



**COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA SUPERIOR DA CETESB**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM CONFORMIDADE AMBIENTAL COM REQUISITOS**  
**TÉCNICOS E LEGAIS**

**Laia Matías Rodríguez**

**PROPOSTA DE REDUÇÃO DAS EMISSÕES DA OPERAÇÃO DE UMA**  
**CENTRAL DOSADORA DE CONCRETO**

**São Paulo**  
**2021**



**Laia Matías Rodríguez**

**PROPOSTA DE REDUÇÃO DAS EMISSÕES DA OPERAÇÃO DE UMA  
CENTRAL DOSADORA DE CONCRETO**

**“Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós-Graduação em Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais da Escola Superior da CETESB, como requisito para obtenção de título de especialista em Conformidade Ambiental.”**

**Orientador(a): Prof. (Dra.) Lígia Cristina Gonçalves de Siqueira**

**São Paulo**

**2021**



CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
CONFORMIDADE AMBIENTAL COM REQUISITOS TÉCNICOS E LEGAIS



AVALIAÇÃO DOS TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aluno(a):	Laia Matías Rodríguez	
Título do trabalho:	PROPOSTA DE REDUÇÃO DAS EMISSÕES DA OPERAÇÃO DE UMA CENTRAL DOSADORA DE CONCRETO	Turma: 2018

Avaliadores	Nota	Assinatura
Avaliador 1 Nome: Larissa Ciccotti Freire	10,0	
Avaliador 2 Nome: João Vicente de Assunção	10,0	
Orientadora Nome: Lígia Cristina Gonçalves de Siqueira	10,0	
Nota final	10,0	
Aprovado em São Paulo, 23 de fevereiro de 2021		

Ciência do aluno(a) nome: 	Assinatura 
-------------------------------	----------------

A aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso não significa aprovação, endosso ou recomendação, por parte da CETESB, de produtos, serviços, processos, metodologias, técnicas, tecnologias, empresas, profissionais, ideias ou conceitos mencionados no trabalho.

## DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

(CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

M38p	<p>Matías Rodríguez, Laia Proposta de redução das emissões da operação de uma central dosadora de concreto / Laia Matías Rodríguez. – São Paulo, 2021. 207 p. : il. color. ; 30 cm.</p> <p>Orientadora: Profa. Dra. Lígia Cristina Gonçalves de Siqueira. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Conformidade Ambiental) – Pós-Graduação Lato Sensu Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais, Escola Superior da CETESB, São Paulo, 2021. Disponível também em: &lt;<a href="http://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/producao-tecnico-cientifica/">http://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/producao-tecnico-cientifica/</a>&gt;.</p> <p>1. Ar – poluição – controle 2. Concreto - poluição atmosférica 3. Emissões atmosféricas - fontes I. Siqueira, Lígia Cristina Gonçalves de, Orient. II. Escola Superior da CETESB (ESC). III. Título.</p>
CDD (21. ed. Esp.)	666.902 86 363.739 27
CDU (2. ed. Port.)	628.511:666.97

Catálogo na fonte: Hilda Andriani de Lima – CRB 8-1861  
Margot Terada – CRB8.4422

Direitos reservados de distribuição e comercialização.  
Permitida a reprodução desde que citada a fonte.

© CETESB.  
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345  
Pinheiros – SP – Brasil – CEP 05459900  
Site: <<http://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/producao-tecnico-cientifica/>>

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais pelo apoio prestado, que sempre acreditaram em mim e me encorajaram a continuar os estudos, independente de adversidades e fases de desmotivação.

Agradeço também aos meus amigos, aos quais considero minha segunda família e que sempre tiveram muita paciência comigo durante os períodos de ausência.

Agradeço aos professores, sempre dispostos a me apoiar com o meu desenvolvimento acadêmico, em especial a minha professora e orientadora Dra. Ligia Cristina Gonçalves de Siqueira, que sempre foi muito prestativa e paciente, ajudando e tirando dúvidas independente de dia e horário.

Agradeço a empresa e os respectivos integrantes por colaborar com o desdobramento do trabalho, fornecendo todas as informações e dados necessários e tirando eventuais dúvidas sobre os processos relacionados ao estudo.

Agradeço também a Escola Superior da CETESB, ao corpo docente e demais envolvidos por proporcionarem as ferramentas necessárias para a conclusão do curso de maneira satisfatória.

## EPÍGRAFE

“Lembre-se que as pessoas podem tirar tudo de você, menos seu conhecimento”.

Albert Einstein

## RESUMO

“O concreto é um dos materiais construtivos mais utilizados, ficando atrás unicamente da água”. Em paralelo, tem-se que a construção civil, considerando-se a cadeia como um todo, “desde a extração da matéria-prima”, até a concretagem em obras, é a que mais gera impactos ao meio ambiente. Não obstante, a atividade de preparação de massa de concreto carece de legislação específica quando se fala em emissões atmosféricas, o qual aliado ao fato de que a maioria das centrais fica localizada próximas de centros com grande densidade populacional, devido a questões logísticas e técnicas do concreto, acarreta incômodos para a vizinhança desses empreendimentos e embates entre ambos. No presente trabalho, foi realizada a identificação das “fontes de emissões atmosféricas de uma central dosadora de concreto”, a classificação de cada uma das fontes para elaboração de inventário, os poluentes emitidos, as emissões estimadas e as propostas de melhorias com o intuito de reduzir as emissões do empreendimento. Através de consulta em literatura e visitas ao empreendimento, foi realizado um levantamento para identificação das fontes de poluição do ar do empreendimento, além da estimativa dos poluentes emitidos resultantes de cada uma delas. Os métodos mais indicados para a estimativa de cada fonte foram selecionados, sendo escolhido o programa TANKS 4.09d e os fatores de emissão, ambos disponibilizados pela USEPA. A partir dos resultados alcançados, foi possível verificar as fontes que são mais e menos significativas. Apesar de não haver padrões de emissão específicos para a atividade em questão, é importante sempre buscar o aprimoramento dos processos existentes, sendo sugerida a elaboração de diferentes procedimentos operacionais, como a manutenção e limpeza periódica dos equipamentos existentes, além da operação destes conforme especificações dos fabricantes e projeto de enclausuramento das fontes de emissão.

**Palavras-Chave:** Poluição atmosférica. Concreto. Tecnologias de controle. Fatores de emissão.

## ABSTRACT

“Concrete is one of the most widely used building materials, second only to water.” At the same time, civil construction, considering the chain as a whole, from the extraction of raw materials, to concreting in construction sites, is the one that most impacts the environment. Nevertheless, concrete batching lacks specific legislation when it comes to atmospheric emissions, which combined with the fact that most of the plants are located close to high population density centers, due to logistical and technical issues of the concrete, causes discomfort to the neighborhood of these enterprises and discussions between them. In this essay, a survey was made of the sources of atmospheric emissions from a concrete batching plant, the classification of each source, the pollutants emitted, the estimated emissions and proposals for improvements in order to reduce the calculated emissions. Through literature consultation and local visits, the sources of air pollution, the pollutants resulting from each one and the most suitable methods for estimating each source were identified, being chosen the TANKS 4.09d program and emission factors, both issued by USEPA. “From the results obtained, it was possible to verify which sources are more and less significant.” Although there are no specific emission standards for the activity in question, it is important to always seek to improve existing processes. For that, it was suggested the development of different operational procedures, including the periodic maintenance and cleaning of existing equipment, besides to their operation according to the manufacturers specifications and project to enclose emission sources.

**Keywords:** Atmospheric pollution. Concrete. Control Technologies. Emission factors.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Regiões de Controle estipuladas pelo PREFE 2014.	24
<b>Figura 2</b> - Visão aproximada da Região de Controle 01 - São Paulo, com os poluentes que devem ser controlados na região emitidos por fontes existentes	25
<b>Figura 3</b> - Distribuição das emissões atmosféricas de cada fonte na RMSP.	26
<b>Figura 4</b> - Normas Técnicas para ensaio dos principais componentes do concreto dosado em central.	56
<b>Figura 5</b> – Esquema simplificado do funcionamento de uma central dosadora de concreto.	58
<b>Figura 6</b> – Identificação de pontos de geração de emissões atmosféricas em uma central dosadora de concreto	60
<b>Figura 7</b> - Comparação dos principais métodos de estimativa de emissão com relação ao custo e qualidade dos resultados.	65
<b>Figura 8</b> - Principais mecanismos de aderência das partículas.	74
<b>Figura 9</b> – “Câmara de sedimentação gravitacional do tipo simples”	78
<b>Figura 10</b> - Exemplo de tipos de limpeza das mangas	81
<b>Figura 11</b> - Filtro de mangas com entrada externa do ar poluído	83
<b>Figura 12</b> - Lavador Venturi.	85
<b>Figura 13</b> - Processo de captação do material particulado dentro do precipitador eletrostático.	86
<b>Figura 14</b> - Relação entre eficiência do controle de emissão atmosférica em razão da quantidade de água aplicada nas vias não pavimentadas	89
<b>Figura 15</b> - Etapas do desenvolvimento do estudo.	93
<b>Figura 16</b> - Subprefeitura da Lapa, que abrange o bairro do Jaguaré.	95
<b>Figura 17</b> - Zoneamento municipal conforme descrito na Lei nº 16.402/2016.	96
<b>Figura 18</b> - Imagem da central dosadora de concreto vista de cima.	97
<b>Figura 19</b> - Baias para armazenamento dos agregados.	98
<b>Figura 20</b> - Silos para armazenamento de cimento e escória.	99
<b>Figura 21</b> – Moega nº 02, esteira transportadora e P5.	99
<b>Figura 22</b> - Ponto de carga com caminhão posicionado.	100
<b>Figura 23</b> - Redosador.	100
<b>Figura 24</b> - Pá carregadeira realizando a limpeza das caixas de decantação.	101
<b>Figura 25</b> - Tanque de diesel e local onde é feito o abastecimento dos veículos.	101
<b>Figura 26</b> - Dados meteorológicos informados para cadastro do município de São Paulo no programa TANKS.	108
<b>Figura 27</b> - Informações inseridas no programa TANKS referente ao produto usado no tanque.	109
<b>Figura 28</b> - Gráfico da velocidade x altura, focando na altura da rugosidade, representada por $Z_0$ .	121
<b>Figura 29</b> - Divisão em subáreas de uma pilha sofrendo ação do vento de frente.	124
<b>Figura 30</b> - Divisão em subáreas de duas pilhas ovais, sofrendo ação do vento em Ângulos diferentes.	124
<b>Figura 31</b> - Ponto de carga dos caminhões betoneira, com estrutura para aspersão de água em destaque.	156
<b>Figura 32</b> - Filtro de manga com tampa de inspeção aberta.	157

## LISTA DE FIGURAS

continuação

<b>Figura 33</b> – Modelo de aspersor instalado nas baias de brita	158
<b>Figura 34</b> - Aspersores das baias em funcionamento.	158
<b>Figura 35</b> - Esteira de transporte dos agregados, sem cobertura.	158
<b>Figura 36</b> - Sistema separador de água e óleo, com foco no local de armazenamento do efluente final.	160

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – “Composição média da atmosfera seca abaixo de 25 km.”	20
<b>Quadro 2</b> - Metais e outros componentes presentes no cimento utilizado na fabricação do concreto	38
<b>Quadro 3</b> – “Padrões de qualidade do ar” (Resolução CONAMA nº 491/2018).	48
<b>Quadro 4</b> - Critério para classificação de volatilidade conforme Decisão da Diretoria nº 010/2010/P.	50
<b>Quadro 5</b> – “Padrões de qualidade do ar” (Decreto Estadual nº 59.113/13).	51
<b>Quadro 6</b> - Relação de emissões atmosféricas geradas em centrais dosadoras de concreto, sua classificação e origem	62
<b>Quadro 7</b> - Linhas de corte dos poluentes segundo o Artigo 12 do Decreto 59.113/13	63
<b>Quadro 8</b> – “Materiais de tecidos usados em filtros industriais”.	82
<b>Quadro 9</b> - Parâmetros operacionais de alguns lavadores	84
<b>Quadro 10</b> - Classificação e características das principais fontes de emissão do empreendimento.	103
<b>Quadro 11</b> - Informações dos principais aditivos utilizados no empreendimento.	105
<b>Quadro 12</b> - Informações do combustível utilizado no empreendimento.	106
<b>Quadro 13</b> - Informações estruturais do tanque	107
<b>Quadro 14</b> - Fatores de emissão para o cálculo das emissões atmosféricas de preparação de concreto.	112
<b>Quadro 15</b> - Valores para k, em g/VKT, dependendo do tamanho da partícula	116
<b>Quadro 16</b> - Valores para sL, em g/m <sup>2</sup>	116
<b>Quadro 17</b> - Diversos valores para k, conforme o tamanho da partícula desejado.	122
<b>Quadro 18</b> - Velocidades limites de atrito para diferentes materiais	123
<b>Quadro 19</b> - Distribuição das subáreas das pilhas de agregados.	125
<b>Quadro 20</b> - Valores pré-determinados de k com base no tamanho das partículas.	134
<b>Quadro 21</b> - Tamanho das partículas dos agregados, conforme informações disponibilizadas pelo empreendimento.	134
<b>Quadro 22</b> – Fatores de emissão para sistemas separadores de água e óleo (Kg COVs/ 10 <sup>3</sup> L de efluente)	139
<b>Quadro 23</b> - Fatores de emissão para Metais e outros componentes lançados na atmosfera inseridos no material particulado durante as operações de uma Central Dosadora de Concreto (kg/t de material movimentado)	141
<b>Quadro 24</b> - Compilação dos pontos de emissão atmosférica e as propostas de melhoria correspondentes.	162
<b>Quadro 25</b> – Valores das temperaturas médias máximas	199
<b>Quadro 26</b> – Valores das temperaturas mínimas médias	200
<b>Quadro 27</b> – Valores das temperaturas médias médias.	200
<b>Quadro 28</b> – Valores das velocidades médias dos ventos.	201
<b>Quadro 29</b> - Valores médios de Radiação solar	201
<b>Quadro 30</b> - Valores médios de pressão atmosférica.	202

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Resultados referentes a emissão do tanque de diesel.	110
<b>Tabela 2</b> - Resumo da estimativa de emissões para a operação de preparação da massa de concreto	115
<b>Tabela 3</b> - Fatores de emissão estimados para emissão de vias pavimentadas	118
<b>Tabela 4</b> - Estimativa de emissão de vias pavimentadas	119
<b>Tabela 5</b> - Resultados da classificação da altura das pilhas	126
<b>Tabela 6</b> - Compilação dos valores do Potencial de erosão das subáreas de uma das pilhas de agregados	131
<b>Tabela 7</b> - Fator de emissão estimado para emissão da erosão eólica para cada pilha de agregados (g/ano)	132
<b>Tabela 8</b> - Estimativa de emissão de erosão eólica para cada pilha de agregados	132
<b>Tabela 9</b> - Fatores de emissão estimados para emissão de armazenamento e manuseio de agregado (kg/ t material movimentado)	137
<b>Tabela 10</b> - Estimativa de emissão de armazenamento e manuseio de agregados	138
<b>Tabela 11</b> - Estimativa de emissão resultante de fontes abertas no empreendimento.	140
<b>Tabela 12</b> - Resultado da estimativa de emissão de Arsênio referente a operação de uma central dosadora de concreto	143
<b>Tabela 13</b> - Resultado da estimativa de emissão de Berílio referente a operação de uma central dosadora de concreto	143
<b>Tabela 14</b> - Resultado da estimativa de emissão de Cádmiu referente a operação de uma central dosadora de concreto	144
<b>Tabela 15</b> - Resultado da estimativa de emissão de Cromo total referente a operação de uma central dosadora de concreto	144
<b>Tabela 16</b> - Resultado da estimativa de emissão de Chumbo referente a operação de uma central dosadora de concreto	145
<b>Tabela 17</b> - Resultado da estimativa de emissão de Manganês referente a operação de uma central dosadora de concreto	145
<b>Tabela 18</b> - Resultado da estimativa de emissão de Níquel referente a operação de uma central dosadora de concreto	146
<b>Tabela 19</b> - Resultado da estimativa de emissão de Fósforo total referente a operação de uma central dosadora de concreto	146
<b>Tabela 20</b> - Resultado da estimativa de emissão de Selênio referente a operação de uma central dosadora de concreto	147
<b>Tabela 21</b> - Resultado da estimativa de emissão de Arsênio referente a operação de uma central dosadora de concreto	148
<b>Tabela 22</b> - Resultado da estimativa de emissão de Berílio referente a operação de uma central dosadora de concreto	148
<b>Tabela 23</b> - Resultado da estimativa de emissão de Cádmiu referente a operação de uma central dosadora de concreto	149
<b>Tabela 24</b> - Resultado da estimativa de emissão de Cromo total referente a operação de uma central dosadora de concreto	149
<b>Tabela 25</b> - Resultado da estimativa de emissão de Chumbo referente a operação de uma central dosadora de concreto	150
<b>Tabela 26</b> - Resultado da estimativa de emissão de Manganês referente a operação de uma central dosadora de concreto	150

