar Systems Figura 3.1) e seu sistema de transmissão opera com os comprimentos de onda 355 nm, 532 nm e 1064 nm.

Figura 3.1- Lidar utilizado no estudo

Fonte: Costa (2011).

O sistema de recepção é composto de um telescópio cassegraniano com 150 mm de diâmetro, de razão focal igual a 4,5 e com um campo de visão de 2 mrad. Essa configuração oferece um *overlap* (sobreposição) completo entre o campo de visão do sistema e o feixe do laser numa distância de aproximadamente 120 m (COSTA, 2015).

O sistema de detecção utiliza um fotodiodo para o canal de detecção 1064 nm e duas fotomultiplicadoras comerciais (Hamamatsu R7400U), uma para o canal de detecção 532 nm e outra para o 355 nm. Os três canais foram acoplados a filtros de interferência de banda estreita com uma FWHM (largura de meia altura) de 0,1 nm e operam no modo *photoncounting* (PC) contador de fótons e analógico (AN) (COSTA, 2015).

O modo analógico (AN) é geralmente utilizado para distâncias menores (até 2000 m) e o *photoncounting* para distâncias maiores (UEHARA, 2009).

O sinal que chega às fotomultiplicadoras e ao fotodiodo é alocado em um registrador transiente (Licel) e tem resolução máxima de 3,75 m, podendo variar entre 7,5 m, 15 m e 30 m, e armazenado em um computador. Esse registrador está

conectado em rede ao computador e a aquisição do sinal é interfaceada por um software que utiliza a linguagem de programação gráfica LabVIEW.

O software *LabView* pertence à National Instruments e seu acrônimo vem de *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*. No sistema LIDAR sua atuação se dá após a luz atingir o detector (UEHARA, 2009) e é utilizado na técnica de medição.

Inicialmente, os dados são obtidos no sistema binário e necessitam ser convertidos. Essa conversão é feita tanto para o modo analógico (AN) como para o modo photocounting (PC). Os dados convertidos são arquivados em pastas específicas identificadas pela data que foram gerados.

As medidas tomadas no sistema lidar, forneceram dados que foram inseridos no programa *Mathematica* que utiliza uma rotina desenvolvida pela Dra. Renata Costa do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) da Universidade de São Paulo (USP).

Os valores obtidos no *Mathematica* são inseridos na plataforma *Python* desenvolvida pela integrante da equipe de estudos Mcs. Márcia Marques do IPEN/USP e geraram gráficos apresentados na seção Resultados e Discussões.

3.1.1 Corrente escura

A existência da corrente escura deve-se ao fato da “função trabalho” (grau de emissão de fotoelétrons de uma determinada superfície metálica) do material utilizado como fotocátodo ser baixa, emitindo elétrons até à temperatura ambiente (Costa, 2015).

A amplitude da corrente escura depende do material do fotocátodo, da temperatura do tubo e da tensão aplicada (Kovalev e Eichinger, 2004).

Para o teste de corrente escura, a tensão aplicada aos detectores, frequência de repetição e potência do laser entre outros parâmetros, devem ser configurados em condições normais das medições (Guerrero-Rascado et al., 2014).

Para a medida de corrente escura, cobre-se totalmente o telescópio e a caixa de detecção óptica para que nenhuma radiação atinja o sistema detector. O tempo de aquisição dos dados deve ser suficiente para estabilização do sinal (Costa, 2015).

Antes da coleta foi realizada uma única medida de corrente escura para avaliar o comportamento eletrônico do sistema de detecção, correção do sinal, do ruído de fundo, com vinte aquisições, utilizando o ângulo 205° em direção a Sudoeste.

3.2 Tomada de Medidas

Para aquisição dos dados foram realizadas três medidas em três horários diferentes, às 11h, 14h e 16h, no dia 16 de maio de 2017. Através de informações da Santos Pilots (Praticagem Santos), apurou-se que a velocidade média do vento nesse dia foi de 3,83 m/s.

A primeira série de medidas deste estudo foi feita na propriedade da ALMA – Associação de Amigos do Lar do Menor Assistido, localizada à Av. Castelo Branco, 731, Guarujá, SP com coordenadas $23^\circ 56' 00.71''$ S e $46^\circ 18' 17.46''$ O.

O local escolhido está localizado próximo à estação de monitoramento da CETESB e ao porto, junto a margem esquerda do mesmo (Figura 3.2).

Figura 3.2- Local das medidas.

Local das medidas em relação ao porto de Santos.
Fonte: Google Earth (2017).

A varredura começou da esquerda (155°) dirigindo-se para direita (95°) e o ângulo de elevação (zênith) foi de 11° para todas as tomadas.

O intervalo de integração foi de 30 segundos para 600 shots levando em média 30 minutos para a coleta de cada tomada. A resolução espacial utilizada pelo sistema foi de 3,75 m. Todas as tomadas utilizaram o modo analógico (AN) dos canais de aquisição do sistema.

Como explicado anteriormente os dados foram convertidos através do software LabView e posteriormente foram gerados gráficos.

3.3 Estimativas de emissões de navio

As estimativas das emissões atmosféricas dos navios foram baseadas na modelagem proposta pela *Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories* (US EPA 2009), modelo “bottom-up” (Guedes Jr, Neto e Tanimoto, 2012), que analisa os fatores de emissão considerando a energia, a característica e o tempo de atividade de cada embarcação. Também são considerados o fator de carga de propulsão e o fator de emissão para cada poluente (RIBEIRO et al., RODRIGUES, 2016; US EPA, 2009).

A metodologia proposta pelo inventário US EPA (abril, 2009, p.2.1) está demonstrada na equação (3.1), que determina a taxa de emissões por navios.

$$E = P \times FC \times FE \times A$$

(3.1)

Onde:

E = emissão em gramas (g)

P = potência do motor (kW)

FC= fator de carga (adimensional)

FE= fator de emissão (g.kWh⁻¹)

A = atividade (h)

A estimativa das emissões foi efetuada para cada tipo de navio que trafega no Porto de Santos. Os dados dos navios foram obtidos por informações disponibilizadas no site da Praticagem Santos no item Manobras que fornece o nome do navio e o tempo de atividade. Nos sites MarineTraffic e FleetMon foram obtidas informações e características como tipo de navio e velocidade máxima.

Para esse estudo foram considerados os tipos de navio que trafegam no porto de Santos:

- Graneleiro (GR): transporte de mercadorias a granel.
- Tanker (T): transporte de petróleo, derivados do petróleo e produtos químicos.
- Container Ship (CS): transporte de contêineres.
- Carga Geral (CG): transporte de gêneros variados.
- Roll-on Roll-off (RR): transporte de automóveis e outros veículos.

A estimativa da taxa de emissões de cada tipo de navio foram somadas a fim de se obter as emissões mensais totais.

Para esse estudo foram considerados os meses de maio e agosto de 2017. Também foi analisado o dia 16 de maio de 2017 por ser o período que foram efetuadas as tomadas de medidas com a técnica lidar.

O mês de maio de 2017 foi de interesse de estudo por ser o mês da obtenção dos dados pela técnica do sistema LIDAR, porém, nesse mês não houve operações com grãos de milho. Por esse motivo foi escolhido o mês de agosto que apresenta a maior quantidade operacional com relação a esse grão.

3.3.1 Atividade (A)

Atividade é o tempo que cada navio utiliza para entrar ou sair do porto, é disponibilizado em minutos e convertido em horas. Para o cálculo das atividades são necessárias informações como tempo de operação e tipo de navio. (US EPA, abril 2009, p. 2.8).

Os dados sobre tipo de navio foram coletados por informações disponibilizadas pela Marine Traffic pelo nome e número de registro na *International Maritime Organization* (IMO).

A IMO é uma agência especializada e vinculada à ONU da qual o Brasil faz parte desde 1963. O número de registro permite identificar a embarcação mesmo que, seu nome ou seu armador seja mudado (Agência Nacional de Transportes Aquaviários-ANTAQ, 2009).

Os dados sobre nome da embarcação e tempo de manobra foram obtidos através de informações disponibilizadas pela Santos Pilots que representa a Praticagem de Santos, associação composta por pilotos (práticos) do porto que realizam as operações de manobra.

Quando a embarcação entra ou sai do porto é chamado um práctico que embarca no navio próximo ao quebra-mar ou no local onde a embarcação está atracada. O práctico assume o piloto principal e coordena as operações de atracação ou desatracação fornecendo informações de início e término da manobra (Inventário US EPA, abril 2009, p.2.4).

A Tabela 3.1 referente ao dia 16 de maio de 2018, exemplifica o modelo como as informações são fornecidas pela Praticagem Santos para coleta dos dados para o cálculo da Atividade.

Tabela 3.1- Atividade, Santos Pilots 16/05/2017

NAVIO	INÍCIO	FIM	AGENTE	LOA	CALADO	BORDO
AMALTHIA	16/05 00:30	16/05 01:00	PETROBRÁS	99,60	4,70	BB
E.R. SEOUL	16/05 01:48	16/05 03:17	ROCHAMAR	277,23	9,70	BB
ASIAN MAJESTY	16/05 03:00	16/05 04:05	WILHELMOSEN	228,78	9,00	
TORONTO	16/05 04:30	16/05 05:30	WILHELMOSEN	199,99	8,70	
ALIANCA MANAUS	16/05 04:24	16/05 05:45	ALIANCA		9,40	BE
WIGAN	16/05 06:00	16/05 08:40	WILLIAMS	189,99	7,10	BB
ARICA EXPRESS	16/05 06:30	16/05 07:30	ROCHAMAR	224,00	10,50	
STOLT BETULA	16/05 06:30	16/05 07:45	UNIMAR	159,20	10,50	BE
SUNNY HOPE	16/05 08:30	16/05 09:30	ORION	197,00	11,70	BB
GERHARD SCHULTE	16/05 10:30	16/05 11:30	ALIANCA	230,98	9,60	BB
MERCOSUL MANAUS	16/05 11:30	16/05 12:30	MERCOSUL LINE	210,54	11,00	
AMALTHIA	16/05 11:50	16/05 12:50	PETROBRÁS	99,60	5,80	

RT STAR	16/05 13:00	16/05 14:35	GRANEL	159,03	7,60	BB
MARLIN	16/05 15:00	16/05 16:30	PETROBRÁS	144,22	6,00	BB
SEA OPAL	16/05 15:30	16/05 16:15	ALPHAMAR	229,00	12,84	
Tabela 3.1 (cont.)						
NAVIO	INÍCIO	FIM	AGENTE	LOA	CALADO	BORDO
ALIANCA MANAUS	16/05 16:00	16/05 17:05	ALIANCA		10,30	
ALESSANDRO VOLTA	16/05 17:00	16/05 18:40	PETROBRÁS	180,00	7,50	BB
AURILIA	16/05 17:00	16/05 18:00	FERTIMPORT	225,00	12,60	
NAVIO	INÍCIO	FIM	AGENTE	LOA	CALADO	BORDO
HYUNDAI LOYALTY	16/05 17:54	16/05 19:37	UNIMAR	339,60	10,40	
MERCOSUL ITAJAI	16/05 20:05	16/05 21:15	OCEANUS	194,87	8,70	
CELSO FURTADO	16/05 20:00	16/05 22:20	PETROBRÁS	182,88	7,00	BB
SOUTHERN PUMA	16/05 20:30	16/05 21:40	GRANEL	156,53	6,54	
JPO SCORPIUS	16/05 20:30	16/05 21:50	HAMBURG SUD	210,00	9,00	
DREAM STAR	16/05 21:00	16/05 22:05	FERTIMPORT	228,99	9,28	BB
MSC AZOV	16/05 22:00	16/05 23:50	MSC	299,87	9,50	
CSAV TOCONAO	16/05 22:30	17/05 23:30	ROCHAMAR	299,90	10,85	
AMALTHIA	16/05 23:00	17/05 00:00	PETROBRÁS	99,60	4,30	BB
BOMAR RESOLVE	16/05 23:30	17/05 00:30	ORION	207,46	8,10	BB
MR. CHAFIC	16/05 23:30	17/05 00:50	UNIMAR	80,50	6,00	BB

Navio: nome do navio em operação de atracação e desatracação no porto. Início: horário de início da manobra. Fim: término da manobra. Agente: responsável pela embarcação no porto. LOA: medida de comprimento da embarcação. Calado: profundidade do canal que o navio necessita para navegar. Bordo: local onde o navio irá atracar ou desatracar, BB: Ilha de Barnabé. Fonte: Santos Pilots, 2017.