## LISTA DE TABELAS

continuação

<b>Tabela 27</b> - Resultado da estimativa de emissão de Níquel referente a operação de uma central dosadora de concreto	151
<b>Tabela 28</b> - Resultado da estimativa de emissão de Fósforo total referente a operação de uma central dosadora de concreto	151
<b>Tabela 29</b> - Resultado da estimativa de emissão de Selênio referente a operação de uma central dosadora de concreto	152
<b>Tabela 30</b> - Consolidação das emissões de Material Particulado e COVs das fontes do empreendimento	153
<b>Tabela 31</b> - Consolidação das emissões de Metais e outros Poluentes das fontes do empreendimento	155

## ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>AP-42</b>	<i>“Compilation Of Air Pollutant Emission Factors”</i> (“Compilação de Fatores de Emissão de Poluentes do Ar”)
<b>CEM</b>	<i>Continuous Emissions Monitoring</i> (Monitoramento Contínuo de Emissões)
<b>CETESB</b>	“Companhia Ambiental do Estado de São Paulo”
<b>CONAMA</b>	“Conselho Nacional de Meio Ambiente”
<b>CONSEMA</b>	“Conselho Estadual do Meio Ambiente”
<b>ECP</b>	Equipamento de Controle de Poluição
<b>USEPA</b>	“Environmental Protection Agency” (“Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América”)
<b>IBAMA</b>	“Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis”
<b>ICM</b>	“Imposto sobre Circulação de Mercadorias”
<b>INMET</b>	“Instituto Nacional de Meteorologia”
<b>IPCC</b>	<i>“Intergovernmental Panel On Climate Change”</i> (“Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas”)
<b>IPI</b>	“Imposto sobre Produtos Industrializados”
<b>ISS</b>	“Imposto sobre Serviço”
<b>MMA</b>	“Ministério do Meio Ambiente”
<b>M1</b>	Meta Intermediária Etapa 1
<b>M2</b>	Meta Intermediária Etapa 2
<b>M3</b>	Meta Intermediária Etapa 3
<b>MTPD</b>	“Melhor Tecnologia Prática Disponível”

## ABREVIATURAS E SIGLAS

continuação

<b>NBR</b>	Norma Brasileira Regulamentadora
<b>PCPV</b>	Plano de Controle de Poluição Veicular
<b>PEM</b>	Monitoramento Preditivo das Emissões
<b>PF</b>	“Padrão Final”
<b>PMEA</b>	“Plano de Monitoramento de Emissões Atmosféricas”
<b>PNMA</b>	Política Nacional do Meio Ambiente
<b>PREFE</b>	“Plano de Redução de Emissão de Fontes Estacionárias”
<b>PROCONVE</b>	“Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores”
<b>QUALAR</b>	“Sistema de Informações da Qualidade do Ar”
<b>RCQA</b>	Regiões de Controle de Qualidade do Ar
<b>RMSP</b>	“Região Metropolitana de São Paulo”
<b>SUS</b>	Sistema Único de Saúde
<b>SSAO</b>	“Sistema Separador de Água e Óleo”
<b>UGRHI</b>	“Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo”
<b>VER</b>	Vias Estruturais Restritas
<b>ZMRC</b>	Zona de Máxima Restrição de Circulação

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>CH<sub>4</sub></b>	“Metano”
<b>CO</b>	“Monóxido de Carbono”
<b>CO<sub>2</sub></b>	“Dióxido de Carbono”
<b>FMC</b>	Fumaça
<b>HC</b>	“Hidrocarboneto”
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	“Ácido Sulfúrico”
<b>MP<sub>2,5</sub></b>	“Material Particulado com diâmetro de 2,5 µ”
<b>MP<sub>10</sub></b>	“Material Particulado com diâmetro de 10 µ”
<b>NO<sub>2</sub></b>	“Dióxido de Nitrogênio”
<b>NO<sub>x</sub></b>	“Óxidos de Nitrogênio”
<b>O<sub>3</sub></b>	“Ozônio”
<b>PTS</b>	“Partículas Totais em Suspensão”
<b>SI</b>	Sistema Internacional de Unidades
<b>SO<sub>2</sub></b>	“Dióxido de Enxofre”
<b>SO<sub>x</sub></b>	“Óxidos de Enxofre”
<b>VKT</b>	Quilômetro Percorrido pelo Veículo
<b>VMT</b>	Milha Percorrida pelo Veículo

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>20</b>
1.1 IMPACTOS CAUSADOS NA QUALIDADE DO AR .....	22
1.2 A QUALIDADE DO AR E AS CENTRAIS DOSADORAS DE CONCRETO	23
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>29</b>
2.1. OBJETIVO GERAL .....	29
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	29
<b>3. JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>30</b>
<b>4. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>32</b>
4.1. POLUIÇÃO DO AR .....	32
4.2. POLUENTES ATMOSFÉRICOS E PRINCIPAIS COMPOSTOS.....	33
4.3. FONTES DE POLUIÇÃO DO AR.....	43
4.4. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL.....	45
4.5. FABRICAÇÃO DO CONCRETO.....	55
4.6. FONTES DE EMISSÕES EM CENTRAIS DOSADORAS DE CONCRETO	60
4.8. INVENTÁRIO DE EMISSÕES.....	63
4.9. MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS .....	64
4.9.1 Amostragem contínua .....	65
4.9.2 Amostragem em chaminé .....	66
4.9.3 Balanço de massa.....	68
4.9.4 Fatores de emissão .....	68
4.9.5 Modelos de emissão.....	69
4.9.6 Critérios de engenharia.....	70
4.9.7 Monitoramento Preditivo das Emissões (PEM).....	70
4.9.8 Uso de documentos.....	70
4.9.9 Uso de dados do fabricante.....	71
4.10. TECNOLOGIAS E MEDIDAS DE CONTROLE PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS.....	71
4.10.1. Métodos indiretos de controle de poluentes.....	72
4.10.1.1 Não geração de poluentes .....	72
4.10.1.2 Substituição de combustíveis e matérias-primas .....	73

# SUMÁRIO

continuação

4.10.1.3 Planejamento urbano .....	73
4.10.1.4 Uso de chaminés altas para melhorar a dispersão .....	73
4.10.2. Métodos diretos para redução das emissões .....	74
4.10.2.1. Mecanismos para coleta de partículas .....	74
4.10.2.2. Equipamentos para controle da poluição do ar (ECPs).....	76
4.10.2.2.1 Câmara de Sedimentação gravitacional.....	77
4.10.2.2.2 Ciclone.....	78
4.10.2.2.3 Filtros de manga .....	79
4.10.2.2.4 Lavadores.....	84
4.10.2.2.5 Precipitadores eletrostáticos .....	86
4.10.2.3. Procedimentos para controle de emissões fugitivas .....	88
4.10.2.3.1 Umectação de pilhas e vias .....	88
4.10.2.3.2 Estabilizadores químicos para pilhas e vias .....	91
4.10.2.3.3 Uso de Anteparos (Windbreaks ou Windfence).....	92
<b>5. METODOLOGIA.....</b>	<b>93</b>
<b>6. ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>95</b>
6.1. LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO .....	95
6.2. DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE PROCESSAMENTO .....	97
6.3. IDENTIFICAÇÃO DAS FONTES DE EMISSÃO DO EMPREENDIMENTO	
103	
6.4. ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DA CENTRAL DOSADORA DE	
CONCRETO .....	104
6.4.1. Estimativa de emissão de fontes fugitivas .....	110
6.4.2.1. Preparação de massa de concreto.....	110
6.4.2.2. Estimativa de emissão para vias pavimentadas .....	115
6.4.2.3. Fatores de emissão para vias não pavimentadas .....	119
6.4.2.4. Fatores de emissão da erosão eólica sobre os agregados .....	120
6.4.2.5. Estimativa de emissão das pilhas de armazenamento e manuseio	
de agregados .....	133
6.4.3. Estimativa de emissão das fontes abertas .....	138
6.4.3. Emissões de metais da Central dosadora de concreto .....	140

## SUMÁRIO

continuação

<b>7. RESULTADOS .....</b>	<b>153</b>
<b>8. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E PROPOSTAS DE MELHORIA .....</b>	<b>156</b>
<b>9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>164</b>
<b>10. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>166</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>179</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O ar, e conseqüentemente a atmosfera, pode ser caracterizado como uma mistura mecânica de gases, onde ocorrem constantemente diversas reações químicas entre os seus componentes naturais e os lançamentos antropogênicos, que podem “se dissipar, reagir entre si ou com outras substâncias” previamente existentes (BARRY; CHORLEY, 2009).

Para Barry e Chorley (2009), naturalmente e em termos de volume, o ar seco é composto por mais de 99% de nitrogênio e oxigênio, com contribuição de diversas outras substâncias, conforme indicado no Quadro 1.

**Quadro 1** – “Composição média da atmosfera seca abaixo de 25 km.”

<b>Componente</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Volume % (ar seco)</b>	<b>Peso Molecular</b>
<b>Nitrogênio</b>	N <sub>2</sub>	78,08	28,02
<b>Oxigênio</b>	O <sub>2</sub>	20,95	32,00
<b>Argônio</b>	Ar	0,93	39,88
<b>Dióxido de Carbono</b>	CO <sub>2</sub>	0,037	44,00
<b>Neônio</b>	Ne	0,0018	20,18
<b>Hélio</b>	He	0,0005	4,00
<b>Ozônio</b>	O <sub>3</sub>	0,00006	48,00
<b>Hidrogênio</b>	H	0,00005	2,02
<b>Criptônio</b>	Kr	0,00011	83,79
<b>Xenônio</b>	Xe	0,00009	131,29
<b>Metano</b>	CH <sub>4</sub>	0,00017	16,04

Fonte: Adaptado de Barry e Chorley (2009).

Além das substâncias de ocorrência natural, indicadas no Quadro 1, encontram-se na atmosfera uma série de outros compostos, provenientes de emissões atmosféricas antropogênicas, das quais as industriais aparecem em posição de destaque, contribuindo em grande parte com o lançamento de poluentes que podem ser nocivos à saúde humana (BRAGA et al., 2001; CETESB, 2014a).

Portanto, é imprescindível que as emissões atmosféricas desses poluentes sejam conhecidas e controladas devido aos impactos que podem causar ao meio ambiente e, conseqüentemente, ao ser humano. Porém, mesmo havendo um consenso científico recente sobre o “aquecimento global e as suas trágicas conseqüências, resultantes da emissão antrópica de gases causadores do efeito estufa”, as mudanças climáticas ainda são indicadas como um dos principais desafios para o mundo moderno (MAURY; BLUMENSCHHEIN, 2012).

Segundo o Relatório das Mudanças Climáticas, elaborado e publicado pelo *The Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2014), essas alterações ambientais deverão exacerbar “problemas de saúde já existentes”, sendo que ao longo do século 21, e principalmente em países em desenvolvimento, o patamar de difusão dessas enfermidades será muito maior do que comparado com uma situação controlada. Foi estimado que até o ano de 2010, a combinação de umidade e altas temperaturas em alguns locais tenha comprometido a realização de atividades comuns, como o cultivo de alimentos e o trabalho ao ar livre.

Ainda no IPCC (2014), foi avaliado que nas áreas urbanas a mudança climática aumentará “os riscos para pessoas, espólios, economias e ecossistemas, incluindo probabilidades de picos de calor, tempestades e precipitações extremas, inundações, deslizamentos de terra, poluição do ar, seca, escassez de água, aumento do nível do mar e surtos de tempestades”. Esses riscos são amplificados para a população que não dispõem de “infraestrutura e serviços essenciais ou que vivem em áreas expostas”.

Também era esperado que “as áreas rurais experimentem grandes impactos na disponibilidade e fornecimento de água, segurança alimentar, infraestrutura e renda

agrícola, incluindo mudanças nas áreas de produção de alimentos e culturas não alimentares em todo o mundo” (IPCC, 2014).

Convém ressaltar que o Relatório das Mudanças Climáticas, elaborado periodicamente pelo IPCC (2014), analisa e faz previsões no âmbito global, analisando principalmente os poluentes causadores do efeito estufa.

Embora a poluição atmosférica seja prejudicial à saúde humana, o que acarreta custos com o sistema de saúde público, por exemplo, é inviável paralisar todas as indústrias, pois o desenvolvimento humano seria freado, sob o risco de colapso da economia. Com isso em mente, diversas empresas estão buscando cada vez mais voltar-se para “o desenvolvimento sustentável, ou seja, aquele que é capaz de suprir as necessidades da geração atual”, sem colocar em risco os recursos e necessidades das gerações futuras, conforme definição criada pela “Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento”, parte da “Organização Mundial das Nações Unidas” com o objetivo de discutir o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental (WWF, 2020).

### **1.1 IMPACTOS CAUSADOS NA QUALIDADE DO AR**

Segundo IPEA (2010), a atmosfera é considerada um bem coletivo, uma vez que ela não pode ser apropriada por uma entidade privada e não existe a possibilidade de que um determinado indivíduo seja excluído de utilizá-lo. Assim, pondera-se que o ar puro é fundamental para a vida, uma vez que é impossível simplesmente deixar de respirar.

Por outro lado, a poluição do ar é considerada desde o século XX como um grave problema nos polos industriais, principalmente pelas emissões provenientes de veículos automotores e indústrias ali presentes.

Após diversas cidades apresentarem mortes relacionadas a picos de poluição, líderes mundiais passaram a investir no estudo dos efeitos da poluição atmosférica na sociedade (BRAGA et al., 2001).

Conforme descrito por Braga, et al. (2001), um desses estudo em particular foi feito na “Região Metropolitana de São Paulo”, liderado pela “Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo”, em conjunto com o Sistema Único de Saúde (SUS), chegando a algumas conclusões, entre elas: mortes fetais podem ser associadas à poluição atmosférica, a concentração de poluentes no ar é diretamente associado à atendimentos no “pronto-socorro e internações por problemas respiratórios e cardiovasculares, com aumento da mortalidade para crianças e idosos”, os efeitos da poluição atmosférica são maiores nas regiões da cidade com os piores indicadores socioeconômicos e por fim, não parece haver níveis de poluentes que sejam inócuos para a saúde humana.

Apesar dos estudos demonstrando os impactos da poluição no ser humano e na economia, como a atmosfera é considerada um bem comum, tanto o indivíduo que se preocupa com a qualidade do ar, quanto o empreendedor que lança gases nocivos ao ambiente estão sujeitos ao resultado dessa mistura (IPEA, 2010).

Em seu estudo, IPEA (2010), sugere que a psicologia de grupos que dependem de bens comuns é chamada de “lógica da ação coletiva”, na qual os indivíduos preferem deixar de agir e apenas aproveitar-se dos resultados dos esforços de terceiros, não arcando com os custos para seu alcance.

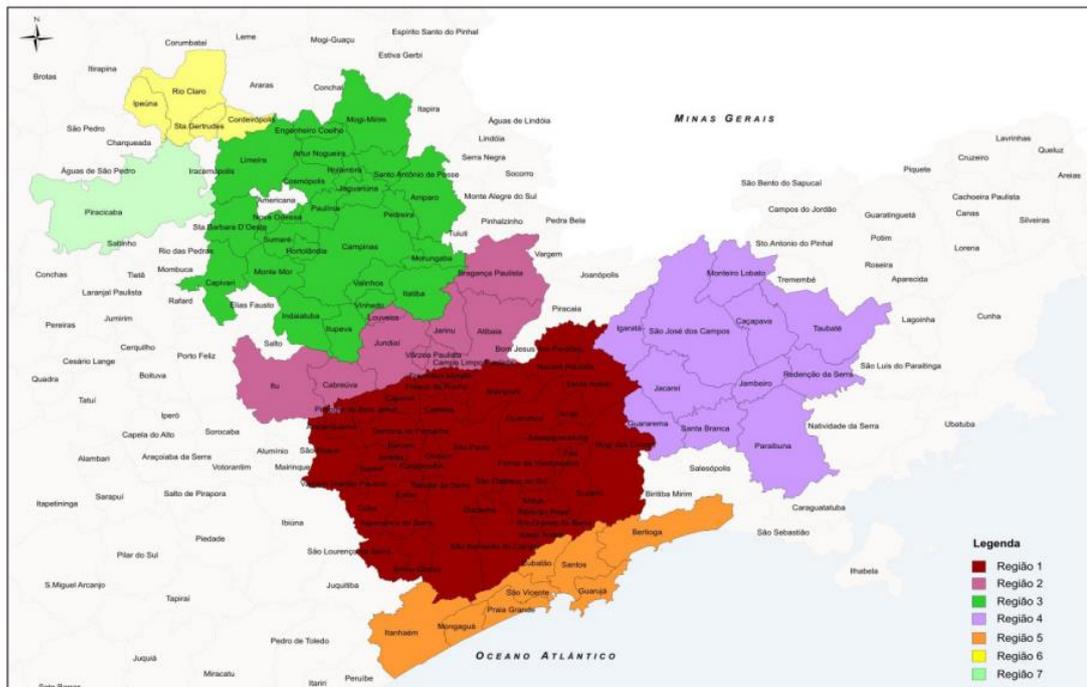
## **1.2 A QUALIDADE DO AR E AS CENTRAIS DOSADORAS DE CONCRETO**

No Estado de São Paulo cabe à CETESB o papel de realizar a avaliação da qualidade do ar, feita através da rede de monitoramento, composta por estações medidoras automáticas e manuais, dispostas pelo interior e litoral do Estado, além da “Região Metropolitana de São Paulo”.

Esta rede ainda pode ser ampliada com estações móveis, utilizadas em caso de estudos temporários. Os resultados obtidos após processamento com base nos padrões legais são disponibilizados diariamente na internet, através do Boletim de Qualidade do Ar, e periodicamente, são publicados os “Relatórios de Qualidade do Ar”, com o objetivo de apresentar a comunidade os frutos do monitoramento (CETESB, 2020; CETESB, 2019).

Conforme o último relatório da qualidade do ar publicado pela CETESB (2019), o Estado de São Paulo, por ser o Estado com maior desenvolvimento econômico e frota automotiva, tem como resultado uma queda na qualidade do ar. A “Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)”, local onde está inserido o empreendimento em estudo, juntamente com alguns polos industriais, é considerada pela CETESB (2019) como uma das áreas críticas do estado em termo de poluição do ar. A CETESB classifica essas áreas, através do “Plano de Redução das Fontes Estacionárias (PREFE)”, em sete Regiões de Controle, como forma de simplificar as ações que deverão ser tomadas no controle dos poluentes, conforme Figura 1.

**Figura 1 - Regiões de Controle estipuladas pelo PREFE 2014.**



Fonte: CETESB (2014).

O empreendimento em estudo fica localizado na zona oeste do município de São Paulo, dentro da Região de Controle 01, estabelecida pelo PREFE, conforme Figura 2.

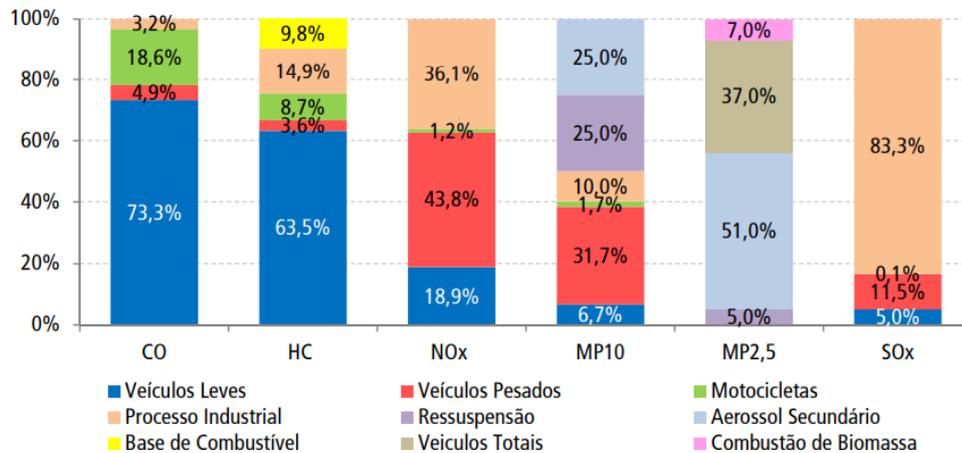
**Figura 2** - Visão aproximada da Região de Controle 01 - São Paulo, com os poluentes que devem ser controlados na região emitidos por fontes existentes



Fonte: CETESB (2014)

A causa dessa criticidade ambiental, que levou à criação das Regiões de Controle, é relacionada à extensa frota de veículos e indústrias localizada na RMSP, onde está localizado o empreendimento em estudo, sendo correspondente a 48% dos veículos e 47% dos habitantes totais do estado (CETESB, 2019). Ainda conforme o “Relatório de Qualidade do Ar da CETESB” (2019), os veículos são responsáveis quase que pela totalidade das emissões de monóxido de carbono (CO), alcançando o valor de 97% e uma porcentagem considerável de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), com 64%. No caso das partículas inaláveis (MP), as emissões veiculares são responsáveis por menos da metade (40%) das emissões totais, sendo o restante atribuído às indústrias. Por fim, os óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) são majoritariamente atribuídos às indústrias, uma vez que apenas 17% é proveniente dos veículos, conforme Figura 3, que apresenta uma aproximação das emissões de cada poluente por tipo de fonte.

**Figura 3 - Distribuição das emissões atmosféricas de cada fonte na RMSP.**



Fonte: CETESB (2019)

A partir dessas emissões monitoradas e com base nos padrões estaduais de qualidade do ar do “Decreto Estadual nº 59.113/2013” (SÃO PAULO, 2013), que também disciplina a implantação de novas fontes e ampliações, os Municípios são enquadrados conforme as diferentes classificações de qualidade (>M1, M1, M2, M3 e MF), tendo seu resultado publicado na “Classificação da Qualidade do Ar – Relação de Municípios e Dados de Monitoramento”, aprovada na “Deliberação Consema nº 20/2019” (SÃO PAULO, 2019), na sua última versão.

Na publicação, o Município de São Paulo, no qual está localizado o empreendimento em foco, recebe a classificação de MF (meta final) para NO<sub>2</sub> (dióxido de nitrogênio), M3 para SO<sub>2</sub> (dióxido de enxofre), M2 para MP (material particulado) e >M1 (meta intermediária 1) para O<sub>3</sub> (SÃO PAULO, 2019), ou seja, as emissões de dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) apresentam valor menor ou igual ao Padrão Final (PF) e o dióxido de enxofre se enquadra na Meta Intermediária 3 (M3), resultando nos últimos valores temporários a serem alcançados antes de serem estipulados os padrões finais. O material particulado emitido alcança a importância determinada na Meta Intermediária 2 (M2), que pode afetar pessoas sensíveis, mas não a população em geral, e por fim, o ozônio (O<sub>3</sub>) apresenta os piores resultados, com valores acima da primeira Meta Intermediária, o que pode resultar em alguns problemas de saúde para toda a população, como por exemplo “tosse seca, ardor nos olhos, nariz e garganta” (CETESB, 2019).

Dentro desse contexto de região urbanizada e área crítica, são localizadas muitas empresas do mesmo ramo de atuação, ou seja, especializadas no ramo de serviço de concretagem. Segundo a NBR 7212 (ABNT, 2012), as centrais dosadoras de concreto, são aquelas nas quais a mistura completa do concreto é feita por caminhões betoneira.

Conforme a NBR 12655 (ABNT, 2015) o concreto dosado em central é caracterizado como: “material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolânicos), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água).”

O impacto ambiental contínuo da fabricação do concreto se dá pelo concreto possuir um tempo máximo para entrega definido pela NBR 7212 (ABNT, 2012) e se tratar de uma atividade dinâmica, com diversas entregas para diferentes clientes ocorrendo simultaneamente, sendo comum encontrar centrais localizadas em regiões centrais das cidades, próximas de bairros residenciais ou comerciais, com alta densidade demográfica, o que acaba resultando em incômodos à população e consequentemente um alto número de reclamações ao órgão ambiental.

Somando-se a localização desfavorável, tem-se que, segundo Pedroso (2009), “o concreto é um material construtivo amplamente disseminado”, sendo consumida mais de “uma tonelada de concreto por habitante ano, valor inferior apenas à água”.

Além de ser um material muito utilizado, a “indústria da construção civil é a que mais causa impactos ambientais”, se levar em consideração a cadeia como um todo, “desde a extração dos recursos até a disposição final dos rejeitos”, passando pela emissão de ruído, vibração e material particulado (RESENDE, 2007 apud SILVA, 2003).

Para exemplificar o impacto das atividades causadas na fabricação de concreto, tem-se que uma determinada empresa especializada no serviço de concretagem,

unicamente no Estado de São Paulo, recebeu 307 autos de infração, sendo eles 185 advertências e 122 multas, relacionados a causas diversas.

No entanto, como o presente trabalho está focado apenas nas emissões atmosféricas geradas na fabricação do concreto, serão consideradas apenas as autuações descritas pelos agentes credenciados da CETESB na empresa em foco no estudo de emissões, como o lançamento de poluentes na atmosfera, ocasionando inconvenientes ao bem-estar público, sendo enquadradas nos artigos 2º e 3º, inciso V, do “Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976”, aprovado pelo Decreto nº 8468/76 e alterações:

“Artigo 2.º — Fica proibido o lançamento ou a liberação de poluentes nas águas, no ar ou no solo.

Artigo 3.º — Considera-se poluente toda e qualquer forma de matéria ou energia lançada ou liberada nas águas, no ar ou no solo:

I — com intensidade, em quantidade e de concentração, em desacordo com os padrões de emissão estabelecidos neste regulamento e normas dele decorrentes;

II — com características e condições de lançamento ou liberação, em desacordo com os padrões de condicionamento e projeto estabelecidos nas mesmas prescrições.

III — por fontes de poluição com características de localização e utilização em desacordo com os referidos padrões de condicionamento e projeto;

IV — com intensidade, em quantidade e de concentração ou com características que direta ou indiretamente, tornem ou possam tornar ultrapassáveis os padrões de qualidade do meio ambiente estabelecidos neste regulamento e normas dele decorrentes;

V — que, independentemente de estarem enquadrados nos incisos anteriores, tornem ou possam tornar as águas, o ar ou o solo impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde; inconvenientes ao bem estar público danosos aos materiais a fauna e à flora; prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade, bem como às atividades normais da comunidade (SÃO PAULO, 1976).”

Assim, 22 advertências e 21 multas, ou seja, 11,9% e 17,2%, respectivamente, são relacionadas apenas com poluição do ar. Somando-se os valores pecuniários utilizados para pagamento de débitos, o valor resultante, poderia ser utilizado para outras utilidades, como investimentos em melhores equipamentos, por exemplo.

Entretanto, apesar da grande discussão sobre a indústria do concreto, os impactos ambientais por ela gerados ainda tendem a ser negligenciados, sendo reduzido o número de estudos relacionados ao assunto, sendo encontrados apenas estudos sobre os impactos ambientais gerados pela fabricação de cimento e dos resíduos da construção civil.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

O estudo tem como objetivo geral identificar as principais “fontes de emissões atmosféricas” de uma central dosadora de concreto e apresentar propostas para reduzir essas emissões.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Além do objetivo geral, a pesquisa possui alguns objetivos específicos:

- Identificar as fontes de emissão do empreendimento;
- Identificar os poluentes atmosféricos gerados pelas respectivas fontes;
- Estimar as emissões atmosféricas do empreendimento e
- Apresentar proposta para redução das emissões de uma central dosadora de concreto.

### 3. JUSTIFICATIVA

Para evitar a situação descrita pelo IPEA (2010) como a “lógica da ação coletiva”, na qual indivíduos deixam de atuar em cima de situações prejudiciais para a saúde humana, para apenas aproveitar atitudes de terceiros, sem arcar com seus custos, algumas ações são propostas pelo IPEA (2010), como a imposição de que todos os indivíduos arquem com os custos gerais do grupo, a oferta de incentivos individuais para aqueles que decidirem alcançar certos resultados, ou o estabelecimento de regras e procedimentos para o uso do recurso. No último caso, o bem continua sendo público, mas os indivíduos devem respeitar as normas impostas para utilizá-lo, sendo a forma mais comum de controle.

O Brasil, assim como outros países, possui leis para a preservação do meio ambiente, incluindo a qualidade do ar. Para isso, são criados os padrões de emissão atmosférica, estabelecendo limites para diversos poluentes lançados na atmosfera pelas indústrias (BRASIL, 2018). Também para auxiliar no controle das emissões, a Decisão da Diretoria nº 010/2010/P (CETESB, 2010), cria o “Plano de Monitoramento de Emissões Atmosféricas (PMEA)”, que tem como objetivo determinar critérios e orientações para o monitoramento das fontes fixas, e com isso garantir resultados confiáveis. Entretanto, essa obrigatoriedade não é válida para centrais dosadoras de concreto uma vez que possuem apenas emissões fugitivas e por isso não tem chaminés.

Além disso, o “Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível” elaborado pela CETESB através da “Decisão de Diretoria nº 133/2017/C” (CETESB, 2017), também não cita especificamente esse ramo de atividade, que deve buscar alternativas em atividades com emissões similares. Um documento da CETESB voltado especificamente para essa atividade é a NT-01 (CETESB, 1983), Nota sobre Tecnologia de Controle – Usina de Preparação de concreto, emitido pela Diretoria de Controle, entretanto, o documento é datado de novembro de 1983, havendo diversas informações que podem necessitar atualização.

Ao pesquisar conteúdo de outros países, encontrou-se uma publicação da Comissão Europeia sobre “as melhores técnicas disponíveis para a indústria do cimento, cal e óxido de magnésio” (em inglês “*Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide*”), seguindo as exigências da Diretiva 2010/75/EU, que discorre sobre emissões industriais, mas também não há menção específica para o concreto.

Na Austrália, alguns estados possuem regulamentações específicas que indicam como cada processo dentro de uma central dosadora de concreto deve ser conduzido, com o objetivo de reduzir ao máximo os impactos inerentes desta atividade. Com o objetivo de reunir essas informações, o sindicato de concreto, cimento e agregados da Austrália elaborou no final de 2019 um guia com diretrizes para a gestão ambiental das centrais dosadoras de concreto (CCAA, 2019), no qual as emissões atmosféricas são amplamente discutidas, entretanto, ainda falta uma quantificação e comparação com padrões específicos.

A pesquisa com melhor resultado nesse quesito foi com relação ao procedimento dos Estados Unidos, que emitem uma licença para centrais dosadoras de concreto, similar ao que ocorre no Brasil, com a Licença de Operação municipal ou estadual, dependendo do local onde está inserido o empreendimento.

Nos EUA, cada estado tem seu modelo próprio, mas em geral todos informam os limites de emissão dos poluentes e quais são os controles que devem ser utilizados (USEPA, 2014). Para conseguir a licença é necessário apresentar o cálculo das prováveis emissões, o que dá maior subsídio para exigir procedimentos e equipamentos de controle.

No Brasil, pela falta de exigências nesse sentido, há pouco estímulo para realizar estudos sobre as emissões atmosféricas de centrais dosadoras de concreto. Sendo assim, pela falta de trabalhos com temática similar, que possam ser aplicados para a redução das emissões atmosféricas de centrais de concreto, torna-se importante a presente pesquisa, levantando os pontos específicos do processo mais poluentes, quantificando as emissões e sua redução.

## 4. REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1. POLUIÇÃO DO AR

Com base na “Lei nº 997/76” (SÃO PAULO, 1976), posteriormente regulamentada pelo “Decreto nº 8.468/76 e alterações” (SÃO PAULO, 1976), a poluição do ar pode ser definida, considerando-se o seu artigo 2, como:

“Considera-se poluição do ar a presença, o lançamento ou a liberação, de toda e qualquer forma de matéria ou energia, com intensidade em quantidade, de concentração ou com características em desacordo com as que forem estabelecidas em decorrência desta lei, ou que tornem ou possam tornar o ar:

- I - Impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;
- II - Inconveniente ao bem-estar público;
- III - danoso aos materiais, à fauna e à flora;
- IV - Prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais, da comunidade.”

Já a “Política Nacional do Meio Ambiente”, promulgada através da “Lei nº 6.938/81” (BRASIL, 1981) define poluição em seu artigo 3º, inciso III. Baseado nesse conceito, a poluição do ar pode ser explicada como:

“A poluição do ar é a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) afetem desfavoravelmente a biota;
- d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos”

Ainda segundo a Lei nº 6.938/81 e levando em consideração o conceito de poluição, poluidor então, passa a ser a “pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental” (BRASIL, 1981).

## 4.2. POLUENTES ATMOSFÉRICOS E PRINCIPAIS COMPOSTOS

Segundo a “Resolução CONAMA nº 491”, de 19/11/2018, considera-se poluente atmosférico:

“Qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade” (BRASIL, 2018).

Segundo o Decreto Estadual 59.113/2013 (SÃO PAULO, 2013) os poluentes gerados oriundos dessas emissões são considerados primários, uma vez que são emitidos diretamente pela fonte da poluição, sendo alguns exemplos o monóxido de carbono, o dióxido de enxofre e as partículas em suspensão. Caso o poluente seja formado na atmosfera, a partir de reações com outros poluentes ali presentes, como é o caso do ozônio, é chamado de poluente secundário (SÃO PAULO, 2013).