3.3.2 Fator de carga (FC)

De acordo com a inventário US EPA (abril 2009, p. 2-11), Fator de carga (FC), é a porcentagem da propulsão total ou potência auxiliar da embarcação.

Seguindo o modelo EPA (abril 2009, p.2-11, 2-12) o fator de carga é calculado com base na teoria de que o poder de propulsão varia de acordo com o cubo da velocidade, estimada pela razão entre a velocidade real (V_{real}) e a velocidade máxima (V_{max}) do navio conforme equação (3.2).

$$FC = \left(\frac{V_{real}}{V_{m\acute{a}x}} \right)^3 \quad (3.2)$$

Onde:

FC = Fator de carga (adimensional)

V_{real} = Velocidade desenvolvida durante operações de chegada/saída do navio no porto (nós)

V_{max} = Velocidade máxima do navio (nós)

A unidade de velocidade utilizada é o *nó*, que é a medida de velocidade padrão para embarcações, equivale a uma milha náutica. Um *nó*, corresponde a $0,514 \text{ m.s}^{-1}$.

A velocidade real é utilizada durante as operações de manobra (entrada e saída) no porto, onde as embarcações desenvolvem velocidades mais lentas e os motores são ligados e desligados conforme a necessidade da manobra.

As informações sobre a velocidade real dos navios para estimar o fator de carga (FC) permitida no porto de Santos, foi obtida pelas Normas e Procedimentos da Capitania dos Portos. A velocidade real máxima permitida é de 8 nós para o canal de Santos e 6 nós para o canal de Piaçaguera (acesso a COSIPA). A velocidade mínima para todo o porto é de 3 nós.

No mês de maio para a estimativa da Velocidade Real foi utilizada a média entre a velocidade máxima e mínima permitida dentro do porto conforme Tabela (3.2).

Tabela 3.2- Velocidade máxima, mínima e média por tipo de navio. Maio/2017

TIPO DE NAVIO	VELOCIDADE MÁXIMA (nós)	VELOCIDADE MÍNIMA (nós)	MÉDIA VELOCIDADE REAL (nós)
Graneleiro	8	3	5,5
Tanker	6	3	4,5
Container Ship	8	3	5,5
Carga Geral	8	3	5,5
Roll On Roll Off	8	3	5,5

Velocidade Real no porto de Santos calculada pela média da velocidade máxima e mínima permitida pela Capitania dos Portos durante a entrada e saída dos navios referente a maio de 2017 (Capitania dos Portos de Santos, 2003).

Fonte: autor da dissertação.

Para estimativa da Velocidade Real de agosto de 2017 (Tabela 3.3) além das velocidades mínimas e máximas permitidas também foi considerado os locais de atracação e desatracação das embarcações.

Tabela 3.3- Velocidade Real (Agosto de 2017)

TIPO DE NAVIO	VELOCIDADE REAL (nós)
GRANELEIRO	4,95
CONTAINER SHIP	5,10
TANKER	5,07
CARGA GERAL	4,90
ROLL ON ROLL OFF	5,44

Velocidade Real em Agosto de 2017 considerando local de atracação e desatracação. Velocidade mínima permitida 3 nós, velocidade máxima até Ilha de Barnabé 8 nós, além da ilha 6 nós (Capitania dos Portos de Santos).

Fonte: autor da dissertação.

Os dados sobre a velocidade máxima dos navios foram obtidos através da MarineTraffic para cada navio e estimada a média para cada tipo de embarcação que efetuou operações de manobras no porto nos mês de maio(tabela 3.4) e agosto de 2017 (tabela3.5).

Tabela 3.4- Velocidade máxima por tipo de navio (maio/2017)

TIPO DE NAVIO	VELOCIDADE MÁXIMA (nós)
GRANELEIRO	12,54
TANKER	11,63
CONTEINER SHIP	15,85
CARGA GERAL	12,06
ROLL ON ROLL OFF	12,02

Velocidade máxima desenvolvida por cada tipo de embarcação. (maio de 2017).

Fonte: MarineTraffic (2017).

Tabela 3.5- Velocidade máxima por tipo de navio (agosto/2017)

TIPO DE NAVIO	VELOCIDADE MÁXIMA (nós)
GRANELEIRO	12,27
CONTEINER SHIP	15,44
TANKER	12,55
CARGA GERAL	12,7
ROLL ON ROLL OFF	15,17

Velocidade máxima desenvolvida por cada tipo de embarcação. (agosto de 2017).

Fonte: MarineTraffic (2017).

O FC (fator de carga) varia de acordo com o tipo de navio e, faz parte da equação 3.1 junto à potência do motor.

3.3.3 Potência do motor (P)

Os navios variam quanto ao tipo, causando variação na velocidade e tamanho de motor (US EPA, abril 2009).

Geralmente são determinados pelo tipo de carga que transportam. Para o cálculo da potência do motor, considera-se a energia total de propulsão e a potência auxiliar. A tabela 3.6 referente aos dados para potência de motor (P) foi adaptada da tabela 2-4 p.2-7 do *Current Methodologies in Preparing Mobile Source*

Port-Related Emission Inventories US EPA 2009, e utilizada para todo período de estudo.

Tabela 3.6- Potência de motor

TIPO DE NAVIO	POTÊNCIA (kW)
GRANELEIRO	8.000
TANKER	9.400
CONTEINER SHIP	30.900
CARGA GERAL	9.300
ROLL ON ROLL OFF	11.000

Tipo de navio e potência de motor. Adaptada de tabela 2-4 “Auxiliary Engine Power Ratios”, U. S. Environmental Protection Agency, *Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories*. (<https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-06/documents/2009-port-inventory-guidance.pdf>)

Fonte: U.S. EPA (2009, p.2-7).

Os dados disponibilizados pela US EPA (2009) de potência de motor (Tabela 3.6), foram embasados nos relatórios obtidos através da organização britânica *Lloyd's Register of Ships* (Lloyd's Data) que inspeciona, regulamenta e classifica a estrutura física e equipamentos de navios mercantes, fornecendo seus registros.

3.3.4 Fator de Emissão (FE)

Segundo definição do “*Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port Related Emission Inventories Final Report*” (US EPA 2009, p.2-13), o fator de emissão são valores representativos que estimam a quantidade de um determinado poluente liberado em função de atividade associada à liberação desse poluente.

O Fator de emissão é a relação entre a quantidade de poluente gerada e a quantidade de matéria prima transformada ou queimada de acordo com sua especificidade.

Os testes de emissões de navios são caros e difíceis, portanto, relativamente raros. Os fatores de emissão considerados são provenientes de estudos realizados pela *Entec UK Limited*, Quantificação de Emissões de Navios

Associados a Movimentos de Navios entre Portos na Comunidade Europeia, preparada para a Comissão Europeia em Julho de 2002, e constam na tabela 2-9: *Emission Factors for OGV Main Engines, g/kWh* (US EPA, 2009).

O fator de emissão de cada poluente é estabelecido considerando o tipo de motor e combustível. De acordo com a TRANSPETRO (PETROBRAS, 2013) os navios que trafegam no porto de Santos são abastecidos com óleo Bunker que é uma mistura de óleo diesel e óleo combustível produzido por frações mais pesadas de destilação. É um fluido viscoso e devido sua composição química possui alto teor de enxofre (RODRIGUES, 2016).

O tipo de motor considerado nesse estudo é o diesel de baixa velocidade (*slow-speed diesel-SSD*) e o combustível foi o *Residual Oil (RO)*.

Os fatores de emissão utilizados no período de estudo, estão mostrados na tabela 3.7 será considerado somente o fator de emissão para MP₁₀ e MP_{2,5}.

Tabela 3.7- Fator de Emissão

POLUENTE	FATOR DE EMISSÃO (g/kWh)
NO _x	18,1
MP ₁₀	1,42
HC	0,6
CO	1,4
SO ₂	10,29
MP _{2,5}	1,31

Tabela adaptada de Current Methodology Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories (US EPA, 2009, p.2-14). Principais poluentes gerados pelas emissões de navio e seu respectivo fator de emissão.
Fonte: EPA (2009).

3.4 Estimativas de Emissões Fugitivas de Material Particulado

As atividades portuárias geram emissões residuais devido a perdas para a atmosfera durante operações de carga e descarga de produtos, que são denominadas Emissões Fugitivas (YAMAGATA E DOMATO, 2001).

As operações com milho, soja e farelo de soja podem gerar material particulado durante a estocagem através de equipamentos utilizados nessas operações (RODRIGUES, 2016).

As estimativas de emissões fugitivas de material particulado provenientes de operações portuárias embasado na proposta do Grupo de Inventário de Fator de Emissão (*Emission Factor And Inventory Group-EFIG*) da US EPA (AP-42, cap.13.2.4, p.3, 2006) pode ser estimado aplicando a equação 3.3.

$$TT = FE \times Q \times \frac{(100 - ER)}{100} \quad (3.3)$$

Onde:

TT (kg/h) = taxa de emissão do poluente devido às transferências.

FE (kg/t) = fator de emissão do poluente.

Q (t/h) = quantidade de carga movimentada.

ER (%) = eficiência do controle de emissão.

Para o cálculo do fator de emissão (FE) do poluente foi aplicada a Equação 3.4:

$$FE = K \times 0,0016 \times 10^{-3} \times \left[\frac{\left(\frac{U}{2,2}\right)^{1,3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1,4}} \right] \quad (3.4)$$

Onde:

FE = fator de emissão do poluente. (kg.t⁻¹)

K = fator de tamanho da partícula. (adm)

U = velocidade do vento. (m.s⁻¹)

M = umidade do material. (adimensional)

A estimativa da taxa de emissões por material fugitivo considera a quantidade de emissões de partículas geradas por quilograma (kg) (ton) de material transferido, o volume de carga movimentada, velocidade do vento, umidade do material e fator de tamanho das partículas.