Embora neste trabalho sejam consideradas somente as emissões provenientes do processo de fabricação de concreto, sem incluir as fontes móveis, proveniente das emissões veiculares da planta, segue uma descrição breve das características, efeitos ao meio ambiente e à saúde humana dos principais poluentes.

Segundo Silva (2014), os poluentes básicos são os materiais particulados (MP) de diferentes tamanhos. Conforme a Agência Ambiental Americana (USEPA) atividades associadas à manipulação do cimento também geram emissões atmosféricas em pequenas quantidades de alguns metais, uma vez que estão presentes em sua composição, sendo eles: As, Be, Cd, Cr, Pb, Mn, Ni, P e Se (USEPA, 2006), sendo incluído também o Ozônio troposférico por ser um poluente secundário, tendo como precursores os óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos (BRAGA et al., 2001). Como nas centrais dosadoras de concreto, caminhões betoneira e demais veículos de apoio são vistos com frequência, motivo pelo qual é comum que a planta possua um tanque de diesel para abastecimento e um “sistema separador de água e óleo” instalado na área de manutenção, todos eles contribuindo para as emissões atmosféricas do empreendimento, com os poluentes: CO, SO<sub>x</sub>, HC, COVs e NO<sub>x</sub> (IBAMA, 2011; CETESB, 2018), os quais também foram considerados.

Dessa forma, os principais poluentes da atmosfera são:

#### **- Partículas Inaláveis Finas (MP<sub>2,5</sub>)**

As partículas inaláveis finas, ou simplesmente MP<sub>2,5</sub>, são caracterizadas como “partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem etc., que podem permanecer na atmosfera e percorrer longas distâncias”, sendo menores que 2,5 micra (CETESB, 2014a).

Ao serem lançadas no meio ambiente, podem causar “danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água”, enquanto nos humanos pode causar ataques cardíacos, arritmia, asma, decréscimo nas funções pulmonares (CETESB, 2014a; USEPA, 2018).

#### **- Partículas Inaláveis (MP<sub>10</sub>)**

São caracterizadas como “partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem etc.”, possuindo um tamanho igual ou menor que 10 micra. Os impactos ao meio ambiente são os mesmos das partículas inaláveis finas, sendo: “danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água” (CETESB, 2014a).

Entretanto, os efeitos à saúde humana estão associados ao decréscimo nas funções pulmonares e surgimento de diversos sintomas, como tosse, dificuldade para respirar e irritação da garganta (USEPA, 2018).

#### **- Partículas Totais em Suspensão (PTS)**

Consistem em “partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem etc.”, com um tamanho menor ou igual a 50 micra (CETESB, 2014a). Seus impactos ao meio ambiente e saúde humana são similares aos das partículas inaláveis (MP<sub>10</sub>) (USEPA, 2018).

### **- Fumaça (FMC)**

A Fumaça está relacionada às “partículas totais em suspensão” na atmosfera, resultante dos processos de combustão. “É diretamente relacionada ao teor de fuligem na atmosfera”, sendo determinada a partir da refletância da luz incidente no material que foi coletado em um filtro (CETESB, 2020).

### **- Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)**

Os Compostos Orgânicos Voláteis são compostos que possuem carbono em sua composição, sendo “resultantes da queima incompleta e evaporação de combustíveis e de outros produtos orgânicos”. Não são considerados poluentes críticos, mas são regulamentados por serem precursores da formação do Ozônio troposférico (CETESB, 2020).

As principais fontes de emissão são os processos de estocagem e transferência de combustível, motores veiculares, indústrias químicas, entre outros (CETESB, 2020).

### **- Hidrocarbonetos (HC)**

Os hidrocarbonetos (HC) são compostos formados apenas por hidrogênio e carbono, sob a forma de gases, gotas ou partículas finas. São emitidos a partir da queima incompleta do combustível veicular e diversos processos industriais (BRASIL, 2020).

Também são considerados precursores do ozônio troposférico e alguns deles podem ser causadores do efeito estufa e promovem a formação do “smog” fotoquímico (BRASIL, 2020).

### **- Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>)**

O dióxido de enxofre é caracterizado como um gás incolor, com forte odor irritante. “Pode ser oxidado a trióxido de enxofre (SO<sub>3</sub>), que na presença de vapor de água, passa rapidamente a ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)” (CETESB, 2014a).

É considerado um “importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis”, já descritas neste estudo. Após a formação de ácido sulfúrico, pode levar à “formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação natural e colheitas”, enquanto os impactos na saúde humana são o “agravamento dos sintomas da asma e aumento dos casos de internações hospitalares” (CETESB, 2014a; USEPA, 2019).

### **- Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>)**

O “dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) é um gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos (os quais contribuem para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos” (CETESB, 2014a).

Como também forma um ácido, os impactos ao meio ambiente são relacionados à chuva ácida, com danos à vegetação e colheitas (CETESB, 2014a). Ao entrar em contato com seres humanos, acarreta “problemas respiratórios, pulmonares e agravamento à resposta das pessoas sensíveis a alérgenos” (RESENDE, 2007).

### **- Monóxido de Carbono (CO)**

O monóxido de carbono é um gás incolor, inodoro e insípido (CETESB, 2014a). Ao ser inalado, o monóxido de carbono é transportado até os pulmões, onde entra em contato com a hemoglobina, a qual possui grande afinidade, e assim diminui a capacidade do sangue de transportar O<sub>2</sub>, causando fadiga e dor no peito em baixas concentrações e até asfixia e morte em concentrações maiores (BRAGA et al., 2001).

### - Ozônio (O<sub>3</sub>)

O ozônio é um “gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica”. É originado através da reação da “radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e outros compostos orgânicos voláteis” (CETESB, 2014a).

Ainda segundo a CETESB (2014a), os seus impactos ao meio ambiente são relacionados com “danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas e plantas ornamentais”. Já no ser humano, o contato com o ozônio em excesso acarreta no “agravamento dos sintomas de asma, de deficiência respiratória, desenvolvimento de doenças pulmonares e cardiovasculares”.

- **Metais e outros componentes:** as características e impactos que podem ser causados pelos principais metais e outros componentes encontrados no material particulado do cimento, um dos principais compostos utilizados para a fabricação do concreto, estão apresentados no Quadro 2.

**Quadro 2** - Metais e outros componentes presentes no cimento utilizado na fabricação do concreto

<b>Metal/Componente</b>	<b>Características</b>	<b>Impacto Associado</b>
<b>Arsênio (As)</b>	Metal sólido, cristalino, de cor cinza-prateada. Caso seja exposto ao ar, “perde o brilho característico e torna-se um sólido amorfo de cor preta” <sup>(1)</sup> .	Interfere nos processos fisiológicos de plantas, alterando a sua estrutura, entretanto a principal preocupação é com relação à bioacumulação pela flora e pela fauna, que em um dado momento acaba tendo contato com o ser humano <sup>(2)</sup> . Ao contaminar o ser humano, a substância afeta o sistema respiratório, cardiovascular, nervoso e hematopoiético, causando “dor abdominal, vômito, diarreia, vermelhidão da pele, dor muscular e fraqueza, como sintomas iniciais da intoxicação aguda”. É observada também “relação carcinogênica com o câncer de pele e brônquios” <sup>(1)</sup> .
<b>Berílio (Be)</b>	Metal acinzentado, sem odor e muito leve, encontrado em rochas minerais, carvão, solo e poeira vulcânica <sup>(3)</sup> .	Por ser naturalmente encontrado na natureza, é improvável que o berílio cause impactos negativos no meio ambiente, principalmente a nível global <sup>(4)</sup> . Em contrapartida, a inalação de níveis acima de 100 µg/m <sup>3</sup> pode resultar em vermelhidão e inchaço dos pulmões, sendo reversível após o fim da exposição <sup>(3)</sup> .

**Quadro 2** - Metais e outros componentes presentes no cimento utilizado na fabricação do concreto.

continuação

Metal/Componente	Características	Impacto Associado
<b>Cádmio (Cd)</b>	O cádmio é normalmente encontrado na natureza ligado ao zinco, na maioria dos minérios e solos. Ao ser aquecido, produz o óxido de cádmio, que se manifesta como um “pó branco e amorfo ou na forma de cristais de cor vermelha ou marrom” (1).	Por também se tratar de um metal pesado, os impactos ao meio ambiente são semelhantes aos do Arsênio, interferindo nos processos fisiológicos de plantas e alterando a sua estrutura, além da bioacumulação pela flora e pela fauna, que afeta o ser humano (2). A inalação de 5 mg/m <sup>3</sup> acarreta a destruição das células epiteliais do pulmão, causando edema e traqueobronquite. A “exposição crônica causa doença pulmonar crônica obstrutiva, enfisema e distúrbio crônico dos túbulos renais” (3).
<b>Cromo (Cr)</b>	O Cromo é um “metal acinzentado resistente à corrosão, que possui diferentes estados de oxidação, sendo os mais comuns: crômio (II), (III) e (VI), ou bi, tri e hexavalente, respectivamente” (5).	Os impactos do Cromo sobre o meio ambiente são sentidos principalmente no meio aquático, onde pode causar efeitos nocivos à vida ali presente, afetando de algas até peixes, com resultados imprevisíveis sobre a bioacumulação (6). Grande porcentagem do metal está disponível em sua forma hexavalente, que também é a mais tóxica. É um frequente causador de dermatites de contato, e, caso ocorra a ingestão acidental de altas doses, pode causar falência renal aguda (3).

**Quadro 2** - Metais e outros componentes presentes no cimento utilizado na fabricação do concreto.

continuação

Metal/Componente	Características	Impacto Associado
<b>Chumbo (Pb)</b>	O chumbo é caracterizado como um “metal cinza-azulado encontrado naturalmente em pequenas quantidades na crosta terrestre, geralmente associado ao zinco” <sup>(3)</sup> .	Por ser um metal pesado, o chumbo também sofre bioacumulação pelos seres que entram em contato com ele, até que o ser impactado por ele seja o homem. No organismo, o sistema nervoso central é o mais afetado pela substância, independente da faixa etária. Os principais “sintomas da exposição são: fraqueza, irritabilidade, astenia, náusea, dor abdominal com constipação e anemia” <sup>(3)</sup> .
<b>Manganês (Mn)</b>	O manganês é um “metal cinza claro que na natureza não ocorre na forma pura, mas associado a outras substâncias, como o oxigênio, enxofre e cloro” <sup>(3)</sup> .	No meio ambiente, o material chega a acumular-se em seres menores da cadeia alimentícia, mas a biomagnificação não aparenta ser significativa, uma vez que a bioacumulação não atinge os níveis tróficos superiores com tanta intensidade <sup>(3)</sup> . Considerando os impactos aos trabalhadores constantemente expostos à inalação do manganês, verifica-se o surgimento de “tosse, náusea, cefaléia, fadiga, perda do apetite, insônia e inflamação nos pulmões que podem levar a pneumonia química”. Caso a concentração à qual os trabalhadores estão expostos seja muito alta, passam a ocorrer efeitos neurológicos e neuropsiquiátricos <sup>(3)</sup> .

**Quadro 2** - Metais e outros componentes presentes no cimento utilizado na fabricação do concreto.

continuação

Metal/Componente	Características	Impacto Associado
<b>Níquel (Ni)</b>	O níquel, em sua forma original, aparenta ser um metal prateado, com um leve brilho amarelado, devido à camada de óxido em seu entorno. Ele é moderadamente duro, dúctil e maleável <sup>(3)</sup> .	É um metal pesado, apresentando os mesmos impactos ao meio ambiente que o arsênio e o cádmio <sup>(2)</sup> . Com relação aos impactos na saúde humana, a inalação de grandes quantidades de níquel pode acarretar em “bronquite crônica, diminuição da função pulmonar e câncer nos pulmões e seios nasais” <sup>(3)</sup> .
<b>Fósforo (P)</b>	Macronutriente fundamental para ecossistemas terrestres e aquáticos, entretanto, diferente de outros nutrientes, como nitrogênio e carbono, o fósforo não possui uma fase gasosa estável, sendo encontrado quase que unicamente em aerossóis <sup>(7)</sup> .	Devido à sua baixa estabilidade, o fósforo atmosférico acaba sendo depositado no solo e água, onde irá se somar à quantidade total ali presente <sup>(8)</sup> . Outra característica do fósforo é que ele não sofre muita percolação estando em ambientes aquáticos, onde tende a se acumular. O excesso de nutrientes acarreta na eutrofização, ou seja, favorece o crescimento excessivo de algas e plantas, que consomem o oxigênio dissolvido e acarreta na mortandade de peixes e a tornam imprópria para o consumo humano <sup>(9)</sup> .

**Quadro 2** - Metais e outros componentes presentes no cimento utilizado na fabricação do concreto.

continuação.

<b>Metal/Componente</b>	<b>Características</b>	<b>Impacto Associado</b>
<b>Selênio (Se)</b>	O selênio e suas diferentes formas são abundantemente encontrados na natureza, estando presentes na maioria das plantas e tecidos animais <sup>(3)</sup> .	Apesar de ser um elemento essencial para os seres vivos, o seu excesso passa a ser tóxico. No meio ambiente, o pó de selênio é depositado no solo e água, ocorre à bioacumulação através da cadeia alimentar, causando finalmente anormalidades reprodutoras, anemia, retardamento do crescimento e má formações congênitas <sup>(10)</sup> . Os impactos do selênio em excesso ao ser humano são “distúrbios gastrointestinais, descoloração da pele, dentes cariados, perda de cabelos ou unhas, anormalidades das unhas e alterações nos nervos periféricos” <sup>(3)</sup> .

**REFERÊNCIAS:**

- (1) Ávila-Campos (2020);
- (2) Souza, Morassuti e Deus (2018);
- (3) CETESB (2018);
- (4) SUSEPA (2017);
- (5) CETESB (2017);
- (6) Freitas e Melnikov (2006);
- (7) Alfaro et al. (1998);
- (8) Tipping et al. (2014);
- (9) Klein e Agne (2013);
- (10) Seixas; Kehrig (2007)

### **4.3. FONTES DE POLUIÇÃO DO AR**

As fontes de poluição do ar especificamente, conforme Lei nº 997/76 (SÃO PAULO, 1976), são aquelas que acarretam na presença, lançamento ou liberação no ar, de “qualquer forma de matéria ou energia, com intensidade, quantidade, concentração e/ou quantidade em desacordo com os parâmetros estabelecidos na referida lei, ou que possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde humana”, acarretar em “inconvenientes ao bem estar público, causar danos aos materiais, flora e fauna ou torna-lo prejudicial à segurança e demais atividades da comunidade”.

As fontes de poluição podem ser classificadas de diferentes formas, quanto a origem, como fontes naturais e antropogênicas.

#### **- Fontes Naturais**

Segundo Cavalcanti (2010), as fontes naturais são aquelas que provém da natureza, como por exemplo, emissões da vegetação, oceanos, atividade vulcânica, entre outros.

#### **- Fontes Antropogênicas**

As fontes antrópicas são aquelas resultantes das atividades humana, incluindo indústrias e queima de combustíveis, por exemplo. “Ao se falar em contaminação do ar, os contaminantes são aqueles gerados pelas atividades humanas”, conforme descrito por Cavalcanti (2010) e já citados como poluentes.

Também podem ser classificadas quanto a mobilidade, como fontes estacionárias e fontes móveis.

#### **- Fontes estacionárias**

Provenientes de instalações, equipamentos e demais processos fixos, sendo representadas por indústrias e outras fontes de grande potencial poluidor (CETESB, 2018).

### **- Fontes móveis**

Fontes móveis são quaisquer fontes não-estacionárias, representadas pelos veículos automotores, aviões, trens, embarcações marítimas, ou equipamentos de construção civil e agrícola com motor de combustão interna (CETESB, 2018).

Em relação a elaboração de inventário de emissões, que será abordado nesse trabalho, as fontes de emissão atmosférica, podem ser classificadas como:

### **- Fixas**

Conforme definido no artigo 3º, inciso g da “Resolução CONAMA nº 382”, de dezembro de 2006 (BRASIL, 2006), posteriormente complementada pela “Resolução CONAMA nº 436/2011” (BRASIL, 2011), uma fonte fixa de emissão é caracterizada como “qualquer instalação, equipamento ou processo situado em local fixo, que libere ou emita matéria para a atmosfera, por emissão pontual ou fugitiva”

### **- Fugitivas**

A “Resolução CONAMA nº 382/2006” (BRASIL, 2006), complementada pela “Resolução CONAMA nº 436/2011” (BRASIL, 2011) ainda define a emissão fugitiva como o “lançamento difuso na atmosfera de qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa, efetuado por uma fonte desprovida de dispositivo projetado para dirigir ou controlar seu fluxo”.

### **- Evaporativas**

Aquelas provenientes da evaporação, geralmente compostos orgânicos voláteis (COVs) armazenados em tanques e liberados pelo aquecimento do combustível, mesmo que por exposição ao sol (SIMEA, 2014; CETESB, 2015).

### **- Abertas**

São aquelas geradas em áreas abertas, pelo contato de águas residuárias e o ar, como operação de aeração de lagoas e sistemas separadores de água-óleo (SAO), por exemplo, emitindo COVs e gases dissolvidos (CETESB, 2015; CETESB, 2017).

#### **4.4. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL**

Em uma tentativa de impedir que os efeitos à saúde humana e ao meio ambiente provenientes da poluição do bem comum que é o ar, utiliza-se a legislação como base, sendo aplicadas regras, normas e procedimentos que devem sempre ser conhecidas e respeitadas, regulando o uso do recurso (IPEA, 2010).

Para poder compreender melhor essa legislação a ser respeitada, cabe fazer um resumo do seu histórico de publicações e assuntos abordados, nos âmbitos federal, estadual e municipal de interesse deste trabalho:

##### **- FEDERAL**

No ano de 1975, é promulgado o “Decreto-Lei nº 1.413 que dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada notadamente por atividades industriais” (BRASIL, 1975). Entretanto, a referida lei não especifica como serão tratadas as questões atmosféricas, mas simplesmente especifica que as indústrias são obrigadas a prevenir e/ou corrigir seus impactos no meio ambiente.

A primeira lei federal preocupada com a qualidade do ar e o controle de poluentes, foi a “Portaria do Ministério do Interior nº 231”, de abril de 1976, que estabelecia padrões de qualidade para “partículas em suspensão, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e oxidantes fotoquímicos” (BRASIL, 1976).

No ano de 1981 é publicada a Lei 6.938/81 (BRASIL, 1981), chamada Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), que em seu Art. 6º, inciso II, configura o “Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) como órgão consultivo e deliberativo”, com a função de, entre outras, propor normas e padrões relacionados ao Meio ambiente ao Conselho de Governo.

Logo após a sua criação e tendo em vista o crescimento acentuado da frota brasileira, é instituído o chamado “PROCONVE – Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores” através da “Resolução CONAMA nº 18/86” (BRASIL, 1986) com o intuito de reduzir os poluentes gerados pelos veículos automotores e promover o desenvolvimento da tecnologia neles empregada.

Posteriormente, no ano 1989 é criado o “Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar (PRONAR)”, pela “Resolução CONAMA nº 05/89” (BRASIL, 1989), que define as estratégias e instrumentos que serão adotados pelo programa na tentativa de combate à poluição atmosférica em geral, não somente por veículos automotores, como era o caso do PROCONVE.

O primeiro dispositivo legal consequente do PRONAR é a (já revogada) publicação da “Resolução CONAMA nº 03/90” (BRASIL, 1990), a qual determina os padrões de qualidade do ar previstos no referido PRONAR, substituindo aqueles parâmetros definidos anteriormente pela “Portaria do Ministério do Interior nº 231/76”.

Infelizmente grande parte das metas estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 05/89 não foram alcançadas, sob alegações dos estados de falta de corpo técnico capacitado para implementação das novas diretrizes, entre outras (AMBIENTEBRASIL, 2020).

Em 2006 é publicada a “Resolução CONAMA nº 382” (BRASIL, 2006), que “estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas”, destringindo-os conforme a atividade exercida. Em seu interior, mais especificamente no Anexo XI, há menção das emissões atmosféricas provenientes da indústria do cimento Portland, diretamente relacionada com a construção civil, porém não abrange as de centrais de preparação de concreto, foco do presente estudo.

Na “Resolução CONAMA nº 307/02, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil” (BRASIL, 2002), não abrange as emissões desses empreendimentos.

A “Resolução CONAMA nº 382/06” (BRASIL, 2006) é posteriormente complementada pela “Resolução CONAMA nº 436/11” (BRASIL, 2011). Ambas possuem definições sobre fontes de emissão, sendo a primeira conhecida como “resolução para fontes novas” e a segunda “resolução para fontes existentes”.

A “Resolução CONAMA nº 436/11” (BRASIL, 2011), cita as fontes fixas de emissão, as formas aceitas de verificação de atendimento e as condições que devem ser seguidas para poder adotar o monitoramento contínuo das emissões, atendendo o disposto no artigo 5º da Resolução CONAMA nº 382/06:

“§ 2º O monitoramento contínuo pode ser utilizado para verificação de atendimento aos limites de emissão, observadas as seguintes condições:

I - O monitoramento será considerado contínuo quando a fonte estiver sendo monitorada em, no mínimo, 67% do tempo de sua operação por um monitor contínuo, considerando o período de um ano;

II - A média diária será considerada válida quando há monitoramento válido durante pelo menos 75% do tempo operado neste dia;

III - para efeito de verificação de conformidade da norma serão desconsiderados os dados gerados em situações transitórias de operação tais como paradas ou partidas de unidades, quedas de energia, ramonagem, testes de novos combustíveis e matérias primas, desde que não passem 2% do tempo monitorado durante um dia (das 0 às 24 horas). Poderão ser aceitos percentuais maiores que os acima estabelecidos no caso de processos especiais, onde as paradas e partidas sejam necessariamente mais longas, desde que acordados com o órgão ambiental licenciador;

IV - O limite de emissão, verificado através de monitoramento contínuo, é atendido quando, no mínimo, 90% das médias diárias válidas atendem a 100% do limite e o restante das médias diárias válidas atende a 130% do limite.

§ 3º Critérios adicionais para validação de dados poderão ser estabelecidos pelo órgão ambiental licenciador.”

Ainda no ano 2011, publica-se a Lei Complementar nº140/2011 (BRASIL, 2011), que discorre sobre a cooperação entre União, Distrito Federal, Estados e Municípios, permitindo que estes últimos também participassem no licenciamento ambiental de empreendimentos.

No ano de 2018, é publicada a “Resolução CONAMA nº 491/18” (BRASIL, 2018) que revoga a antiga “Resolução CONAMA nº 03/90” (BRASIL, 1990).

Com isso, os padrões de qualidade originais, que eram divididos apenas em primário (dedicados à proteção da saúde pública) e secundário (designados à proteção do meio ambiente e bem estar geral) passaram a adotar os mesmos moldes da legislação paulista, apresentando pequenas diferenças entre ambos, como por exemplo, a nomenclatura dos padrões de qualidade (BRASIL, 1990). Esses novos padrões estão apresentados no Quadro 3.

**Quadro 3** – “Padrões de qualidade do ar” (Resolução CONAMA nº 491/2018).

<b>Poluente</b>	<b>Tempo de amostragem</b>	<b>PI 1 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>PI 2 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>PI 3 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>PF (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>
<b>MP<sub>10</sub></b>	24 horas	120	100	75	50
<b>MP<sub>10</sub></b>	Média aritmética anual	40	35	30	20
<b>MP<sub>2,5</sub></b>	24 horas	60	50	37	25
<b>MP<sub>2,5</sub></b>	Média aritmética anual	20	17	15	10
<b>O<sub>3</sub></b>	8 horas	140	130	120	100
<b>NO<sub>2</sub></b>	1 hora	260	240	220	200
<b>NO<sub>2</sub></b>	Média aritmética anual	60	50	45	40
<b>SO<sub>2</sub></b>	24 horas	125	50	30	20
<b>SO<sub>2</sub></b>	Média aritmética anual	40	30	20	-
<b>FMC</b>	24 horas	120	100	75	50
<b>FMC</b>	Média aritmética anual	40	35	30	20
<b>PTS</b>	24 horas	-	-	-	240
<b>PTS</b>	Média geométrica anual	-	-	-	80
<b>CO</b>	8 horas	-	-	-	9 ppm
<b>Pb</b>	Média aritmética anual				0,5

Fonte: Resolução CONAMA nº 491/2018.

Nota: O Chumbo (Pb) é medido através das partículas totais em suspensão (PTS).

## - ESTADUAL

Dentre as legislações estaduais, destacam-se:

O Estado de São Paulo publicou a Lei nº 997/76 (SÃO PAULO, 1976), que “dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente” com uma visão mais global, abrangendo também lançamentos nas águas e solos, além das autuações para aqueles que desobedecerem a referida lei. Em setembro desse mesmo ano, é publicado o Decreto nº 8.468/76 (SÃO PAULO, 1976) e alterações, que regulamenta a referida lei.

Além disso, a Decisão da Diretoria nº 010/2010/P (CETESB, 2010), publicada em 2010, que aprova na íntegra o “Termo de Referência para Elaboração do Plano de Monitoramento de Emissões Atmosféricas (PMEA)”, o qual dá instruções de como realizar um monitoramento contínuo, informando os métodos de coleta que devem ser seguidos e a frequência com que eles devem ser feitos.

Para a CETESB (2010), um monitoramento de emissões atmosféricas consiste em analisar com certa frequência pré-determinada diversos parâmetros físicos e/ou químicos, relacionados aos poluentes atmosféricos lançados pelo empreendimento, de tal forma que as informações documentadas constituam fonte de informação confiável. O PMEa então pode ser explicado como um documento elaborado pelo próprio empreendedor, no qual constam informações relacionadas às operações que devem ser avaliadas e que terá de ser encaminhado à CETESB antes de realizar a amostragem dos lançamentos.

Ainda na Decisão da Diretoria nº 010/2010/P (CETESB, 2010), fica claro que o PMEa deverá ser entregue no momento da solicitação de emissão ou renovação da Licença de Operação, conforme instituído pela “Lei nº 997/76 e regulamentada pelo Decreto nº 8.468/76 e alterações”.

O PME (CETESB, 2010) também é utilizado para classificação da volatilidade de um componente, o que é utilizado tanto para a escolha do método de monitoramento, quanto para a estimativa de emissões, com critérios constantes no Quadro 4, que será utilizado para a estimativa de emissões neste trabalho.

**Quadro 4** - Critério para classificação de volatilidade conforme Decisão da Diretoria nº 010/2010/P.

<b>Composto</b>	<b>Ponto de Ebulição (°C)</b>	<b>Método de Amostragem</b>
<b>Semivolátil</b>	120 a 300	L9.232 (SemiVOST)
<b>Volátil</b>	30 a 120	USEPA 0030 (VOST)

Fonte: CETESB (2010).

Em 2014, é publicada a “Deliberação CONSEMA Normativa nº 01/2014” (SÃO PAULO, 2014) que delimita no Estado de São Paulo os requisitos que os municípios deverão atender para poder realizar o licenciamento de determinados empreendimentos, conforme sua classificação e impacto ambiental gerado.

Essa Deliberação é posteriormente revogada e substituída pela Deliberação Normativa CONSEMA nº 01/2018 (SÃO PAULO, 2018), que fornece critérios para o licenciamento ser conduzido pelo Estado ou Município.

Com relação aos limites de emissões atmosféricas que deverão ser respeitados no Estado de São Paulo, há também o “Decreto Estadual nº 59.113/2013” que estabelece novos padrões de qualidade do ar específicos para o Estado de São Paulo a serem alcançados conforme os prazos das diferentes metas gradativas e progressivas para redução da poluição atmosférica ao longo do tempo. As metas são organizadas como Intermediárias (MI), com valores temporários a serem alcançados em três etapas, e Padrões Finais (PF) (CETESB, 2020).

As etapas das Metas Intermediárias podem ser explicadas como valores que devem ser alcançados dentro de um determinado prazo, antes de chegar no Padrão Final.

Os diferentes valores das Metas Intermediárias e Padrões Finais podem ser visualizados de maneira mais simplificada através do Quadro 5.

**Quadro 5 – “Padrões de qualidade do ar” (Decreto Estadual nº 59.113/13).**

Poluente	Tempo de amostragem	MI 1 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MI 2 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MI 3 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PF ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
MP <sub>10</sub>	24 horas	120	100	75	50
MP <sub>10</sub>	Média aritmética anual	40	35	30	20
MP <sub>2,5</sub>	24 horas	60	50	37	25
MP <sub>2,5</sub>	Média aritmética anual	20	17	15	10
O <sub>3</sub>	8 horas	140	130	120	100
NO <sub>2</sub>	Média aritmética anual	60	50	45	40
NO <sub>2</sub>	1 hora	260	240	220	200
SO <sub>2</sub>	24 horas	60	40	30	20
SO <sub>2</sub>	Média aritmética anual	40	30	20	-
FMC	24 horas	120	100	75	50
FMC	Média aritmética anual	40	35	30	20
PTS	24 horas	-	-	-	240
PTS	Média geométrica anual	-	-	-	80
CO	8 horas	-	-	-	9 ppm
Pb	Média aritmética anual				0,5

Fonte: Adaptado de Decreto Estadual nº 59.113/2013 (SÃO PAULO, 2013).

Nota: Os padrões de Fumaça (FMC) e Partículas Totais em Suspensão (PTS) são considerados auxiliares e utilizados somente em situações específicas, conforme determinado pela CETESB. O Chumbo (Pb) é monitorado apenas em áreas específicas, segundo deliberação da CETESB.

A primeira delas é a Meta Intermediária Etapa 1 (MI1), que abrange os valores de concentração de poluentes a serem acatados a partir da publicação do Decreto Estadual nº 59.113/13. A Meta Intermediária Etapa 2 (MI2) engloba os valores que deverão ser alcançados após a MI1 ter sido cumprida e convalidada pelo CONSEMA e a Meta Intermediária Etapa 3 (MI3) será aplicada após alcançados os valores definidos na MI2, com duração definida pelo CONSEMA (CETESB, 2020).

Os Padrões Finais (PF), por sua vez, são utilizados quando não foram definidas Metas Intermediárias para determinados poluentes, como o monóxido de carbono, partículas totais em suspensão e o chumbo. Em se tratar de outros poluentes que estejam no MI1, os PF serão aplicados após o término da vigência do MI3 (CETESB, 2020).

Do “Decreto Estadual nº 59.113/13” também decorrem outros pontos a serem atendidos, como o Plano de Emergência para episódios críticos de poluição do ar e a criação das Regiões de Controle de Qualidade do Ar (RCQA). Conforme o artigo 6º, nas sub-regiões classificadas em M3, M2, M2 e >M1, será elaborado um “Plano de controle de emissões atmosféricas (PCEA)” específicos para fontes estacionárias (chamados de “Planos de Redução de Emissões de Fontes Estacionárias – PREFE”) e para fontes veiculares (nomeados “Plano de Controle de Poluição Veicular – PCPV” (SÃO PAULO, 2013).

O Decreto 59113/13 também institui no seu artigo 12 as linhas de corte que devem ser verificadas para a viabilidade de implantação de novos empreendimentos e ampliações, que solicitem licença para se estabelecerem em áreas classificadas como >M1, cuja emissão de poluentes atmosféricos não pode ser superior aos seguintes valores:

- “a) material particulado (MP): 100 t/ano;
- b) óxidos de nitrogênio (NOx): 40 t/ano;
- c) compostos orgânicos voláteis, exceto metano (COVs, não-CH4): 40 t/ano;
- d) óxidos de enxofre (SOx): 250 t/ano.”

Segundo o Decreto Estadual 59.113/13, na implementação do PREFE é necessário adotar as práticas de “Melhor Tecnologia Prática Disponível” (MTPD) para o controle dos poluentes, além de que no caso de não haver padrões de emissão estabelecidos no referido Decreto 59.113/13, o artigo 41 do Decreto nº 8.468/76, exige a aplicação dessas mesmas práticas.

O “Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível” é divulgado pela CETESB através do Anexo Único da “Decisão da Diretoria nº 133/2017/C” (CETESB, 2017) onde consta que, a melhor tecnologia prática disponível (MTPD) foi desenvolvida conforme dados da Comunidade Europeia e USEPA, podendo ser definida como:

“o mais efetivo e avançado estágio tecnológico no desenvolvimento da atividade e seus métodos de operação, o qual indica a sustentabilidade prática disponível, considerando a viabilidade de uma particular técnica para providenciar, em princípio, a base para atender o limite de emissão estabelecido para prevenir ou, onde não for praticável, reduzir as emissões e o impacto ao meio ambiente”.

O “Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível” (CETESB, 2017) deve ser utilizado como referência técnica para ajudar na realização de diagnósticos das emissões atmosféricas do Estado de São Paulo, orientando quais MTPD podem ser utilizadas para diferentes setores da economia, entretanto a preparação de massa de concreto não faz parte da lista.

No caso específico das centrais dosadoras de concreto, são citadas no Art. 57 do Decreto nº 8.468/86 e alterações como fontes de poluição no âmbito do licenciamento, entretanto não são discutidas as emissões desses empreendimentos.

#### **- MUNICIPAL**

No município de São Paulo foi promulgada a “Lei nº 14.933” em junho de 2009, a qual institui a “Política de Mudança do clima no Município de São Paulo”, que tem como objetivo assegurar a contribuição no cumprimento dos propósitos da “Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima”, estabilizar as emissões dos gases do efeito estufa, entre outros (SÃO PAULO, 2009).