A quantidade de partículas emitidas por operações de carga e descarga de grãos varia de acordo com o volume da carga. A taxa de emissão relaciona a massa do poluente lançado para a atmosfera por unidade de tempo.

As partículas podem ser liberadas para a atmosfera quando expostas a correntes de ar ou de ventos fortes no momento do manuseio.

De acordo com estudos da AP-42 (US EPA, 1995 p.1) fator de emissão (FE) é um valor representativo que tenta relacionar a quantidade de um poluente liberado para atmosfera com uma atividade associada à liberação desse poluente.

Os dados para o cálculo da taxa de emissão de material particulado proveniente de fontes fugitivas referentes aos meses de maio e agosto de 2017, estão mostrados nas Tabelas 3.8 e 3.9 para cada tipo de material, e aplicados nas equações 3.3 e 3.4.

Tabela 3.8- Dados para cálculo de emissões fugitivas em operações de grãos.
Maio 2017

MATERIAL	Q (t/h)	K (adm)	U (m/s)	M (%)	FE (kg/t)
Soja em grãos	3925,16	0,74	2,42	14,0	$8,7 \cdot 10^{-5}$
Farelo de Soja	586,95	0,74	2,42	12,5	$1,03 \cdot 10^{-4}$

Dados das emissões em maio de 2017. Q: quantidade de carga movimentada. K: fator do tamanho da partícula. U: velocidade do vento. M: umidade do material. Fe: fator de emissão do poluente.

ER: eficiência do controle de emissão.

Fonte: próprio autor.

Tabela 3.9- Dados para cálculo de emissões fugitivas em operações de grãos.
Agosto 2017

MATERIAL	Q (t/h)	K (adm)	U (m/s)	M (%)	FE (kg/t)
Soja em grãos	520,45	0,74	4,83	14,0	$2,15 \cdot 10^{-4}$
Farelo de Soja	614,50	0,74	4,83	12,5	$2,52 \cdot 10^{-4}$
Milho	3.913,94	0,74	4,83	13,0	$2,39 \cdot 10^{-4}$

Dados das emissões em agosto de 2017. Q: quantidade de carga movimentada. K: fator do tamanho da partícula. U: velocidade do vento. M: umidade do material. Fe: fator de emissão do poluente. ER: eficiência do controle de emissão.

Fonte: próprio autor.

A quantidade de carga movimentada para soja, farelo de soja e milho no mês de maio de 2017 foi obtida por dados do Mensário estatístico de Santos disponibilizado pela CODESP (Companhia Docas do Estado de São Paulo, 2017).

Para o cálculo da quantidade de carga movimentada em tonelada por hora, considerou-se que o porto de Santos manteve as operações de carga e descarga durante os trinta e um dias do mês de maio de 2017 durante 24h por dia.

A eficiência do controle de emissão (ER), é referente a porcentagem que o processo é eficiente para controlar as emissões. Por não possuir informações de medidas de controle para o porto de Santos, foi considerada nula.

O fator de tamanho da partícula (K), é relacionado com as características físicas do material, os dados foram obtidos pela tabela disponibilizada pela US EPA (AP-42, cap.13, p.4, 2006).

A velocidade do vento para o mês do período de estudo foi fornecida pela Santos Pilots (PRATICAGEM SANTOS, 2017).

A umidade da partícula indica a relação percentual entre a quantidade de água e a massa total do grão. O controle da umidade do grão pode ser feito durante o plantio, pré colheita e colheita. A umidade exerce influência nas propriedades físicas dos grãos durante o manuseio, processamento e armazenagem. É um fator de grande importância por determinar o preço final do produto. Os dados de umidade do material (M), foram disponibilizados pelo Centro

de Inteligência da Soja (CISOja) para umidade da soja, Indústrias de Óleos IMCOPA para o farelo de soja e EMBRAPA para o milho.

3.5 Estimativa das Concentrações das Emissões.

De acordo com informações obtidas pela Companhia Docas do Estado de São Paulo (CODESP, 2017) responsável pela organização do porto, a área do porto de Santos é de 7,8 milhões de metros quadrados.

As alturas de 420 m e 1000 m consideradas para o cálculo das concentrações de emissões foi estabelecida com base nos dados obtidos nas tomadas de medidas em 16 de maio de 2017 pela técnica Lidar com distância estimada de 2.210,5 m relativa ao ponto de emissão do feixe de laser até o canal do porto de Santos margem esquerda em um ângulo de elevação de 11° (Figura 3.3).

Figura 3.3- Distância e altura.

Fonte: Google earth pro V 7.1.8.3036. (January 26, 2017). Cubatão, Brazil. $23^\circ 50' 57.71''\text{S}$, $46^\circ 23' 19.80''\text{W}$, Altitude do ponto de visão 6.24 km. Digital Globe 2016. <http://www.earth.google.com> [January 17, 2017].

Portanto, para altura de 420 m o volume estimado é de $3,276.10^9 \text{ m}^2$, e para 1000 m o volume é de $7,8.10^9 \text{ m}^2$.

A CETESB é a responsável pela verificação e quantificação da presença de Material Particulado através da estação Ponta da Praia que está localizada a aproximadamente 900 m do porto de Santos.

Os parâmetros para comparação das emissões de MP_{10} e $\text{MP}_{2,5}$ foram efetuados de acordo com relatórios da CETESB que informa os valores diários medidos para concentração desses poluentes e o índice de qualidade do ar conforme mostrado nas Tabelas 3.10 e 3.11.

Tabela 3.10- Índice de Qualidade do Ar. MP_{10} .

Data	Valor Diário($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nº de Amostra	Qualidade do Ar
01/05/2017	23	24	N1-BOA
02/05/2017	41	24	N1-BOA
03/05/2017	52	24	N1-BOA
04/05/2017	40	24	N1-BOA
05/05/2017	27	24	N1-BOA
06/05/2017	19	24	N2-MODERADA
07/05/2017	16	24	N1-BOA
08/05/2017	23	24	N1-BOA
09/05/2017	37	24	N1-BOA
10/05/2017	19	24	N1-BOA
11/05/2017	19	24	N1-BOA
12/05/2017	28	24	N1-BOA
13/05/2017	40	24	N1-BOA
14/05/2017	24	24	N1-BOA
15/05/2017	26	24	N1-BOA
16/05/2017	35	24	N1-BOA
17/05/2017	27	24	N1-BOA
18/05/2017	19	24	N1-BOA
19/05/2017	17	24	N1-BOA
20/05/2017	26	24	N1-BOA
21/05/2017	40	24	N1-BOA
22/05/2017	13	24	N1-BOA
23/05/2017	21	24	N1-BOA
24/05/2017	31	24	N1-BOA
25/05/2017	46	24	N1-BOA
26/05/2017	61	24	N2-MODERADA
27/05/2017	41	24	N1-BOA
28/05/2017	15	24	N1-BOA
29/05/2017	32	24	N1-BOA
30/05/2017	20	24	N1-BOA
31/05/2017	19	24	N1-BOA

Índice da qualidade do ar e valores diários das concentrações de MP_{10} referentes à estação Ponta da Praia no mês de maio de 2017.

Fonte: Qualar (CETESB, 2018).

Os valores em destaque nas tabelas 3.7 e 3.8 referem-se a 16 de maio de 2017 quando foram tomadas as medidas desse estudo. O valor divulgado é de $35 \mu\text{g.m}^{-3}$ para MP_{10} e de $15 \mu\text{g.m}^{-3}$ para $\text{MP}_{2,5}$. Ambos foram utilizados como parâmetros para análise das estimativas de emissões por navios e emissões fugitivas por operações de grãos nessa data.

Tabela 3.11- Índice da Qualidade do AR $\text{MP}_{2,5}$.

Data	Valor Diário($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nº de Amostra	Qualidade do Ar
01/05/2017	13	24	N1-BOA
02/05/2017	17	24	N1-BOA
03/05/2017	25	24	N1-BOA
04/05/2017	22	24	N1-BOA
05/05/2017	16	24	N1-BOA
06/05/2017	12	24	N1-BOA
07/05/2017	10	24	N1-BOA
08/05/2017	11	24	N1-BOA
09/05/2017	22	24	N1-BOA
10/05/2017	10	24	N1-BOA
11/05/2017	7	24	N1-BOA
12/05/2017	11	24	N1-BOA
13/05/2017	19	24	N1-BOA
14/05/2017	13	24	N1-BOA
15/05/2017	13	24	N1-BOA
16/05/2017	15	24	N1-BOA
17/05/2017	13	24	N1-BOA
18/05/2017	7	24	N1-BOA
19/05/2017	10	24	N1-BOA
20/05/2017	11	24	N1-BOA
21/05/2017	16	24	N1-BOA
22/05/2017	7	24	N1-BOA
23/05/2017	8	24	N1-BOA
24/05/2017	15	24	N1-BOA
25/05/2017	27	24	N2-MODERADA
26/05/2017	30	24	N2-MODERADA
27/05/2017	23	24	N1-BOA
28/05/2017	8	24	N1-BOA
29/05/2017	19	24	N1-BOA
30/05/2017	13	24	N1-BOA
31/05/2017	9	24	N1-BOA

Índice da qualidade do ar e valores diários das concentrações de $\text{MP}_{2,5}$ referentes à estação Ponta da Praia no mês de maio de 2017.

Fonte: Qualar (CETESB, 2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultados LIDAR

Com as medidas realizadas em 16 de maio de 2017, conforme descrito na seção 3 Materiais e Métodos, foram obtidos os dados de Sinal Retroespalhado Corrigido (SRC), Coeficiente de Extinção (Alfa) e Expoente de Angstrom (AE).

Pelo SRC é possível identificar a presença de partículas e a dispersão das mesmas. De acordo com a paleta de cores do gráfico, as partículas se encontram mais presentes próximas da superfície e mais dispersas com a elevação da altitude, o que pode indicar proximidade das fontes emissoras ou ressuspensão. As figuras 4.1 e 4.2 referem-se a tomada 1 efetuada às 11h, as figuras 4.3 e 4.4 tomada 2 efetuada às 14h e as figuras 4.5 e 4.6 tomada 3 efetuada às 16h.

Figura 4.1- SRC 355 nm tomada 1

RCS tomada 1 11h 355 nm

Fonte: Google earth pro V 7.1.8.3036. (January 26, 2017). Cubatão, Brazil. 23°50'57.71"S, 46°23'19.80"W, Altitude do ponto de visão 6.24 km. Digital Globe 2016. <http://www.earth.google.com> [January 17, 2017].

Figura 4.2- RCS 1064 nm tomada 1

RCS tomada 1 11h 1064 nm.

Fonte: Google earth pro V 7.1.8.3036. (January 26, 2017). Cubatão, Brazil. 23°50'57.71"S, 46°23'19.80"W, Altitude do ponto de visão 6.24 km. Digital Globe 2016. <http://www.earth.google.com> [January 17, 2017].

Figura 4.3- RCS 355 nm tomada 2

RCS 355 tomada 2 14h.

Fonte: Google earth pro V 7.1.8.3036. (January 26, 2017). Cubatão, Brazil. 23°50'57.71"S, 46°23'19.80"W, Altitude do ponto de visão 6.24 km. Digital Globe 2016. <http://www.earth.google.com> [January 17, 2017].

Figura 4.4- RCS 1064 nm tomada 2

RCS 1064 nm tomada 2 14h

Fonte: Google earth pro V 7.1.8.3036. (January 26, 2017). Cubatão, Brazil. 23°50'57.71"S, 46°23'19.80"W, Altitude do ponto de visão 6.24 km. Digital Globe 2016. <http://www.earth.google.com> [January 17, 2017].

Os resultados da tomada 2, 14h (Figura 4.3 e 4.4), foram os que apresentaram maior presença de material particulado em relação à tomada 1 (Figura 4.1 e 4.2) e à tomada 3 (Figura 4.5 e 4.6).

Figura 4.5- RCS 355 nm tomada 3

RCS 355 nm tomada 3 16h

Fonte: Google earth pro V 7.1.8.3036. (January 26, 2017). Cubatão, Brazil. 23°50'57.71"S, 46°23'19.80"W, Altitude do ponto de visão 6.24 km. Digital Globe 2016. <http://www.earth.google.com> [January 17, 2017].

Figura 4.6- RCS 1064 nm tomada 3

RCS 1064 nm tomada 3 16h

Fonte: Google earth pro V 7.1.8.3036. (January 26, 2017). Cubatão, Brazil. 23°50'57.71"S, 46°23'19.80"W, Altitude do ponto de visão 6.24 km. Digital Globe 2016. <http://www.earth.google.com> [January 17, 2017].

O expoente de Angstrom (AE), indica a presença de partículas em relação ao tamanho. Quanto menor for o expoente, maior será o tamanho da partícula. Está relacionado com o comprimento de onda do espalhamento atmosférico, fornece informações qualitativas sobre a predominância de partículas finas ou grossas e do índice de refração das partículas (Costa, 2015; Kovalev e Eichinger, 2004).

As medidas encontradas no canal 355 nm para o expoente de Angstrom, nas tomadas realizadas nesse estudo, mostram na paleta de cores dos gráficos a maior predominância da cor azul onde o expoente tem valores menores o que pode indicar a presença de partículas maiores, conforme as figuras 4.7, 4.8 e 4.9.

Figura 4.7- AE 355 nm tomada 1-11h.

AE canal 355 nm tomada 1 11h em 16/05/2017.

Fonte: Google earth pro V 7.1.8.3036. (January 26, 2017). Cubatão, Brazil. 23°50'57.71"S, 46°23'19.80"W, Altitude do ponto de visão 6.24 km. Digital Globe 2016. <http://www.earth.google.com> [January 17, 2017].

Figura 4.8- AE 1064 nm tomada 1

AE canal 1064 nm tomada 1 11h em 16/05/2017.

Fonte: Google earth pro V 7.1.8.3036. (January 26, 2017). Cubatão, Brazil. 23°50'57.71"S, 46°23'19.80"W, Altitude do ponto de visão 6.24 km. Digital Globe 2016. <http://www.earth.google.com> [January 17, 2017].

Figura 4.9- AE 355 tomada 2.

AE canal 355 nm tomada 2 14h em 16/05/2017.

Fonte: Google earth pro V 7.1.8.3036. (January 26, 2017). Cubatão, Brazil. 23°50'57.71"S, 46°23'19.80"W, Altitude do ponto de visão 6.24 km. Digital Globe 2016. <http://www.earth.google.com> [January 17, 2017].

Figura 4.10- AE 1064 nm tomada 2.

AE canal 1064 nm tomada 2 14h em 16/05/2017.

Fonte: Google earth pro V 7.1.8.3036. (January 26, 2017). Cubatão, Brazil. 23°50'57.71"S, 46°23'19.80"W, Altitude do ponto de visão 6.24 km. Digital Globe 2016. <http://www.earth.google.com> [January 17, 2017].

Figura 4.11- AE canal 355 tomada 3.

Fonte: Google earth pro V 7.1.8.3036. (January 26, 2017). Cubatão, Brazil. 23°50'57.71"S, 46°23'19.80"W, Altitude do ponto de visão 6.24 km. Digital Globe 2016. <http://www.earth.google.com> [January 17, 2017].

Figura 4.12- AE 1064 nm tomada 3.

AE canal 1064 nm tomada 3 16h em 16/05/2017.

Fonte: Google earth pro V 7.1.8.3036. (January 26, 2017). Cubatão, Brazil. 23°50'57.71"S, 46°23'19.80"W, Altitude do ponto de visão 6.24 km. Digital Globe 2016. <http://www.earth.google.com> [January 17, 2017].

Coeficiente de extinção (Alfa), é a adição da energia re-irradiada em todas as direções (espalhamento) e parte da radiação incidente convertida em energia térmica (absorção).

A energia do laser atenuada pela atmosfera expressa pelo coeficiente de extinção (α) é resultado dos fenômenos de absorção molecular, espalhamento molecular, absorção por partículas e espalhamento por partículas (UEHARA, 2009).

O coeficiente de extinção está correlacionado com o comprimento de onda e tamanho das partículas. Em comprimento de ondas menores, as partículas menores sofrem maior espalhamento. Portanto, α será maior na região de maior concentração de moléculas e partículas menores como mostram as Figuras 4.13 e 4.14, tomada 11h, figuras 4.17 e 4.18 tomada 14h e figuras 4.19 e 4.20 tomada 16h.

Figura 4.13- Alfa 355 nm. tomada 1-11h.

Alfa canal 355 nm tomada 1 11h

Fonte: Google earth pro V 7.1.8.3036. (January 26, 2017). Cubatão, Brazil. 23°50'57.71"S, 46°23'19.80"W, Altitude do ponto de visão 6.24 km. Digital Globe 2016. <http://www.earth.google.com> [January 17, 2017].

Figura 4.14- Alfa tomada 1 1064 nm.

Alfa canal 1064 nm tomada 1 11h

Fonte: Google earth pro V 7.1.8.3036. (January 26, 2017). Cubatão, Brazil. 23°50'57.71"S, 46°23'19.80"W, Altitude do ponto de visão 6.24 km. Digital Globe 2016. <http://www.earth.google.com> [January 17, 2017].

4.2 Estimativas e Resultados

Conforme relatório QUALAR (CETESB, 2018), a média de concentração referente a 16/05/2017 para MP_{10} foi $35 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, e a concentração de $MP_{2,5}$ foi $15 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. A figura 4.15 mostra no gráfico divulgado a concentração referente aos horários das medidas para MP_{10} e a figura 4.16 para $MP_{2,5}$ e serviram de parâmetro para análise das tomadas no período das três tomadas.

Figura 4.15: Nível de concentração de MP_{10} em: 16/05/2017

Gráfico referente aos níveis de concentração de MP_{10} por hora durante o dia 16/05/2017.
Fonte: Sistema QUALAR (CETESB, 2018).

Figura 4.16: Nível de concentração de $MP_{2,5}$ em: 16/05/2017

Gráfico referente aos níveis de concentração de $MP_{2,5}$ por hora durante o dia 16/05/2017.
Fonte: Sistema QUALAR (CETESB, 2018).

Os dados referentes a tomada 1-11h (tabela 4.1) foram aplicados na equação 3.1 para a estimativa da taxa de material particulado por emissões de navio.

Tabela 4.1- Dados referente estimativa de emissões de material particulado por navios, tomada 1-11h de 16/05/2017

Tipo de navio	ATIVIDADE (h)	POTÊNCIA (kW)	V _{real} (nós)	V _{máx} (nós)	FC (adm)	FE MP ₁₀ (g/kWh)	FE MP _{2,5} (g/kWh)
Tanker	0,17	9.400	4,5	8,4	0,154	1,42	1,31
Container Ship	1	30.000	5,5	17,25	0,032	1,42	1,31

Dados referentes a tomada 1-11h aplicados na equação 3.1 da seção 3, Materiais e Métodos.
Fonte: autor da dissertação.

A tabela 4.2 mostra os resultados das estimativas de emissões e estimativa das concentrações de material particulado por navios no período relativo à tomada 1, 11h, considerando altura de 420 m e volume do porto $3,276.10^9 \text{ m}^3$, e altura de 1000 m e volume do porto $7,8.10^9 \text{ m}^3$.

Tabela 4.2- Emissões de navios tomada 1-11h

TIPO DE NAVIO	ATIVIDADE (h)	MP ₁₀ (µg)	MP _{2,5} (µg)
TANKER	0,17	0,35.10 ⁹	0,32.10 ⁹
CONTAINER SHIP	1	1,36.10 ⁹	1,26.10 ⁹
TOTAL	1,17	1,71.10 ⁹	1,58.10 ⁹
CONCENTRAÇÃO h= 420 m	-0-	0,52 µg.m ⁻³	0,48 µg.m ⁻³
CONCENTRAÇÃO h= 1000 m	-0-	0,21 µg.m ⁻³	0,20 µg.m ⁻³

Emissões e concentrações por navios referentes a tomada 1- 11h em 16/05/2017 para Mp₁₀ e MP_{2,5}.
Fonte: autor da dissertação.

A tabela 4.3 mostra os dados utilizados para estimativa de emissões fugitivas por grãos referente a tomada 1-11h do dia 16/05/2018 e aplicados na equação 3.3 da seção 3 Materiais e Métodos.

Tabela 4.3- Dados referente estimativa da taxa de emissões fugitivas de grãos por material particulado referentes a tomada 1-11h de 16/05/2017

GRÃO	Q (t/h)	K (adm)	U (m/s)	M (%)	FE (kg/t)
Farelo de soja	586,25	0,74	3,69	12,5	$1,78.10^{-4}$
Soja	3.923,82	0,74	3,69	14	$1,52.10^{-4}$

Dados aplicados na equação 3.3 (seção 3-Materiais e Métodos). Q: quantidade de carga (Mensário CODESP, 2017). K: fator de tamanho da partícula (*Air Quality Criteria for Particulate Matter*, US EPA 2006). U: velocidade do vento (Praticagem Santos). M: fator de umidade da partícula (Farelo de soja-EMBRAPA, soja-CISoja, Centro de Inteligência da Soja). FE: fator de emissão (dados aplicados na equação 3.4, seção 3_Materiais e Métodos).

Fonte: autor da dissertação.

Resultados das estimativas de emissões de material particulado por emissões fugitivas com operações de grãos no período relativo à tomada 1, 11h (Tabela 4.4).