Para alcançar a referida meta, a Lei nº 14.933/09 define metas de redução das emissões de dióxido de carbono e demais poluentes do anexo A do Protocolo de Quioto e o artigo 6º define medidas que podem ser aplicadas para redução das emissões atmosféricas (SÃO PAULO, 2009).

Em janeiro de 2018, é promulgada a Lei nº 16.802 (SÃO PAULO, 2018), a qual atualiza a Lei nº 14.933/2009, dando nova redação ao artigo 50, que passa a decretar a redução das emissões de material particulado em 90% e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) em 80% provenientes da frota no prazo máximo de 10 anos e redução de 95% para ambos os poluentes em até 20 anos.

Para auxiliar com a redução das emissões e segurança da população, no Município de São Paulo ainda há a Portaria Nº 137/18-SMT.GAB (SÃO PAULO, 2018), redigida pela Secretaria municipal de mobilidade e transportes e publicada agosto de 2018, a qual restringe a circulação de caminhões na “Zona de Máxima Restrição de Circulação” (ZMRC) e “Vias Estruturais Restritas” (VER).

Os artigos 27 e 28 da Portaria Nº 137/18-SMT.GAB determinam as regras e autorizações específicas que os caminhões betoneira e caminhões bomba, utilizados na atividade de concretagem devem respeitar para circular pelo município (SÃO PAULO, 2018), entretanto, o referido dispositivo está sendo questionado pelo “Sindicato da Construção Civil do Estado de São Paulo” (SINDUSCON-SP) e a “Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Concretagem” (ABESC), que solicitam à “Secretaria de Mobilidade e Transportes de São Paulo” que ambos artigos sejam revogados, por inviabilizar as atividades na região, em parte pelos impactos ocasionados pela pandemia do Coronavírus (SINDUSCON-SP, 2020).

#### **- NORMATIZAÇÃO APLICADA**

No caso da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), há diversas Normas envolvendo a produção de concreto e assuntos relacionados, sendo a primeira em 1940 com a publicação da NB-1 (ou NBR 6118 - primeira Norma Brasileira de Projeto e Execução de estruturas de concreto) e a última a NBR 7211 de 2019, que dispõem sobre os agregados para concreto, totalizando aproximadamente 1500 normas sobre a construção civil e dentre elas cerca de 300 sobre o concreto mais especificamente (BATTAGIN, 2011). Entretanto, apesar da extensa lista de normas, a ausência delas discorrendo sobre a poluição atmosférica específica dessa fonte se mantém.

Pela falta de dispositivo legal específico sobre os poluentes gerados nas centrais dosadoras de concreto, ocorre certa passividade no assunto, o que, entre outros motivos, permite que nos dias atuais algumas centrais ainda operem de forma prejudicial ao meio ambiente, de maneira similar àquelas da década de 1970 (MAURY; BLUMENSCHNEIN, 2012).

## 4.5. FABRICAÇÃO DO CONCRETO

Antes de descrever o processo de fabricação, cabe introduzir o conceito de Concreto Dosado em Central, segundo a NBR 7212:

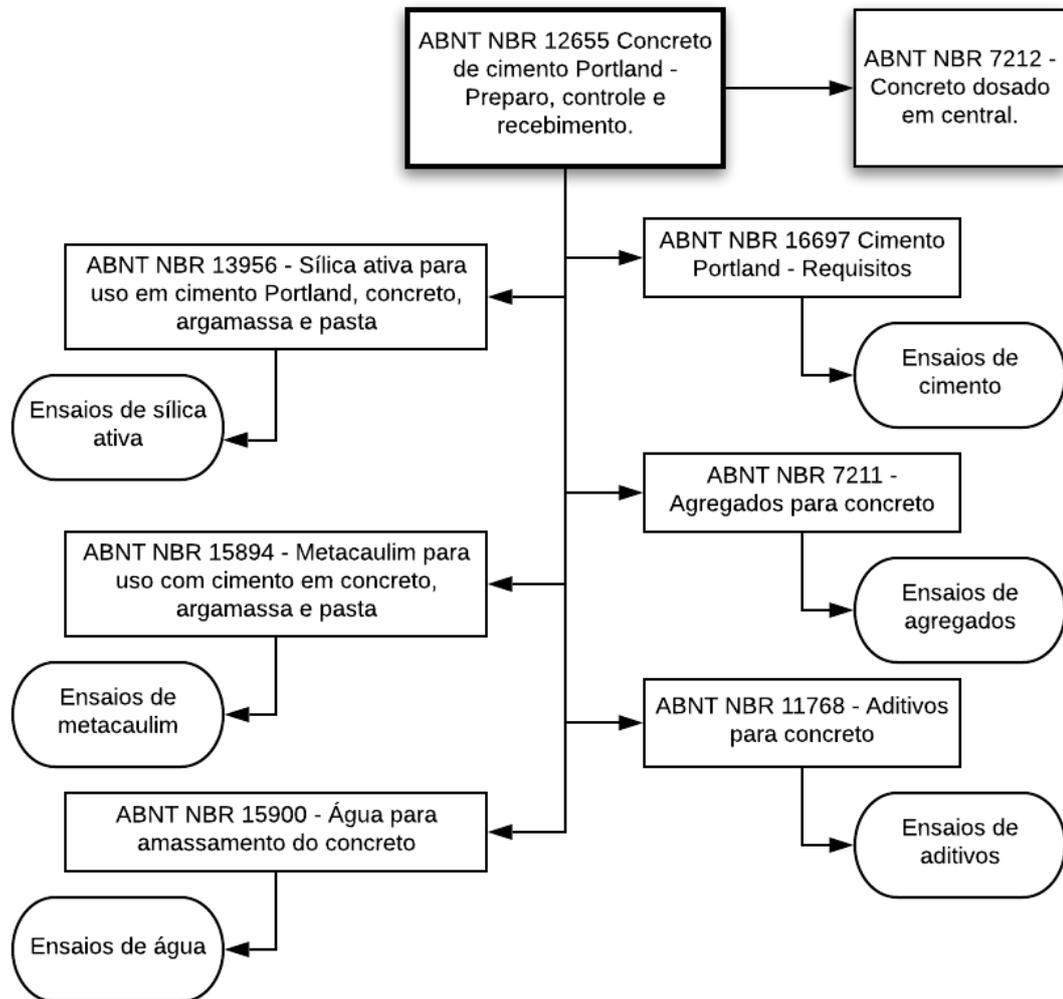
“Concreto dosado, misturado em equipamento estacionário ou em caminhão betoneira, transportado por caminhão betoneira ou outro tipo de equipamento, dotado ou não de agitação, para entrega antes do início de pega do concreto, em local e tempo determinados, para que se processem as operações subsequentes à entrega, necessárias à obtenção de um concreto endurecido com as propriedades pretendidas (ABNT, 2012).”

Para a produção dele, mistura-se cimento, água, agregados miúdos (habitualmente representados por distintas areias), grãos (caracterizados como cascalho, brita, escória, entre outros) e diferentes aditivos, com a sua quantidade calculada de acordo com o objetivo a ser alcançado (USEPA, 2006).

“O cimento e a água formam a pasta que une os agregados quando endurecida. A este conjunto denominamos concreto que, inicialmente encontra-se em estado plástico, permitindo ser moldado nas mais diversas formas, texturas e finalidades, e que, após o início do seu endurecimento continua a ganhar resistência” (PEDROSO, 2009; HELENE; ANDRADE, 2017).

Antes de iniciar a produção do concreto é importante realizar a seleção e qualificação de seus materiais componentes: cimento, agregados miúdos e grãos, água e aditivos. Uma vez selecionados, esses materiais são ensaiados, conforme os métodos de ensaios da ABNT – NBR 16697, NBR 7211, NBR 11768, NBR 13956, NBR 15894 e NBR 15900 - com o objetivo de caracterizá-los e qualificá-los para a produção do Concreto Dosado em Central, garantindo que não contenham substâncias prejudiciais em quantidades capazes de comprometer a durabilidade do concreto (NEVILLE; BROOKS, 2013, pág. 07). As normas técnicas que devem ser seguidas ao realizar os ensaios dos materiais componentes do concreto dosado em central podem ser visualizadas na Figura 4.

**Figura 4** - Normas Técnicas para ensaio dos principais componentes do concreto dosado em central.



Fonte: Adaptado de Battagin (2011).

Com os materiais devidamente qualificados, a primeira etapa do processo produtivo é o recebimento e armazenamento, que devem ser feitos de forma cuidadosa para evitar a mistura e contaminação dos materiais, principalmente daqueles que são adquiridos a granel, o que pode ocasionar erros na dosagem e conseqüentemente das propriedades almeçadas (ALMEIDA, 2002).

Com base nas exigências de cada obra, é desenvolvido o traço que será utilizado, ou seja, as proporções de cada material utilizado na preparação do concreto escolhido (HELENE; ANDRADE, 2017).

Os agregados sempre são colocados em maior quantidade, entre 60% e 75% do volume total, enquanto a água constitui 15% a 22%, e o cimento 7% a 15%. Apesar de estar presente em menor quantidade, o cimento é o principal responsável por definir as características do concreto, e por isso acaba sendo o material mais controlado (CARBAJAL, 1998). O aditivo, por sua vez, é adicionado em quantidades muito pequenas, e por isso não interfere muito na porcentagem geral.

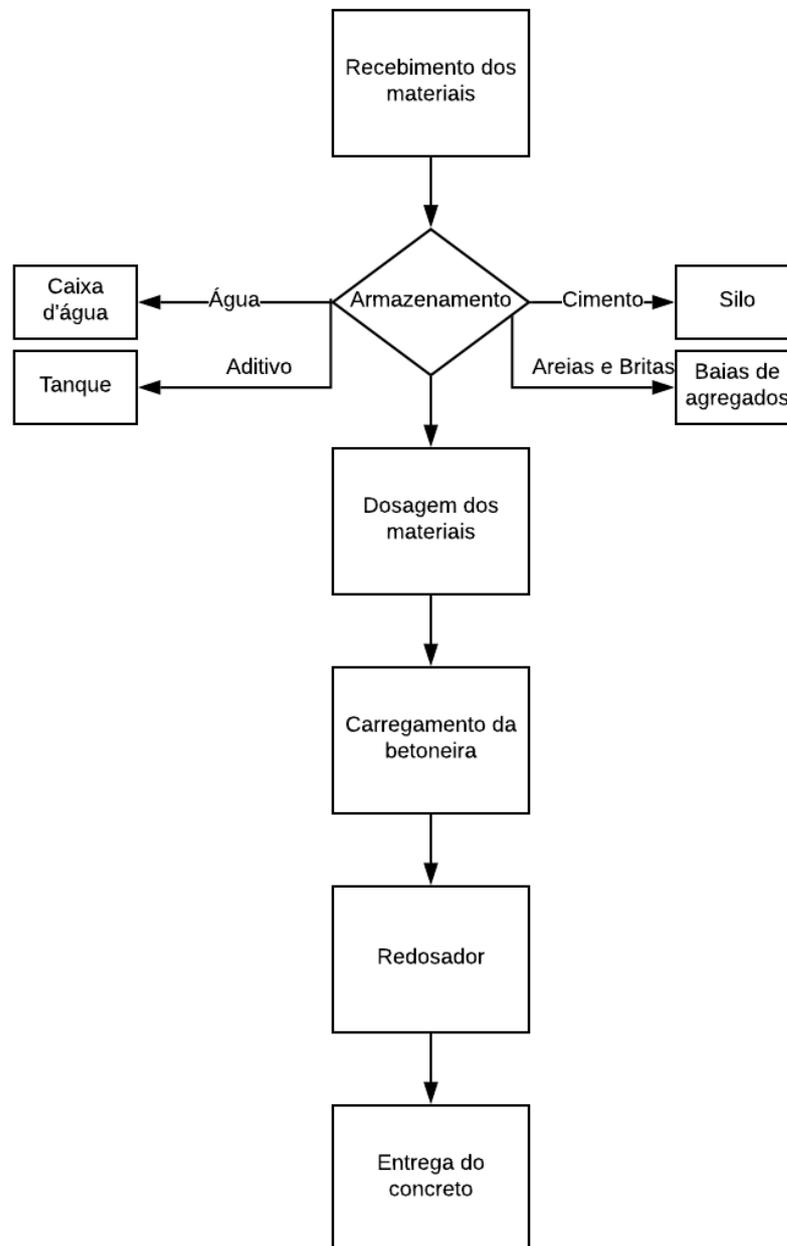
Sendo o traço aprovado pelo cliente, pode-se dar início à preparação do concreto, que consiste basicamente na dosagem e mistura dos compostos necessários, sempre respeitando as normas técnicas cabíveis (PEDROSO, 2009).

Um esquema simplificado da operação da central dosadora de concreto pode ser visualizado na Figura 5.

Em relação ao armazenamento de materiais, as areias e britas são estocadas em baias, enquanto os líquidos repousam em tanques e o cimento é mantido em silos, respeitando as suas diferentes classificações, conforme descrito na NBR 12655 (ABNT, 2015).

A coleta da brita e areia das baias é feita de forma manual, utilizando uma pá carregadeira, que os deposita na “towgo” ou caixa de agregados. A diferença entre ambas é que a “towgo” consiste em uma balança utilizada em centrais menores, uma vez que o operador da central deve abrir a comporta e acionar a correia para realizar a transferência dos materiais, já que este equipamento não pode ser automatizado, entretanto é mais versátil, pois pode ser abastecido com qualquer material. No caso da caixa de agregados, é composta por uma moega, balança e uma caixa com diferentes divisórias onde os materiais são temporariamente armazenados e pesados conforme o traço desejado, podendo ser feito de maneira automatizada, mas limitado ao número de materiais correspondente às divisórias existentes (GRANDES CONSTRUÇÕES, 2015).

**Figura 5** – Esquema simplificado do funcionamento de uma central dosadora de concreto.



Fonte: Elaboração própria (2019).

Água, aditivos e cimento também são acrescentados ao balão da betoneira, sendo inseridos pelo operador de central de maneira manual ou automatizada, dependendo do tipo de central (USEPA, 2006).

Os materiais convenientemente dosados são transferidos para o caminhão betoneira, posicionado no ponto de carga. Estes caminhões são providos de um balão rotativo acoplado em eixo inclinado com relação à horizontal, nos quais internamente existem chapas helicoidais responsáveis por auxiliar a mistura do concreto enquanto o balão gira no sentido horário e fazer a descarga quando no sentido anti-horário (FIGUEIRA, 2016).

A mistura no interior do balão deve ocorrer a uma rotação de 12 a 16 voltas/min, durante um período de no mínimo 3 minutos, até que todos os materiais sejam integralmente transferidos (ABNT, 2012). Passado o tempo mínimo de mistura, o caminhão se desloca para o redosador, onde é feita a complementação da mistura e inspeção visual das características do concreto em seu estado plástico antes de sua saída para o consumidor (HELENE; BONI; BRITZ, 2018).

Imediatamente antes de sair da unidade, a rotação da betoneira é ajustada para 2 a 4 voltas/min, e o trajeto é definido para que o tempo de transporte atenda às especificações da Norma NBR 7212, ou seja, inferior a 90 minutos no caso de transporte com caminhão-betoneira (ABNT, 2012).

Para garantir a qualidade do concreto, ao ser recepcionado na obra, deve-se verificar se as suas características e informações constantes na documentação estão de acordo com a solicitação do cliente, e caso ocorra variação, mas o cliente esteja de acordo, a informação deve ser registrada (ABNT, 2012).