Tabela 4.4- Taxa de emissões fugitivas por operações com grãos tomada 1-11h

PRODUTO	MP (μg)	CONCENTRAÇÃO h= 420 m	CONCENTRAÇÃO h= 1000 m
SOJA EM GRÃOS	$0,59.10^9$	$0,18 \mu\text{g.m}^{-3}$	$0,076 \mu\text{g.m}^{-3}$
FARELO DE SOJA	$0,10.10^9$	$0,03 \mu\text{g.m}^{-3}$	$0,01 \mu\text{g.m}^{-3}$

Emissões Fugitivas de material particulado em operações com grãos referentes à tomada 1, 11h em 16/05/2017 para MP_{10} e $\text{MP}_{2,5}$. Volume do porto estimado para: h= 420 m = $3,276.10^9 \text{ m}^3$ e h = 1.000 m = $7,8.10^9 \text{ m}^3$.

Fonte: autor da dissertação.

No período da tomada 1-11h o índice divulgado pelo sistema QUALAR (CETESB, 2018), foi $\text{MP}_{10} = 30 \mu\text{g.m}^{-3}$ e $\text{MP}_{2,5} = 12 \mu\text{g.m}^{-3}$.

De acordo com as estimativas obtidas as concentrações por navios no horário da tomada 1-11h, considerando $h = 420$ m têm participação estimada em 1,74% na concentração para MP_{10} e 4,02% para $MP_{2,5}$. Para $h = 1.000$ m a participação estimada é 0,73% para MP_{10} e 1,68% para $MP_{2,5}$.

Para emissões fugitivas com $h = 420$ m o farelo de soja teve participação em relação a concentração de material particulado estimada em 0,08% e a soja 0,43%. Para $h = 1000$ m a estimativa para o farelo de soja foi 0,03% e a soja 0,18% em relação ao índice MP_{total} $42 \mu g.m^{-3}$ divulgado pelo sistema QUALAR (CETESB, 2018).

Figura 4.17- Alfa tomada 2 355 nm.

Alfa 355 nm tomada 2 14h

Fonte: Google earth pro V 7.1.8.3036. (January 26, 2017). Cubatão, Brazil. $23^{\circ}50'57.71''S$, $46^{\circ}23'19.80''W$, Altitude do ponto de visão 6.24 km. Digital Globe 2016. <http://www.earth.google.com> [January 17, 2017].

Figura 4.18- Alfa tomada 2 1064 nm.

Alfa tomada 2 1064 nm 14h

Fonte: Google earth pro V 7.1.8.3036. (January 26, 2017). Cubatão, Brazil. 23°50'57.71"S, 46°23'19.80"W, Altitude do ponto de visão 6.24 km. Digital Globe 2016. <http://www.earth.google.com> [January 17, 2017].

Os dados da tabela 4.5 são referentes a tomada 2-14h e foram aplicados na equação 3.1 seção 3-Materiais e Métodos para a estimativa da taxa de material particulado por emissões de navio.

Tabela 4.5- Dados referentes estimativa da taxa de emissões por navio

Tipo de navio	ATIVIDADE (h)	POTÊNCIA (kW)	V _{real} (nós)	V _{máx} (nós)	FC (adm)	FE MP ₁₀ (g/kWh)	FE MP _{2,5} (g/kWh)
Tanker	0,58	9.400	4,5	9,9	0,09	1,42	1,31

Dados referentes a tomada 2-14h de 16/05/2017 aplicados na equação 3.1 da seção 3, Materiais e Métodos.

Fonte: autor da dissertação.

Resultados das emissões de material particulado por navios no período relativo à tomada 2, 14h, conforme dados coletados (Tabela 4.6).

Tabela 4.6- Emissões de navio tomada 2-14h

TIPO DE NAVIO	ATIVIDADE (h)	MP ₁₀ (µg)	MP _{2,5} (µg)
TANKER	0,58	0,69.10 ⁹	0,64.10 ⁹
TOTAL	0,58	0,69.10 ⁹	0,64.10 ⁹
CONCENTRAÇÃO h= 420 m	-0-	0,21 µg.m ⁻³	0,19 µg.m ⁻³
CONCENTRAÇÃO h= 1000 m	-0-	0,09 µg.m ⁻³	0,08 µg.m ⁻³

Emissões e concentrações por navios referentes a tomada 2-14h em 16/05/2017 para Mp₁₀ e MP_{2,5}. Volume do porto estimado para: h= 420 m = 3,276.10⁹ m³ e h = 1.000 m = 7,8.10⁹ m³.

Fonte: autor da dissertação

A tabela 4.7 mostra os dados utilizados para estimativa de emissões fugitivas por grãos referente a tomada 2-14h do dia 16/05/2018 e aplicados na equação 3.3 da seção 3 Materiais e Métodos.

Tabela 4.7- Dados referente estimativa da taxa de emissões fugitivas de grãos por material particulado referentes a tomada 2-14h

GRÃO	Q (t/h)	K (adm)	U (m/s)	M (%)	FE (kg/t)
Farelo de soja	586,25	0,74	4,89	12,5	1,78.10 ⁻⁴
Soja	3.923,82	0,74	4,89	14	1,52.10 ⁻⁴

Q: quantidade de carga (Mensário CODESP, 2017). K: fator de tamanho da partícula (*Air Quality Criteria for Particulate Matter*, US EPA 2006). U: velocidade do vento (Praticagem Santos). M: fator de umidade da partícula (Farelo de soja-EMBRAPA, soja-CISoja, Centro de Inteligência da Soja). FE: fator de emissão (dados aplicados na equação 3.4, seção 3_Materiais e Métodos).

Fonte: autor da dissertação.

Resultados das estimativas de emissões de material particulado por emissões fugitivas com operações de grãos no período relativo à tomada 2, 14h (Tabela 4.8).

Tabela 4.8- Emissões fugitivas tomada 2-14h

PRODUTO	MP (μg)	CONCENTRAÇÃO h= 420 m	CONCENTRAÇÃO h= 1000 m
SOJA EM GRÃOS	$0,86 \cdot 10^9$	$0,26 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	$0,11 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$
FARELO DE SOJA	$0,15 \cdot 10^9$	$0,05 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	$0,02 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$

Emissões Fugitivas de material particulado em operações com grãos referentes à tomada 2-14h em 16/05/2017 para MP_{10} e $\text{MP}_{2,5}$. Volume do porto estimado para: h= 420 m = $3,276 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ e h = 1.000 m = $7,8 \cdot 10^9 \text{ m}^3$.

Fonte: autor da dissertação

As concentrações por navios da tomada 2-14h para h= 420 m têm participação estimada em 1,75% na concentração desse horário para MP_{10} e 2,53% para $\text{MP}_{2,5}$. Para h= 1000 m, a participação estimada é 0,75% para MP_{10} e 1,06% para $\text{MP}_{2,5}$. O índice considerado divulgado pelo sistema QUALAR (CETESB, 2018) foi $\text{MP}_{10} = 12 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ e $\text{MP}_{2,5} = 7,5 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$.

Para emissões fugitivas o índice divulgado pelo sistema QUALAR (CETESB, 2018) foi $\text{MP}_{\text{total}} = 19,5 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. O farelo de soja teve participação estimada de 0,26% para h= 420 m e 0,10% para h= 1000 m. A soja, 1,33% para h= 420 m e 0,56% para h= 1000 m no mesmo período.

Figura 4.19- Alfa 355 nm tomada 3.

Alfa 355 nm tomada 3, 16h em 16/05/2017.

Fonte: Google earth pro V 7.1.8.3036. (January 26, 2017). Cubatão, Brazil. 23°50'57.71"S, 46°23'19.80"W, Altitude do ponto de visão 6.24 km. Digital Globe 2016. <http://www.earth.google.com> [January 17, 2017].

Figura 4.20- Alfa 1064 nm tomada 3.

Alfa 1064 nm tomada 3 16h em 16/05/2017

Fonte: Google earth pro V 7.1.8.3036. (January 26, 2017). Cubatão, Brazil. 23°50'57.71"S, 46°23'19.80"W, Altitude do ponto de visão 6.24 km. Digital Globe 2016. <http://www.earth.google.com> [January 17, 2017].

Os dados referentes a tomada 3-16h (tabela 4.9) foram aplicados na equação 3.1 para a estimativa da taxa de material particulado por emissões de navio.

Tabela 4.9- Dados referente estimativa da taxa de emissões de material particulado

Tipo de navio	ATIVIDADE (h)	POTÊNCIA (kW)	V _{real} (nós)	V _{máx} (nós)	FC (adm)	FE MP ₁₀ (g/kWh)	FE MP _{2,5} (g/kWh)
Graneleiro	0,25	8.000	5,5	9,9	0,17	1,42	1,31
Container Ship	1	30.000	5,5	17,5	0,03	1,42	1,31

Dados referentes a tomada 3-16h de 16/05/2018 aplicados na equação 3.1 da seção 3, Materiais e Métodos.

Fonte: autor da dissertação.

Resultados da taxa de emissões de material particulado por navios no período relativo à tomada 3, 16h, conforme dados coletados (Tabela 4.10).

Tabela 4.10- Emissões de navio tomada 3

TIPO DE NAVIO	ATIVIDADE (h)	MP ₁₀ (µg)	MP _{2,5} (µg)
GRANELEIRO	0,25	4,83.10 ⁸	4,45.10 ⁸
CONTAINER SHIP	1	12,78.10 ⁸	11,79.10 ⁸
TOTAL	1,25	17,61.10 ⁸	16,24.10 ⁸
CONCENTRAÇÃO h= 420 m	-0-	0,54 µg.m ⁻³	0,49 µg.m ⁻³
CONCENTRAÇÃO h= 1000 m	-0-	0,22 µg.m ⁻³	0,21 µg.m ⁻³

Emissões e concentrações por navios referentes a tomada 3-16h em 16/05/2017 para Mp₁₀ e MP_{2,5}. Volume do porto estimado para: h= 420 m = 3,276.10⁹ m³ e h = 1.000 m = 7,8.10⁹ m³.

Fonte: autor da dissertação

A tabela 4.11 mostra os dados utilizados para estimativa de emissões fugitivas por grãos referente a tomada 3-16h do dia 16/05/2018 e aplicados na equação 3.3 da seção 3 Materiais e Métodos.

Tabela 4.11- Dados referente estimativa da taxa de emissões fugitivas de grãos por material particulado referentes a tomada 3-16h de 16/05/2017

GRÃO	Q (t/h)	K (adm)	U (m/s)	M (%)	FE (kg/t)
Farelo de soja	586,25	0,74	4,12	12,5	$1,78.10^{-4}$
Soja	3.923,82	0,74	4,12	14	$2,20.10^{-4}$

Dados aplicados na equação 3.3 (seção 3-Materiais e Métodos). Q: quantidade de carga (Mensário CODESP, 2017). K: fator de tamanho da partícula (*Air Quality Criteria for Particulate Matter*, US EPA 2006). U: velocidade do vento (Praticagem Santos). M: fator de umidade da partícula (Farelo de soja-EMBRAPA, soja-CISoja, Centro de Inteligência da Soja). FE: fator de emissão (dados aplicados na equação 3.4, seção 3_Materiais e Métodos).

Fonte: autor da dissertação.

Resultados das estimativas da taxa de emissões de material particulado por emissões fugitivas com operações de grãos no período relativo à tomada 3, 14h (Tabela 4.12).

Tabela 4.12- Taxa de Emissões fugitivas tomada 3-16h de 16/05/2017

PRODUTO	MP (μg)	CONCENTRAÇÃO	CONCENTRAÇÃO
		h=420 m	h=1000 m
SOJA EM GRÃOS	$0,69.10^9$	$0,21 \mu\text{g.m}^{-3}$	$0,09 \mu\text{g.m}^{-3}$
FARELO DE SOJA	$0,12.10^9$	$0,04 \mu\text{g.m}^{-3}$	$0,01 \mu\text{g.m}^{-3}$

Emissões Fugitivas de material particulado em operações com grãos referentes à tomada 3-16h em 16/05/2017 para MP_{10} e $\text{MP}_{2,5}$. Volume do porto estimado para: h= 420 m = $3,276.10^9 \text{ m}^3$ e h = 1.000 m = $7,8.10^9 \text{ m}^3$.

Fonte: autor da dissertação

Na tomada 3-16h, h=420 m as concentrações por navios têm participação estimada em 1,74% na concentração para MP_{10} e 1,92% para $\text{MP}_{2,5}$. Para h=1000 m 0,71% para MP_{10} e 0,82% para $\text{MP}_{2,5}$. O índice divulgado pelo sistema QUALAR (CETESB, 2018) para MP_{10} foi $31 \mu\text{g.m}^{-3}$ e $\text{MP}_{2,5}$ foi $25,5 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Para emissões fugitivas o farelo de soja teve participação estimada de material particulado de 0,07% e a soja 0,37% para $h=420$ m. Para $h=1000$ m a soja teve participação estimada em 0,15% e o farelo de soja 0,02% no mesmo período. O índice divulgado pelo sistema QUALAR (CETESB, 2018) foi $56,5 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Não foi encontrado na literatura outros estudos no porto de Santos sobre emissões de material particulado por emissões de navios e emissões fugitivas por operações com grãos para que houvesse um parâmetro comparativo.

Os estudos em portos brasileiros como os realizados no porto de Paranaguá (RODRIGUES, 2016) e Salvador (TANIMOTO et al, 2012) utilizam a mesma modelagem proposta pela US EPA para estimar emissões, porém, a metodologia difere da utilizada nesse estudo.

No porto de Paranaguá em estudo realizado por Rodrigues (2016) estima as emissões por navios no momento de aproximação e atracação no porto desconsiderando as operações de desatracação.

No estudo realizado no porto de Salvador (TANIMOTO et al, 2012) considera tempo de 2 horas para operações de atracação e desatracação sendo uma hora para entrada da embarcação e uma hora para saída da Baía.

Nesse estudo foi considerado o tempo total para cada manobra, ou seja, início quando a embarcação sai da barra e fim quando a embarcação termina a operação de atracação. O mesmo acontece em relação a operação inversa (desatracação) com início no momento de desatracação e término quando a embarcação chega na barra.

De acordo com os dados obtidos pelas medidas realizadas com o sistema LIDAR, por meio dos gráficos observa-se que a presença de partículas se dá mais próximo à superfície, o que pode ser devido a proximidade das fontes emissoras ou ressuspensão.

Em relação aos valores do AE no canal 355 nm a tomada 2 – 14h, apresenta maior presença de partículas maiores em relação a tomada 1 – 11h e menor presença de partículas em relação a tomada 3 – 16h que mostra maior presença em comparação às três tomadas. No canal 1064 nm a tomada 1 – 11h mostra-se semelhante a tomada 2 – 14h. A tomada 3 – 16h apresenta uma concentração menor que os outros canais.

A leitura dos gráficos que mostram o coeficiente de extinção apresenta maior concentração de partículas menores na superfície na tomada 1 -11h o que se mantém para as demais tomadas.

Para uma melhor análise relacionada ao impacto ambiental que a presença de material particulado pode causar, é necessário a tomada de mais medidas em meses, dias e horários diferentes.

4.3 Resultados das emissões por navios

Resultados obtidos da coleta de dados para os cálculos do componente Atividade da Equação 3.1 no porto de Santos no período de 01/05/2017 a 31/05/2017 (Tabela 4.13).

Tabela 4.13- Atividade

TIPO DE NAVIO	QUANTIDADE	ATIVIDADE (h)
GRANELEIRO (G)	304	392,02
TANKER (T)	221	341,47
CONTAINER SHIP (CS)	365	489,71
CARGA GERAL (CG)	61	72,6
ROLL ON ROLL OFF (RR)	48	58,95
TOTAL	999	1.354,75

Atividade e quantidade de navios por tipo em maio de 2017.

Fonte: autor da dissertação.

Aplicando os valores obtidos (Tabela 3.2 e 3.3) para o cálculo de FC (fator de carga) na equação (3.2), obteve-se os resultados conforme mostrado na Tabela 4.14 para cada tipo de navio.

Tabela 4.14- Fator de Carga

TIPO DE NAVIO	FATOR DE CARGA (adm) (FC)
GRANELEIRO	0,08
TANKER	0,05
CONTEINER SHIP	0,04
CARGA GERAL	0,09
ROLL ON ROLL OFF	0,09

Resultados obtidos através da aplicação da equação 3.2 conforme mostrado na seção 3 Materiais e Métodos.

Fonte: próprio autor.

De acordo com os dados coletados conforme indicado nas tabelas 3.4, 3.5, 4.13 e 4.14 foi elaborada a Tabela 4.15 apresentando todos os dados necessários para o cálculo da Equação 3.1 que estima a taxa de emissão de navios no porto de Santos em maio de 2017. O mesmo procedimento aplica-se às estimativas referentes a Agosto de 2017.

Tabela 4.15- Dados para estimativa das emissões de material particulado por navios no porto de Santos referentes a maio de 2017

NAVIO (tipo e quantidade)	V. REAL (nós)	V. MAX (nós)	LF (adm)	POTÊNCIA (kW)	ATIVIDADE (h)	EF MP ₁₀ (g/kWh)	EF MP _{2,5} (g/Kwh)
GRANELEIRO 304	5,5	12,54	0,08	8.000	392,02	1,42	1,31
TANKER 221	4,5	11,63	0,05	9.400	341,47	1,42	1,31
CONTEINER SHIP 365	5,5	15,85	0,04	30.900	489,71	1,42	1,31
CARGA GERAL 61	5,5	12,06	0,09	9.300	72,06	1,42	1,31
ROLL ON ROLL OFF 48	5,5	12,02	0,09	11.000	58,95	1,42	1,31
TOTAL 999	-	-	-	-	1.354,21	-	-

V.Real: velocidade real. V.Max: velocidade máxima. LF: fator de carga. Pot. Motor: Potência do Motor. EF: fator de emissão. MP: Material Particulado.

Fonte: autor da dissertação

Aplicando os dados apresentados na Tabela 4.15 na Equação 3.1, observa-se que os resultados obtidos para maio de 2017 conforme Tabela 4.16

mostram que as emissões de material particulado por navios têm maior taxa de emissão para MP_{10} .

Tabela 4.16- Emissões por navio, maio de 2017

TIPO DE NAVIO	MP_{10} (μg)	$MP_{2,5}$ (μg)
GRANELEIRO	$3,56.10^{11}$	$3,29. 10^{11}$
TANKER	$2,28.10^{11}$	$2,10. 10^{11}$
CONTAINER SHIP	$8,59. 10^{11}$	$7,93. 10^{11}$
CARGA GERAL	$0,86. 10^{11}$	$0,79. 10^{11}$
ROLL ON ROLL OFF	$0,83. 10^{11}$	$0,76. 10^{11}$
TOTAL	$16,12. 10^{11}$	$14,87. 10^{11}$

Resultados referente ao mês de maio de 2017.

Fonte: autor da dissertação.

A tabela 4.17 mostra os dados utilizados para estimativa de emissões por navios referente ao mês de agosto de 2017.

Tabela 4.17- Dados para estimativa de emissões por navios. Agosto de 2017

NAVIO (tipo e quantidade)	V. REAL (nós)	V. MAX (nós)	FC (adm)	POTÊNCIA (kW)	ATIVIDADE (h)	FE MP_{10} (g/kWh)	FE $MP_{2,5}$ (g/Kwh)
GRANELEIRO 362	4,95	12,27	0,06	8.000	471,16	1,42	1,31
TANKER 231	5,07	12,55	0,06	9.400	335,77	1,42	1,31
CONTAINER SHIP 376	5,10	15,44	0,03	30.900	504,15	1,42	1,31
CARGA GERAL 56	4,90	12,70	0,05	9.300	70,20	1,42	1,31
ROLL ON ROLL OFF 56	5,44	15,17	0,04	11.000	64,85	1,42	1,31
TOTAL 1.081	-	-	-	-	1.446,13	-	-

Fonte: autor da dissertação.

As estimativas de emissões por navios referentes ao mês de agosto de 2017 apresentam maior taxa para MP_{10} conforme mostram os resultados apresentados na tabela 4.17.

Tabela 4.17-Emissões por navio agosto/2017

TIPO DE NAVIO	MP_{10} (μg)	$MP_{2,5}$ (μg)
GRANELEIRO	$3,21. 10^{11}$	$2,96. 10^{11}$
CONTAINER SHIP	$6,64. 10^{11}$	$6,12. 10^{11}$
TANKER	$2,69. 10^{11}$	$2,48. 10^{11}$
CARGA GERAL	$0,46. 10^{11}$	$0,43. 10^{11}$
ROLL ON ROLL OFF	$0,40. 10^{11}$	$0,37. 10^{11}$
TOTAL	$13,40. 10^{11}$	$12,36. 10^{11}$

Fonte: autor da dissertação.

4.4 Resultados das emissões fugitivas

Conforme mostrado na seção 3 Materiais e Métodos os dados para o estimativa da taxa de emissão de fontes fugitivas referente ao mês de maio de 2017 estão apresentados na Tabela 3.8 para cada tipo de material e, foram aplicados nas equações 3.3 e 3.4.

O resultado mostrado na Tabela 4.18 indica que as maiores emissões no mês de maio de 2017 são provenientes de operações de soja em grãos. De acordo com informações obtidas junto a CODESP, em maio de 2017 não houve operações de carga e descarga com milho no porto de Santos.

Tabela 4.18- Emissões fugitivas maio/2017

PRODUTO	MAIO 2017 (μg)	CONCENTRAÇÃO ($\mu g.m^{-3}$)
SOJA EM GRÃOS	$2,56. 10^{11}$	78,14
FARELO DE SOJA	$0,45. 10^{11}$	13,73

Fonte: autor da dissertação.