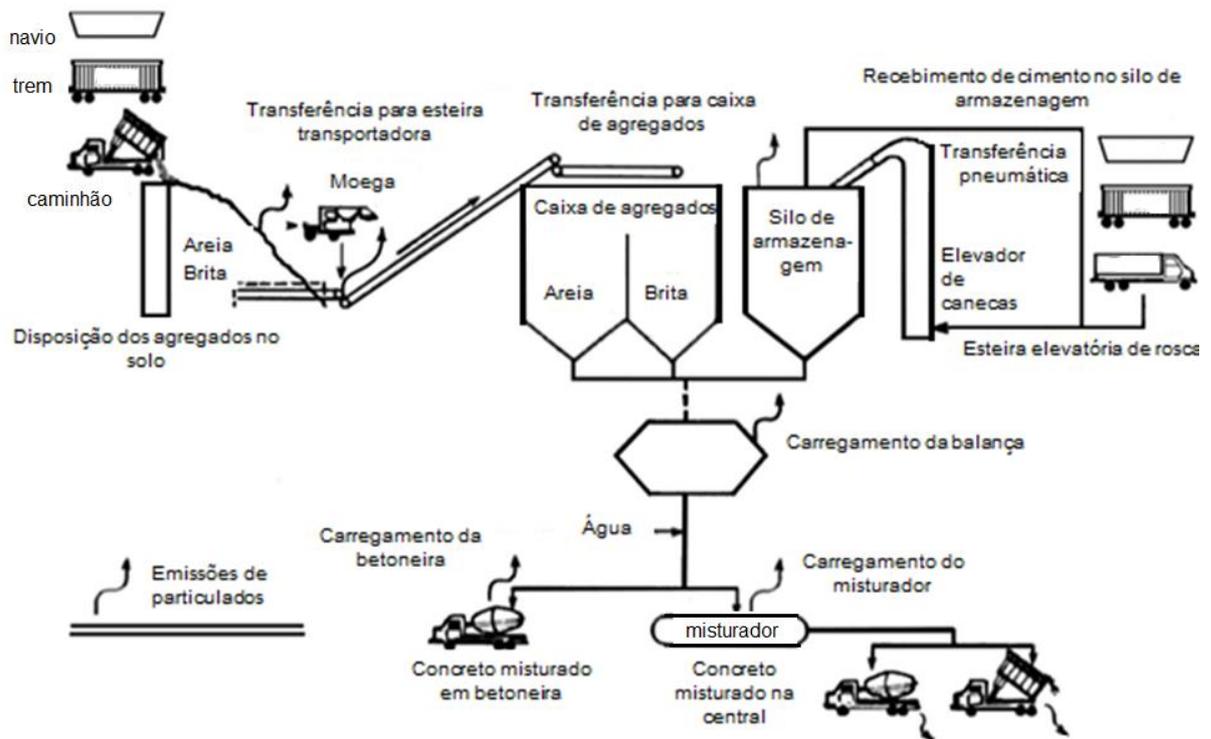
Como nas centrais dosadoras de concreto, a mistura da massa é feita dentro do caminhão betoneira, é fundamental que ele passe por manutenção preventiva. A espessura da chapa do balão e a altura das facas existentes em seu interior devem se manter dentro dos parâmetros estabelecidos pela NBR 7212 (ABNT, 2012), enquanto os componentes do caminhão, como verificação dos pneus, alinhamento e troca de óleo devem seguir as especificações recomendadas pelo fabricante do veículo.

#### 4.6. FONTES DE EMISSÕES EM CENTRAIS DOSADORAS DE CONCRETO

As emissões das centrais dosadoras são de natureza fugitiva, com exceção das emissões resultantes do carregamento dos silos de cimento, que são pontuais e que por isso, costumam ser dotados de filtros de manga na tentativa de reduzir esse escape (USEPA, 2006).

A Figura 6, disponibilizada pela “Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América” (USEPA, 2006) representa de maneira esquematizada as principais emissões atmosféricas que ocorrem em uma central dosadora de concreto comum.

**Figura 6** – Identificação de pontos de geração de emissões atmosféricas em uma central dosadora de concreto



Fonte: Adaptado de USEPA (2006).

Na Figura 6, durante o recebimento dos materiais utilizados no processo produtivo ocorre a primeira emissão fugitiva, proveniente da disposição desses agregados no solo. Paralelamente, o cimento recebido na unidade, seja por carreta ou outro meio, é descarregado para os silos de armazenamento, o que caracteriza fonte fixa de emissão pontual, uma vez que o lançamento está concentrado nos pontos de transferência entre um ponto e outro. A descarga é feita através de esteira elevatória, elevador de canecas ou principalmente de transferência pneumática, o que significa que os mangotes que fazem a conexão entre a carreta e o silo são os principais pontos de escape do cimento, sendo obrigatório o uso de algum equipamento de controle de poluição, devido à quantidade de material que seria lançado à atmosfera em sua ausência.

Ao colocar a brita e areia na moega, há nova emissão fugitiva, que se repete outras duas vezes, quando são deslocados através da esteira transportadora e despejados na caixa de agregados para pesagem conforme o traço selecionado.

Após a pesagem de todos os materiais, são colocados dentro do balão da betoneira para mistura, momento no qual ocorre a última emissão fugitiva.

Há também a opção de fazer a mistura do concreto em um equipamento estacionário (misturador) e depois transferir a massa já homogeneizada aos caminhões betoneira ou basculantes, o que poderia acarretar uma emissão atmosférica adicional. Entretanto, esse procedimento realizado em centrais chamadas misturadoras é pouco praticado no país, representando apenas 10% dos equipamentos comercializados no país (GRANDES CONSTRUÇÕES, 2015). Isso ocorre porque, apesar do concreto apresentar melhores resultados, sendo mais homogêneo e com menor desvio padrão, as centrais misturadoras são regidas por uma tributação diferente, pois a mistura passa a ser feita *in loco*, e ocorre a venda de um produto, não mais de um serviço. Nesse caso, incidem o IPI (“Imposto sobre Produtos Industrializados”) e ICM (“Imposto sobre Circulação de Mercadorias”) em vez do ISS (“Imposto sobre Serviço”), o que não é tão vantajoso para o empreendedor (CAMILO, 2018).

Nas centrais dosadoras também pode haver emissões abertas e evaporativas, provenientes da manutenção e abastecimento dos caminhões e demais veículos de apoio utilizados para as operações do concreto em si. O local onde os veículos passam pela manutenção periódica é dotado de um Sistema separador de água e óleo, o qual é responsável pelas emissões de fontes abertas, enquanto o tanque de diesel existente para o abastecimento diário é responsável pelas emissões evaporativas (USEPA, 1999; USEPA, 2015).

#### 4.7. PRINCIPAIS POLUENTES GERADOS NAS OPERAÇÕES DAS CENTRAIS DE CONCRETO

Com base nas emissões provenientes das operações da central dosadora e atividades de manutenção e abastecimento dos veículos, elaborou-se o Quadro 6, o qual relaciona o tipo de fonte, a sua origem dentro da central e o poluente gerado.

**Quadro 6** - Relação de emissões atmosféricas geradas em centrais dosadoras de concreto, sua classificação e origem

<b>Classificação</b>	<b>Origem</b>	<b>Poluente</b>
<b>Fugitivas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carregamento do silo de cimento e materiais não convencionais</li> <li>- Descarga dos agregados do caminhão para o solo para organização em baias</li> <li>- Armazenamento dos agregados em baias</li> <li>- Carregamento na moega e caixa de agregados</li> <li>- Transporte de agregados nas esteiras</li> <li>- Carregamento da betoneira no ponto de carga para preparação da massa de concreto</li> <li>- Trânsito dos veículos</li> </ul>	MP (*) Metais
<b>Abertas</b>	- Operação do Separador de Água e Óleo	COVs(**)
<b>Evaporativas</b>	- Tanque de armazenamento de diesel para abastecimento dos veículos da frota	COVs (**)

(\*) MP = Material Particulado

(\*\*) COVs = Compostos Orgânicos Voláteis

Fonte: Elaboração própria (2021)

#### 4.8. INVENTÁRIO DE EMISSÕES

Após a definição dos limites e padrões de qualidade do ar na “Resolução CONAMA nº491/18” (BRASIL, 2018), “Decreto Estadual nº 59.113/13” (SÃO PAULO, 2013) e demais legislações aplicáveis caso a caso, torna-se necessário verificar se os empreendimentos em questão estão de fato atendendo aos valores estabelecidos.

A verificação deve ser feita conforme é descrito no artigo 4º da Resolução CONAMA nº 382/06 (BRASIL, 2006), que também determina que os métodos utilizados na verificação sejam aceitos cientificamente e aprovados pelo órgão ambiental licenciador, com sua metodologia e resultados posteriormente e periodicamente publicados para análise do órgão competente, e artigos 6º e 7º do “Decreto Estadual nº 59.113/13” (SÃO PAULO, 2013), que determina as linhas de corte de emissões para novos empreendimentos e ampliações, entre outros.

Os relatórios gerados com o inventário das emissões atmosféricas do empreendimento não possuem um padrão. Porém, no Estado de São Paulo, com a institucionalização do Decreto nº 59.113/13 (SÃO PAULO, 2013) é necessária a elaboração de um estudo com a estimativa de emissões para verificação das linhas de corte de cada poluente determinadas no seu Artigo 12 e apresentadas no Quadro 7, somente no caso de ampliações e novos empreendimentos.

**Quadro 7** - Linhas de corte dos poluentes segundo o Artigo 12 do Decreto 59.113/13

<b>Poluente</b>	<b>Quantidade (t/ano)</b>
<b>Material Particulado (MP)</b>	100
<b>Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>)</b>	40
<b>Compostos Orgânicos Voláteis, exceto metano (COVs, não-CH<sub>4</sub>)</b>	40
<b>Óxidos de Enxofre (SO<sub>x</sub>)</b>	250

Fonte: Decreto nº 59.113 (Artigo 12º).

Após a quantificação realizada por meio do inventário, os resultados devem ser apresentados em um quadro com os valores encontrados para as emissões de cada fonte identificada e a totalização geral das emissões das fontes do empreendimento. Com isso, além de verificar se os resultados obtidos estão dentro dos padrões legais, é possível verificar quais fontes precisam ser priorizadas no tocante ao seu controle (USEPA, 1997).

#### **4.9. MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS**

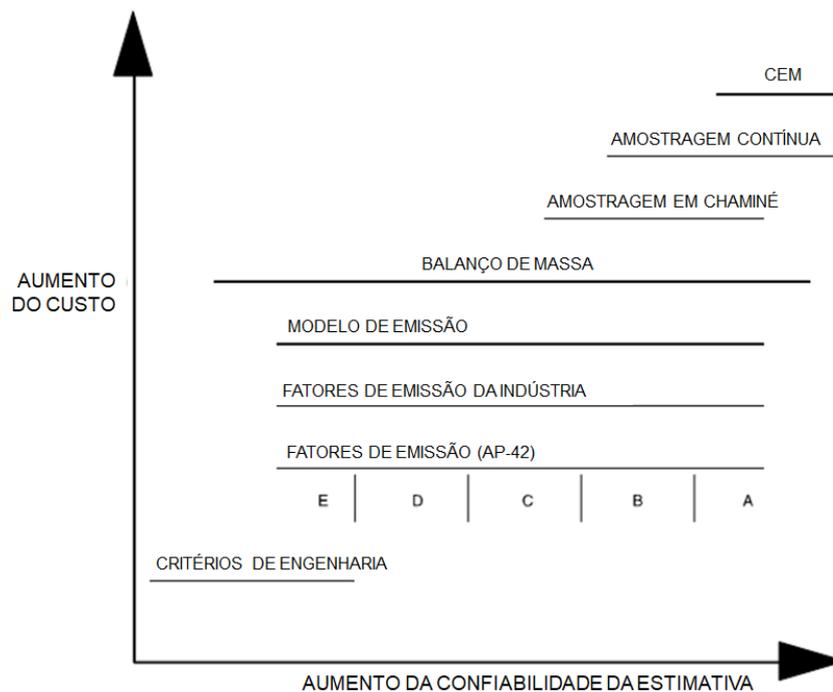
Segundo o Volume I do *Air Emissions Inventory Improvement Program* (USEPA, 1997), para conseguir realizar a estimativa das emissões atmosféricas, antes de tudo, é fundamental identificar as fontes de emissão existentes. Tendo-as mapeado, é necessário escolher para cada uma delas qual será o método utilizado para estimar as emissões e quais dados e parâmetros ele requer.

Ao realizar os cálculos com o método escolhido, é importante garantir que os dados utilizados são de boa qualidade, uma vez que dados ruins podem resultar em valores de emissões equivocados. Também se devem documentar adequadamente as etapas, hipóteses e aproximações adotadas, e realizar um arquivamento correto para evitar erros na sua distribuição (USEPA, 1997).

Conforme a USEPA (1997), a decisão da metodologia utilizada irá depender dos recursos, dados e tempo disponível, além da prioridade de cada caso, ou seja, se as emissões em estudo são de substâncias perigosas ao ser humano ou meio ambiente, torna-se necessário o uso de métodos mais sofisticados e conseqüentemente mais caros, como a amostragem contínua ou amostragens na chaminé, entretanto, se a emissão não é considerada danosa, métodos mais simples e baratos são aceitáveis, como o uso de fatores de emissão.

Na Figura 7, adaptada da USEPA (2001), estão descritos os principais métodos de estimativa de emissões, sua confiabilidade e custos em relação aos demais.

**Figura 7** - Comparação dos principais métodos de estimativa de emissão com relação ao custo e qualidade dos resultados.



**Fonte:** Adaptado de USEPA (2001)

Os métodos mais utilizados para estimativa de emissão estão descritos para melhor entendimento:

#### 4.9.1 Amostragem contínua

Ainda no primeiro volume do *Air Emissions Inventory Improvement Program* (USEPA, 1997), a melhor forma de conseguir dados confiáveis é realizando testes *in loco*, seja por meio da agência ambiental ou do próprio empreendimento, isso porque os testes reduzem as incertezas com relação à eficiência e demais variações dos equipamentos de controle e combustíveis usados. É importante que esses testes sejam conduzidos adequadamente, com profissionais treinados e durante um “período suficientemente longo, para conseguir obter valores representativos” das condições reais encontradas.

A forma de amostragem contínua mais indicada é a chamada “CEM”, sigla do inglês para *Continuous Emissions Monitoring* (monitoramento contínuo das emissões), realizada por um dispositivo instalado na fonte geradora e que realize medições em curtos intervalos de tempo durante longos períodos.

Os equipamentos CEM também devem realizar o registro dos valores medidos, que são transmitidos para uma central de coleta de dados, que irá arquivá-los e disponibilizá-los conforme a necessidade. São utilizados principalmente para gases, como NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub> e THC (USEPA, 2001).

São os equipamentos com maior confiabilidade dos resultados, desde que instalados no local adequado e operado segundo métodos de referência, mas também estão entre os mais caros para aquisição e operação, uma vez que é essencial a calibração periódica e manutenção constante, com reposição de peças, quando necessário (USEPA, 2001).

#### **4.9.2 Amostragem em chaminé**

No segundo Volume do *Air Emissions Inventory Improvement Program* (USEPA, 2001), é definido que a amostragem em chaminé é um método comumente utilizado para estimar as emissões de um determinado processo, fornecendo bons resultados e reduzindo o número de incertezas, desde que seja realizado em condições representativas e normais de operações da fonte.

A diferença entre a amostragem de chaminé e o CEM é a duração da amostragem, uma vez que no primeiro é feito um teste único na saída da chaminé, duto ou *vent* e os resultados são extrapolados para estimar emissões anuais, não levando em considerações possíveis diferenças de sazonalidade, sendo por isso um método mais barato que os CEM (USEPA, 2001).

Para obter os dados das emissões são necessários dois conjuntos de equipamentos: medidores de vazão do fluxo gasoso e sondas para coletar o poluente da fonte e capturá-lo no meio escolhido para posterior análise em laboratório (USEPA, 2001). Ao realizar a amostragem, é importante que seja utilizada metodologia adequada, evitando dados que posteriormente não poderão ser utilizados.

A USEPA divulga métodos de referência para definir e descrever os equipamentos, materiais e procedimentos a serem utilizados nos testes de diversos poluentes através do “*Code of Federal Regulations*” (CFR) Título 40, Parte 60, Apêndice A. No Brasil, a ABNT publicou diversas Normas Técnicas a respeito da amostragem em chaminé, incluindo como realizar o planejamento da amostragem, a escolha dos pontos e até a calibração dos equipamentos usados. E no Estado de São Paulo, a CETESB também publica uma série de normas técnicas com métodos de amostragem de diferentes compostos, sendo organizados pelo código alfanumérico L9 e disponibilizados para o público em geral.

Para monitoramento das emissões em chaminés ou dutos de fontes estacionárias, no Estado de São Paulo, foi elaborado pelo órgão ambiental o Termo de Referência para a elaboração do “Plano de Monitoramento das Emissões Atmosféricas” (PMEA) através da Decisão da Diretoria nº 10/2010/P (CETESB, 2010).

O PMEa deverá conter informações sobre as condições operacionais do empreendimento, incluindo capacidade de produção, matéria-prima e combustíveis utilizados, as fontes de emissão existentes, com a vazão dos gases na chaminé, equipamentos de controle instalados, os parâmetros utilizados no monitoramento, a frequência com que ele será feito, entre outros (CETESB, 2010).

Apesar do Termo de Referência estabelecer os itens que precisam constar no “Plano de Monitoramento das Emissões Atmosféricas” (PMEA), a forma de realizar o controle e monitoramento é flexível, podendo ser feito de forma contínua ou descontínua, dependendo da realidade do empreendimento, desde que seja realizado de acordo com a ação de controle requerida, atenda os critérios estabelecidos e receba a anuência do órgão ambiental (BRASIL, 2006).

### 4.9.3 Balanço de massa

Para o cálculo das emissões utilizando o método do balanço de massa, leva-se em consideração a diferença entre a quantidade de materiais que entram no processo na forma de matéria prima e combustíveis, menos a quantidade que sai, na forma de produtos e resíduos (USEPA, 2001).