Em agosto de 2017 as operações com grãos contam com a participação do milho. Na seção 3 Materiais e Métodos tabela 3.9 constam os dados para o estimativa da taxa de emissão de fontes fugitivas referente ao mês de agosto de 2017 que foram aplicados nas equações 3.3 e 3.4.

A tabela 4.19 mostra os resultados da estimativa das concentrações de emissões fugitivas por grãos em agosto de 2017. A concentração gerada por grãos de milho é muito maior do que as concentrações dos grãos de soja e farelo de soja. Isso se deve ao fato de que esse é mês que apresenta maior movimentação com grão de milho.

Tabela 4.19- Emissões fugitivas agosto/2017

PRODUTO	AGOSTO 2017 (μg)	CONCENTRAÇÃO ($\mu\text{g.m}^{-3}$)
SOJA EM GRÃOS	$0,83. 10^{11}$	25,33
FARELO DE SOJA	$1,16. 10^{11}$	35,40
MILHO	$6,98. 10^{11}$	213,06

Fonte: autor da dissertação.

No mês de maio/2017 segundo relatório divulgado pelo sistema QUALAR (CETESB 2018), as emissões de MP_{10} tiveram concentração média mensal de $17 \mu\text{g.m}^{-3}$ e $\text{MP}_{2,5}$ de $15 \mu\text{g.m}^{-3}$. Nesse período as emissões por navios tiveram concentração média mensal de $15,87 \mu\text{g.m}^{-3}$ para MP_{10} e $14,62 \mu\text{g.m}^{-3}$ para $\text{MP}_{2,5}$.

As concentrações de emissões fugitivas por grãos especificam o material particulado total, ou seja, MP_{10} e $\text{MP}_{2,5}$ somados. Para o mês de maio/2017 as estimativas da média mensal foram para soja $2,52 \mu\text{g.m}^{-3}$ e para o farelo de soja $0,44 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Os índices de média mensal em agosto/2017 divulgados pelo sistema QUALAR (CETESB, 2018) para MP_{10} foram $21 \mu\text{g.m}^{-3}$ e $\text{MP}_{2,5}$ $18 \mu\text{g.m}^{-3}$. As estimativas das concentrações das emissões de navio referentes a esse período foram $13,19 \mu\text{g.m}^{-3}$ para MP_{10} e $12,17 \mu\text{g.m}^{-3}$ para $\text{MP}_{2,5}$.

Diferente do mês de maio/2017, o mês de agosto/2017 apresenta estimativas para o milho além da soja e farelo de soja. As operações com grãos estimaram um total de $8,83 \mu\text{g.m}^{-3}$ na média mensal de concentração. O milho teve

a estimativa mais alta $6,87 \mu\text{g.m}^{-3}$ seguido do farelo de soja $1,14 \mu\text{g.m}^{-3}$ e da soja $0,82 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Conforme divulgado pela Análise do Movimento Físico do Porto de Santos (CODESP, agosto, p.3, p.7 e p.9, 2017), houve um crescimento significativo no embarque dos grãos de milho (67,6%) e da soja (89,7%).

O porto de Santos foi o que teve maior exportação de soja (32%) em relação aos portos nacionais de Paranaguá (15,6%) e Rio Grande (14,7%). Os principais destinos de exportação são:

- China: 85,8%
- Tailândia: 6,3%
- Taiwan: 2,2%

Conforme divulgado no Relatório de Qualidade do Ar (CETESB, 2017) na região de Santos o mês de maio de 2017 foi marcado por chuvas acima da média em relação ao mesmo período do ano anterior.

O mês de agosto de 2017 (Figura 4.21), apresentou concentrações mais altas de poluentes o que pode ser explicado devido a maior ocorrência de inversão térmica, ventos mais fracos e baixo nível pluviométrico.

Figura 4.21- Condições meteorológicas 2017

Santos, 2017.

Fonte: www.climatempo.com.br/climatologia/540/santos-sp.

5 CONCLUSÕES

Para a realização deste trabalho foi utilizada como suporte a técnica lidar para detectar a presença de material particulado no porto de Santos.

Foram efetuadas três medidas no dia 16 de maio de 2017 em três horários diferentes (11h, 14h e 16h). As medidas identificaram a presença de material particulado com maior quantidade para partículas de diâmetros maiores, o que pode significar ressuspensão de poeira ou proximidade da fonte emissora.

A técnica lidar para detectar a presença de material particulado na região do porto de Santos é pioneira e, seria interessante dar continuidade a esse estudo que pode se aprofundar mais com o levantamento de emissões de outras atividades como a movimentação de veículos, equipamentos portuários e emissões de indústrias no entorno do porto.

Os resultados obtidos dão a oportunidade de aplicar a técnica Lidar com maior amplitude em uma região diferenciada, onde os níveis de poluição também exigem preocupação especial.

O desenvolvimento das modelagens propostas permitiu estimativas que quantificam as emissões por navios e operações com grãos e as medidas com o sistema LIDAR pôde identificar a presença de partículas na região portuária.

Os resultados obtidos no momento das medidas apresentaram índices relativamente baixos, porém, os resultados das médias mensais se mostram muito preocupantes.

Nos meses de maio/2017 e agosto/2017 não houve campanha para tomada de medidas e a quantificação de material particulado foi estimada por meio das modelagens proposta pela US EPA (2006) e US EPA (2009).

O mês de agosto que contou com a participação do milho, em relação ao mês de maio apresentou aumento considerável nas emissões por grãos. Porém, além da inclusão do milho deve ser considerado alguns fatores meteorológicos. Agosto apresentou baixo nível pluviométrico e maior ocorrência de inversão térmica, o que dificulta a dispersão da partículas.

Os valores encontrados nesse estudo são estimativas que mostram que as emissões de material particulado no porto podem contribuir em muito com a

qualidade do ar nessa região, impactando diretamente na saúde dos trabalhadores do porto e da população que reside em seu entorno.

Concluindo, espera-se que as informações obtidas nesse estudo possam contribuir de forma positiva auxiliando trabalhos futuros.

.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I. T.; **A poluição Atmosferica por Material Particulado na Mineração a Céu Aberto**; Dissertação (Mestre em Engenharia); Escola Politécnica da Universidade de São paulo; 187p.; São Paulo, SP; 1999. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-31012002-170628/pt-br.php>>. Acesso: 18 de julho de 2016.

AMORIM, E. L. C.; **Controle da Poluição Ambiental**; Universidade Federal de Alagoas – UFAL – Unidade Acadêmica Centro de Tecnologia – CTEC; Disponível: <http://www.ctec.ufal.br/professor/elca/Aula%20Polui%C3%A7%C3%A3o%20ambiental.pdf> Acesso: 25/08/2015

ANDRADE, R. M. G. **Avaliação da Qualidade do Ar no Município de Santos de 2011 a 2015 Analisadas com Base no Sistema QUALAR**. 2016. 61 p. Monografia (Especialização em Gerenciamento Ambiental.)- ESALQ - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2016. Disponível em: <http://escolasuperior.cetesb.sp.gov.br/wpcpntent/uploads/sites/60/2016/Renata-Maria_Guerra-de-Andrade-Avaliacao-da-Qualidade-do-Ar-no-Municipio-de-Santos-entre-2011-e-2015-Analisada-com-Base-nos-Dados-do-QUALAR.pdf>. Acesso em 13 maio 2017.

ANTAQ; Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Imo Organização Marítima Internacional**. 2009. Apresentação em slides. Disponível em: < <http://antaq.gov.br/Portal/pdf/palestras/ApresentacaoIMO.pdf>>. Acesso em: 21/08/2018.

ARAÚJO, E. L.; **Poluição do Ar**; Disciplina Ciências do Ambiente; Universidade Federal de Campina Grande; Campina Grande, Pb; 2012. Disponível em: <http://www.hidro.ufcg.edu.br/twiki/pub/CADayse/MaterialDaDisciplina/Aula14PoluicaoAr.pdf>... Acesso em: 15 de julho de 2016.

ARTAXO, P. F.; GERAB, M. A.; MARTINS, J. V.; **Fine Mode Aerosol Composition at Three Long-term Atmospheric Monitoring**. Basin: Journal of Geophysical Research: Atmospheres; v.99; p.22857 – 22868.

BARBOSA, H.; **Aerossois Atmosféricos**; Disciplina Física da Poluição do Ar; Instituto de Física da universidade de São Paulo; São Paulo, SP; 2016. Disponível em: <http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa/uploads/Teaching/FisPoluicaoAr2016/Aula8_grupo5.pdf> Acesso em: 21 de maio de 2017.

CAVALCANTI, P. M. P. S.; **Modelo de Gestão de Qualidade do Ar-Abordagem Preventiva e Corretiva**; Tese (Doutor em Planejamento Energético); Universidade Federal do Rio de Janeiro; Rio de Janeiro, RJ; 2010. Disponível em: <http://www.ppl.ufrj.br/ppl/production/tesis/paulina_maria.pdf>. Acesso em: 5 de julho de 2017.
Disponível em: <<http://www.ambiente.com.br/main.php?ver=artigo&id=7>>. Acesso em: 23 de março de 2017.

CETESB; **Avaliação da Qualidade do Ar no Município de Santos 2011 a 2014**; 40p.; São Paulo, SP; 2015. Disponível em: <<http://www.cetesb.gov.br>>. Acesso em: 11 de julho de 2017.

CETESB; **Qualidade do Ar, Informações**; Poluentes; 2017. Disponível em: http://www.sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_saude.asp. Acesso em: 21 de novembro de 2017.

CETESB; **Qualidade do Ar: poluentes**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente; São paulo, 2001. Disponível em: <http://www.sistemasinter.cetesb.gov.br/Ar/ar_saude.asp >. Acesso em: 15 de julho de 2017.

CETESB; **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2014**; CETESB, São paulo; 2015. Disponível em: <<http://www.cetesb.gov.br>>. Acesso em: 15 de julho de 2017.

CETESB. **Qualidade do Ar**. Disponível em: < <http://ar.cetesb.sp.gov.br> >. Acesso em 18 de fevereiro de 2018.

Cezar, R. C. M.; Matos, J. C.; Correa, S. Q.; **Poluição por Material Particulado decorrente da Movimentação de Granel Sólido no Porto de Santos**; VII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Ponta Grossa, PR; 08/12/2010.

CLIMATEMPO, **CLIMATOLOGIA**; disponível em: <<https://www.climateempo.com.br/climatologia/540/santos-sp>>. Acesso em: 09/10/2018.

CODESP; Companhia Docas do Estado de São Paulo; **Porto de Santos**. 2015. Disponível em: <<http://www.portodesantos.com.br> >. Acesso em: 28 setembro de 2015.

CODESP; Companhia Docas do Estado de São Paulo; **Análise do Movimento Físico do Porto de Santos – Agosto de 2017**; p.3, p.7 e p.9; outubro, 2017. Disponível em: < www.portodesasntos.com.br > Acesso em: 30 de maio de 2018.

COSTA, R. F. C.; **Estudos das Propriedades Ópticas dos Aerossóis no Estado de São Paulo com a Técnica Lidar**; Dissertação, Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais; IPEN/USP, São Paulo, 2010. Disponível em: www.teses.usp.br. Acesso em: 15/04/2015.

COSTA, R. F.; **Sensoriamento Remoto a Laser de Aerossóis em uma Refinaria de Petróleo**; Tese (Doutorado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear-Materiais); Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares-IPEN, Universidade de São Paulo; São Paulo, SP; 117p.; 2015. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses>> Acesso em: 12 de outubro de 2016.

FORNARO, A.; **Introdução a Química Atmosférica**; DCA/IAG/USP; São Paulo, SP, 2013. Disponível em: <http://www.dca.iag.usp.br/material/fornaro/ACA410/ACA410_7marco2013.pdf>. Acesso em: 3 de maio de 2016.

GARNIER, J.; BILLEN, G.; NÉMERY, J.; SEBILO, M.; ***Transformations of nutrients (N, P, Si) in the turbidity maximum zone of the Seine***. Estuarine, Coastal and Shelf Science. V. 90, p 129-141; 2010.

GUERRERO-RASCADO, J. L. et al.; **Multispectral elastic scanning lidar for industrial flare research**: characterizing the electronic subsystem and application. *Optics Express*, v. 22, n. 25, p. 310631077, 2014.

HOBBS, P.; WALLACE, J. M.; ***Atmospheric Science: Na Introductory Survey***; 2.ed., University of Washington, 471 p., Washington, USA, 2006.

LACAVA, C. I. V.; ***Emissões Atmosféricas: Avaliação da Qualidade do Ar***; cap.2; p. 131-180. Disponível em: http://www.ambiental.ufpr.br/wp-content/uploads/2014/08/Livro_TGA-EA_cap2_QUAL_AR.pdf. Acesso em: 13 de julho de 2016.

KOVALEV, W. A.; EICHINGER, W. E.; ***Elástica Lidar***: theory, practice and analysis methods. 1st. Ed. New Jersey: Wiley-Interscience Publication, 2004.

LAJ, P.; ***Atmospheric Environment***; Measuring Atmospheric Composition Change; Elsevier, 2009. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/atmosenv>> Acesso em: 18 de setembro de 2015.

LEME, N. P.; ***Química da Atmosfera***; INPE-Centro Regional do Nordeste, Natal, RN; 2010; slides. Disponível em: <http://www.sbpnet.org.br/livro/62ra/minicursos/MC%20Neusa%20Paes%20Leme_2.PDF>; Acesso em: 17 de maio de 2017.

LIU, K. N.; *Na Introduction to Atmospheric Radiation*. 2 nd. Ed. California: Academic Press, 2002.

LISBOA, H. M.; ***Controle da Poluição Atmosférica***; cap.1; primeira versão; ed ENS/UFSC; Santa Catarina, 2007. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAfTnQAJ/controla-poluicao-atmosferica-capt-introducao>>.. Acesso em: 21 de maio de 2016.

LUCON, O. S.; ***Modelo Horus Inventário de Emissões de Poluentes Atmosféricos pela Queima de Combustíveis em Indústrias no Estado de São Paulo***; Tese (Doutor em Energia); Universidade de São Paulo, 2003. Disponível em: <http://www.iee.usp.br/producao/2003/teses/Horus.pdf>>. Acesso em: 18 de agosto de 2016.

MAIOLI, G. L. O.; NASCIMENTO, G. N.; ***Composição da Atmosfera***; Ciclos Globais e Tempo de Vida, Monitoramento da Qualidade do ar; Universidade Federal do Espírito Santo; Departamento de Engenharia Ambiental; Vitória, ES, 29p.; 2005. Disponível em: <http://www.ambiente.com.br/main.php?ver=artigo&id=7>. Acesso em: 23 de março de 2017.

MARINE TRAFFIC. Disponível em: < www.marinetraffic.com > Acesso em: 02/10/2017.

MEDEIROS, S.; **Química Ambiental**. 3ª. ed.; Revista Ampliada, 2005. 122 p.; Recife.

MEASURES, R. R.; *Laser Remote Sensing Fundamentals and Applications*. 1 st. Ed. Florida: Krieger Publishing Company, 1984.

MEROLA, V. F. M.; **Os Portos na Nova Economia Global: Uma Proposta de Gestão Ambiental Estratégica para a Promoção da Sustentabilidade e Saúde em Cidades Portuárias**; Tese (Doutor em Ciências); Programa de Pós-Graduação Saúde Global e Sustentabilidade da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br>> Acesso em: 18/10/2018.

MONKS, P. S.; **Atmospheric Composition Change**; Global and Regional Air Quality; Atmospheric Environment; 2009.

MORAES, A. P. F.; **Estudo do Perfil Atmosférico com as Técnicas Lidar e Análises de Filtros de Impactação no Período de Queimadas e Relação com Interações por Doenças Respiratórias em Porto Nacional e Estado do Tocantins (2008-2016)**; IPEN/USP, São Paulo, 2017. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-23062017-103754/pt-br.php> Acesso: 15/02/2018.

MOUVIER, G. A. **A poluição Atmosférica**; Biblioteca Básica da Ciência e Cultura. 1.ed. São Paulo, 1996.

NUNES, G. F. M.; **Tratamento de Resíduos Gasosos**; Módulo IV; Minas Geraes; 2015. Disponível em: http://www.tecquimica.cefetmg.br/galeias/arquivos_dowload/tratamento_de_Resx_duos_Gasosos.pdf. Acesso em: 2 de maio de 2017.

PARREIRA, C. N.; **Avaliação da Hidrodinâmica e da poluição do Canal de Piaçaguera, no Estuário de Santos – São Vicente (SP), a Partir de Informações Ambientais e Modelagem Numérica**; Dissertação (Mestre em Ciência Ambiental); Programa de Ciência Ambiental da Universidade de São Paulo; 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br>> Acesso em: 29 de setembro de 2017.

PÉREZ, N.; Pey, J., Reche, C., Cortés, J., Alastuey, A., Querol, X. (2016). **Impact of harbour emissions on ambient PM10 and PM2.5 in Barcelona (Spain)**: Evidences of secondary aerosol formation within the urban area. *Sci Total Environ.* 57 , 237-50.

PETROBRAS. **Manual Técnico**. Combustíveis Marítimos. Informações Técnicas. Assistência Técnica, 2013. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/>> Acesso em: 8 de dezembro de 2017.

PRATICAGEM SANTOS, Santos Pilots: banco de dados. Disponível em: <<http://www.sppilots.com.br/>> Acesso em: 3 de abril de 2016.

Prefeitura do município de Santos – SP. <http://www.santos.sp.gov.br/> Acesso em: 16 de julho de 2015.

REIS JÚNIOR, N. C.; **Resursos Atmosféricos**; Poluentes Atmosféricos; Aula 3; 2005. Disponível em: <http://www.inf.ufes.br/~neyval/Rec_Atm_Graduacao?Aula_Illa.pdf> Acesso em: 21 de agosto de 2017.

RODRIGUES, J. P.; **Modelagem Matemática de Dispersão de Poluentes Atmosféricos como Etapa de Pré Seleção de Locais para Instalação de Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar em Paranaguá-PR**; Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental); Universidade Tecnológica Federal do Paraná; Curitiba, PR, 2016. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1850/1/CT_PPGCTA_M_Rodrigues%2C%20Juliana%20Pilato_2016.pdf> Acesso em: 17 de outubro de 2017.

SANTOS JÚNIOR, D. A. M.; **Quantificação de Fontes com Modelos Receptores e Caracterização do Material Carbonáceo**; Dissertação (Mestrado em Ciências), Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 2015.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N.; **Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change**; 2 ed., published by Willey & Sons, Inc.; New Jersey, USA, 1998.

SILVA; A. M. E. V.; **Emissões fugitivas de partículas para atmosfera: caracterização, impactos e mitigação**. Tese (Doutor Em Ciências e Engenharia do Ambiente); Universidade de Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento; Portugal; 195 p.; 2017. Disponível em: <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/22048/1/tese_doutor_AlexandraSilva_FINAL_14_8_17.pdf> Acesso em: 14/10/2018.

SILVA, O. R. S.; MEIRELES, M.; SANCHES, C.; **Gestão Ambiental**; O Problema da Poluição Atmosférica no Porto de Santos; Associação nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração, 12p.; 2005. Disponível em: <http://www.anpad.org.br/~anpad/pesquisa_resultado.php> Acesso em: 23 de junho de 2016.

TANIMOTO, A. H.; SOUZA, C. R. B.; WANDERLEY, R. G.; RIBEIRO, N. M.; **Estudos em Segurança, Meio Ambiente e Saúde**; p.39; Salvador, BA; 2012. Disponível em: <<http://www.institutokirimurl.pro.br>>

TOMMASI, L. R.; **Considerações Ecológicas sobre o Sistema Estuarino de Santos (SP)**. Tese (Livre-Docência); Universidade de São Paulo. Instituto Oceanográfico. São Paulo, SP, 2 v. 489p. 1979.

UEHARA, S. T.; **Análise de Dadosm do Sistema Lidar de Retroespalhamento Correlacionada com Dados Metereológicos**; Dissertação (Mestre em Ciências na área de Tecnologia Nuclear-Materiais); IPEN/USP; São paulo, SP; 149p.; 2009. Disponível em: <<http://teses.usp.br/teses>> Acesso em: 16 de junho de 2016.

US-EPA, U. S. E. P. A.; **AP 42, Air Emissions Factors Pollutant Introduction**, janeiro, 1995. Disponível em:

< www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>. Acesso em: 13 de junho de 2017

US-EPA, U. S. E. P. A.; **AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors**, vol. 1: Stationary Point and Area Sources, cap. 13.2.4-3, Miscellaneous Sources, novembro, 2006. Disponível em:
< www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0204.pdf>. Acesso em: 13 de junho de 2017.

US-EPA, U. S. E. P. A.; **Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories**; Virgínia 22031: U. S. Environmental Protection Agency, 2009. Disponível em:<<http://www.epa.gov/sites/production/files/2016-06/documents/2009-port-inventory-guidance.pdf>>. Acesso em: 19 de junho, 2017.

WEITKAMP, C.; **Lidar Range-Resolved Optical Remote Sensing of the Atmosphere**. 1 st. Ed. New York: Springer, 2005.

YAMAGATA, S.; DOMATO, M.; **Controle da Poluição Ambiental em Portos; Gestão Ambiental Portuária vol.2**, 85p.; Ministério dos Transportes, São Paulo, SP; Ministério do Meio Ambiente, ANTAQ, 2001. Disponível em: <<http://www.web.antaq.gov.br>> Acesso em: 13 de janeiro de 2016.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Diretoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Ensino
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária CEP: 05508-000
Fone/Fax(0XX11) 3133-8908
SÃO PAULO – São Paulo – Brasil
<http://www.ipen.br>

O IPEN é uma Autarquia vinculada à Secretaria de Desenvolvimento, associada à Universidade de São Paulo e gerida técnica e administrativamente pela Comissão Nacional de Energia Nuclear, órgão do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.