De acordo com o *Air Emissions Inventory Improvement Program* (USEPA, 2001), o método é mais barato que os anteriores e geralmente utilizado quando outros não estão disponíveis e pode apresentar bons resultados se todos os parâmetros do processo são medidos adequadamente, entretanto não deve ser usado no caso de reações químicas consideráveis ou quando as emissões resultarem em poluentes secundários, além de ser contraindicado no caso de emissões em quantidades pequenas, pois os erros podem ser significativos.

### 4.9.4 Fatores de emissão

Segundo a USEPA (2001), os fatores de emissão expressam a relação entre a emissão de um poluente e uma determinada atividade, como a operação de um equipamento ou o consumo de um determinado combustível, criando assim estimativas generalizadas sobre emissões que ocorrem comumente em determinadas áreas.

O uso deles é extremamente simples, sendo necessário apenas realizar a multiplicação do fator pela quantidade relacionada à atividade de interesse, entretanto, é importante que sejam utilizados os fatores corretos para cada caso, uma vez que eles são diferentes para os casos de atividade com e sem equipamentos de controle de poluição (USEPA, 2001).

Quem desenvolve os fatores de emissão é a USEPA através de uma série de testes realizados em diversos empreendimentos, com os resultados posteriormente divulgados na AP-42: *Compilation of Air Emissions Factors* para uso aberto ao público.

Como esses fatores de emissão são calculados através da média de um grande volume de dados, é possível que apresentem divergências ao serem considerados em uma única planta, mas retratam valores satisfatórios ao considerar uma categoria de atividade como um todo.

A USEPA (2001), através do AP-42 (*“Compilation of Air Emission Factors”*), realiza a classificação desses fatores com relação à sua qualidade e capacidade. Para a primeira classificação, os dados usados devem ser obtidos através de metodologia que assegure a sua confiabilidade, sendo a classe “A” a melhor, com dados obtidos através de metodologia testada e a classe “D” a pior, geralmente não sendo aceitos para o cálculo das emissões.

Para a classificação da capacidade, leva-se em conta a permanência daquele dado como fator de emissão adequado. Um fator classificado como “A” é considerado excelente, “B” acima da média, “C” mediano, “D” abaixo da média e “E” ruim, levando-se em conta a metodologia a quantidade de dados utilizados na sua elaboração (USEPA, 2001).

Existe também a possibilidade de que os fatores de emissão desejados não estejam disponíveis, nesse caso é informada a referência “ND” e os campos que chamam outras seções da AP-42, *Fifth Edition – Air Emission Factors and Quantification*, elaborada pela USEPA, não possuem fatores previamente definidos, sendo necessário fazer os cálculos com base nas fórmulas ali descritas.

#### **4.9.5 Modelos de emissão**

No *Air Emissions Inventory Improvement Program* (USEPA, 2001), tem-se que os modelos de emissão podem ser utilizados quando outros métodos não estão disponíveis, e consiste na utilização de softwares de computador, que realizam os cálculos com base em modelos empíricos ou valores medidos anteriormente. Como exemplo, pode ser citado o programa TANKS 4.09d, disponibilizado pela USEPA, utilizado neste trabalho.

O custo relacionado ao uso dos modelos de emissão dependerá principalmente do modelo utilizado, sendo mais barato que a amostragem de chaminé ou instalação de equipamentos de amostragem contínua. Entretanto, a sua confiabilidade também depende do software escolhido e da qualidade e quantidade dos dados de entrada (USEPA, 2001).

#### **4.9.6 Critérios de engenharia**

Quando os demais métodos não estão disponíveis, pode-se recorrer aos critérios de engenharia, os quais se baseiam nos conhecimentos e hipóteses de algum engenheiro familiarizado com o processo. Por não ser um método preciso, e passível de erros consideráveis, não é recomendável seu uso (USEPA, 2001).

#### **4.9.7 Monitoramento Preditivo das Emissões (PEM)**

O Monitoramento preditivo das emissões é feito através de estimativas, com base em parâmetros do processo e taxas de emissão calculadas anteriormente, uma vez que as emissões são correlacionadas aos parâmetros do processo. Assim, as relações obtidas são utilizadas para desenvolver curvas de emissão (CETESB, 2018).

#### **4.9.8 Uso de documentos**

Segundo Affonso (2018), é possível a inclusão de limites máximos de emissões atmosféricas para cada fonte de poluição e poluentes em Licenças e Termos de Ajustamento de conduta (TAC) aos quais o empreendimento deve se basear para operar e realizar os cálculos das estimativas de emissão.

Tais exigências são autorizadas pelo artigo 4º do ATO NORMATIVO nº 484-CPJ (SÃO PAULO, 2006), de outubro de 2006, o qual define o Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) como “instrumento formal, podendo ser celebrado nos autos do inquérito civil ou do procedimento preparatório de inquérito civil, para adequação de suas condutas às exigências legais, mediante cominações, com eficácia de título executivo extrajudicial, nos termos da legislação específica”.

O artigo 74 da Lei nº 13.105/15 (BRASIL, 2015) também autoriza a celebração do “Termo de Ajustamento de Conduta” com a União, Estado ou Município, através da criação de câmaras de mediação e conciliação para solução consensual de conflitos no âmbito administrativo, no qual se insere a celebração do TAC.

Tantos os valores de emissão constantes nas licenças como no TAC são considerados a máxima emissão esperada da fonte a ser considerada no inventário.

#### **4.9.9 Uso de dados do fabricante**

Ao realizar a compra dos equipamentos, o fornecedor deve informar os dados de operação do equipamento, como por exemplo dimensões, temperatura máxima de operação, consumo energético, geração de resíduos e efluentes, incluindo a porcentagem de eficiência e as emissões esperadas durante as operações (CETESB, 2018).

Essa estimativa fica por conta do fornecedor, que pode realizar o cálculo através de testes durante a produção do equipamento (CETESB, 2018).

#### **4.10. TECNOLOGIAS E MEDIDAS DE CONTROLE PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS**

Ao buscar a redução das emissões atmosféricas provenientes do processo produtivo é interessante pensar primeiramente em formas de impedir a sua geração, pois o seu simples tratamento com uso de “equipamentos de controle de poluição do ar” apenas transfere o poluente de um meio a outro, passando do meio gasoso para o líquido ou sólido, o que gera resíduos contaminados que devem ser adequadamente destinados (FERNANDES, 2003). Além de ser mais sustentável, a busca pela não geração dos poluentes atmosféricos também pode ser mais econômica, considerando que a destinação do resíduo gerado pós-tratamento tem custos.

Caso essas alterações não sejam possíveis, passa-se então à redução da geração, quando ainda ocorre a emissão atmosférica, mas em menor escala. Neste caso, é muito utilizada a umectação, barreiras físicas, barreiras químicas, restrições envolvendo a planta fabril, entre outras.

Os métodos que envolvem a redução das emissões atmosféricas podem ser indiretos ou diretos.

#### **4.10.1. Métodos indiretos de controle de poluentes**

Para Resende (2007), os métodos indiretos incluem a não geração, a substituição de combustíveis e matérias primas por outros menos poluentes, o planejamento urbano, o uso de chaminés altas para melhorar a dispersão, entre outros.

Os métodos indiretos são descritos a seguir.

##### **4.10.1.1 Não geração de poluentes**

Segundo Fernandes (2003), ao planejar o empreendimento visando a não geração da poluição atmosférica, pode-se pensar na substituição da matéria-prima e combustíveis utilizados, adequação e controle rígido dos parâmetros operacionais, modificação parcial ou total da tecnologia utilizada no processo, de forma a eliminar determinada substância poluidora de sua composição e assim evitar a instalações e operação de equipamentos de controle de poluição desnecessários.

Outra opção é aplicar restrições veiculares, buscando evitar que veículos trafeguem em locais com potencial emissão de poluentes, entretanto é criada uma área morta dentro do empreendimento, frequentemente inviável devido ao limite de tamanho já existente.

Fernandes (2003) ressalta que, sempre que possível, deve-se dar preferência às medidas preventivas sobre as corretivas, devido aos benefícios aportados, incluindo financeiros, mas infelizmente há casos em que medidas de prevenção não bastam para eliminar a poluição em sua totalidade, momento no qual alternativas devem ser avaliadas.

#### **4.10.1.2 Substituição de combustíveis e matérias-primas**

Para Fernandes (2003), o “princípio básico da redução na fonte, é que aquilo que não entra no processo, não pode sair como poluente”. Logo, a substituição de uma matéria-prima ou insumo por outro de menor ou nenhuma toxicidade, pode ser uma boa ferramenta na redução dos poluentes atmosféricos. Um exemplo disso, seria a substituição de combustíveis fósseis, como o diesel, para outros menos poluentes, como o gás natural.

#### **4.10.1.3 Planejamento urbano**

O planejamento urbano baseia-se no distanciamento entre a fonte de emissão dos poluentes e núcleos populacionais ou demais áreas de alto risco, como reservas naturais, mananciais, entre outros (FERNANDES, 2003), com o intuito de aproveitar a “capacidade de diluição da atmosfera”, reduzindo custos com equipamentos de controle.

A “análise deve ser feita previamente pelos empreendedores” responsáveis e posteriormente validada pelo órgão ambiental competente, e deve levar em consideração as tendências de uso futuro da área, como o desenvolvimento de núcleos populacionais no entorno (FERNANDES, 2003).

#### **4.10.1.4 Uso de chaminés altas para melhorar a dispersão**

Conforme explanado por Fernandes (2003), o uso de chaminés altas irá depender das condições topográficas e meteorológicas do local onde o empreendimento está localizado. Ao utilizar chaminés altas, espera-se que os poluentes lançados à atmosfera alcancem a população e demais pontos de interesse já adequadamente dispersos para alcançar a legislação e evitar danos. No entanto, o uso de chaminés altas somente deve ser realizado após serem esgotadas todas as alternativas de implantação na fonte de “equipamentos de melhor tecnologia prática disponível” para redução das emissões.

#### 4.10.2. Métodos diretos para redução das emissões

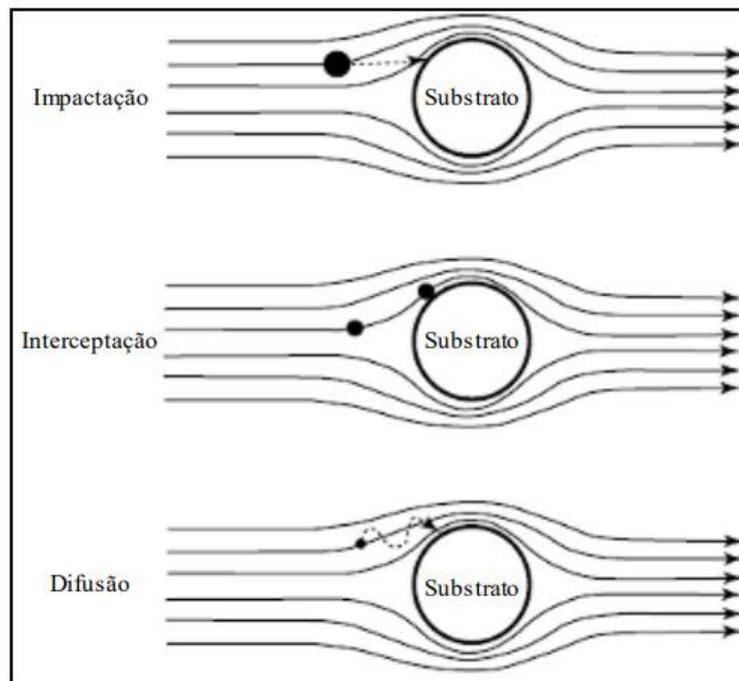
Os métodos diretos, por outro lado, podem incluir dispositivos ou procedimentos de controle que são aplicados diretamente às emissões, seja para redução de emissões de fontes fixas e fugitivas (RESENDE, 2007).

Os métodos diretos são descritos a seguir.

##### 4.10.2.1. Mecanismos para coleta de partículas

As barreiras físicas são caracterizadas por qualquer instalação que se interponha entre as partículas e o ambiente externo, podendo ter as mais variadas formas de acordo com o a planta da fábrica. Seu funcionamento se baseia no fato de que as partículas lançadas à atmosfera atingem obstáculos e ficam aderidas ao substrato por diferentes mecanismos, sendo os principais: impactação, interceptação e difusão (SCHNELLE; BROWN, 2002) ilustrados na Figura 8.

**Figura 8** - Principais mecanismos de aderência das partículas.



Fonte: Adaptado de Schnelle e Brown (2002).

Segundo Schnelle e Brown (2002), ao alcançar determinado obstáculo, a corrente de ar naturalmente se desvia, levando consigo partículas de diferentes formas e tamanhos. Pela inércia, algumas delas sofrem um desvio, sendo este determinado principalmente pelo seu diâmetro.

O mecanismo da impactação trata principalmente de partículas de maior massa e diâmetro, que naturalmente são propensas a se deslocar em linha reta devido à inércia, desviando-se do fluxo de ar e chocando-se diretamente com o substrato. Outro fator decisivo é o ângulo do desvio que é feito. Quanto mais brusca a curva, maior a dificuldade da partícula em acompanhar o fluxo (SCHNELLE; BROWN, 2002)

A interceptação, por outro lado, trata de partículas com diâmetro entre 0,1 e 1  $\mu\text{m}$ , que conforme Schnelle e Brown (2002) são carregadas demasiadamente próximas à barreira e que por isso acabam se aderindo ao substrato. Entretanto, se comparado à impactação, a eficiência deste método é baixa.

Para partículas muito pequenas, na ordem dos submícrons, a captura delas ocorre pelo método da difusão. Devido ao tamanho diminuto, as colisões com as moléculas de ar são aleatórias, motivadas pela sua energia térmica. Quando ocorrem levam a saltos das partículas, que por sua vez mudam de linha de corrente. O método pode ser eficiente se a barreira estiver próxima do ponto de emissão dos poluentes (SCHNELLE; BROWN, 2002).

Schnelle e Brown (2002) informam que, nos três mecanismos acima descritos, a instalação de um número maior de obstáculos aumenta a probabilidade de adesão da partícula, ou seja, a eficiência da coleta é maior.

A sedimentação gravitacional trata-se simplesmente da ação da gravidade sobre as partículas, da mesma forma que afeta todos os corpos presentes no planeta Schnelle e Brown (2002) deixam claro que o mecanismo em questão é mais adequado para remover partículas grandes, não sendo muito eficiente em partículas leves.

Fernandes (2003) diz que a força eletrostática é a atração ou repulsão entre duas partículas em desequilíbrio elétrico, logo, se as partículas possuírem uma determinada carga e o ambiente um campo, a força eletrostática fará com que as partículas se movam independente da corrente de ar. Para partículas pequenas, as forças eletrostáticas são intensas, tornando esse mecanismo eficiente (SCHNELLE; BROWN, 2002).

Schnelle e Brown (2002) ainda ressaltam que a força centrífuga, assim como a força gravitacional, também é mais adequada para partículas de peso mais elevado, mas em vez de se basear na gravidade, a força centrífuga age sobre partículas que se movimentam segundo uma trajetória curvilínea, momento no qual são arrastadas para fora, afastando-se do centro da trajetória (FERNANDES, 2003).

Por fim, Fernandes (2003) explica que a termoforese é fruto da energia resultante da criação de um gradiente térmico, no qual as partículas presentes migram das zonas quentes para as mais frias da atmosfera.

Com base nos mecanismos de coleta das partículas descritos, pode-se descrever sobre os principais equipamentos de controle da poluição, suas características e aplicações.

#### ***4.10.2.2. Equipamentos para controle da poluição do ar (ECPs)***

Caso as tentativas de prevenção da poluição não apresentem resultados satisfatórios, torna-se necessário recorrer a ações mais diretas para manter as emissões atmosféricas dentro das exigências dos padrões legais, utilizando para isso equipamentos de controle de poluição (FERNANDES, 2003).

Segundo Fernandes (2003), os ECPs são instalados nos pontos de saída dos poluentes e funcionam como uma espécie de “filtro”, removendo os poluentes de interesse e lançando na atmosfera o ar tratado.

Há uma ampla variedade de equipamentos de controle da poluição do ar disponíveis no mercado, cada um deles mais indicado para diferentes tipos de atividades e poluentes, em função, conforme Fernandes (2003), dos mecanismos de controle adotados, a presença de umidade e da composição das emissões atmosféricas a serem captadas.

Além disso, ao realizar o levantamento de equipamentos de controle da poluição disponíveis conforme as características do empreendimento e poluentes gerados é necessário levar em consideração a melhor tecnologia prática disponível, conforme guia disponibilizado pela CETESB através da “Decisão de Diretoria nº 133/2017/C” (CETESB, 2017).

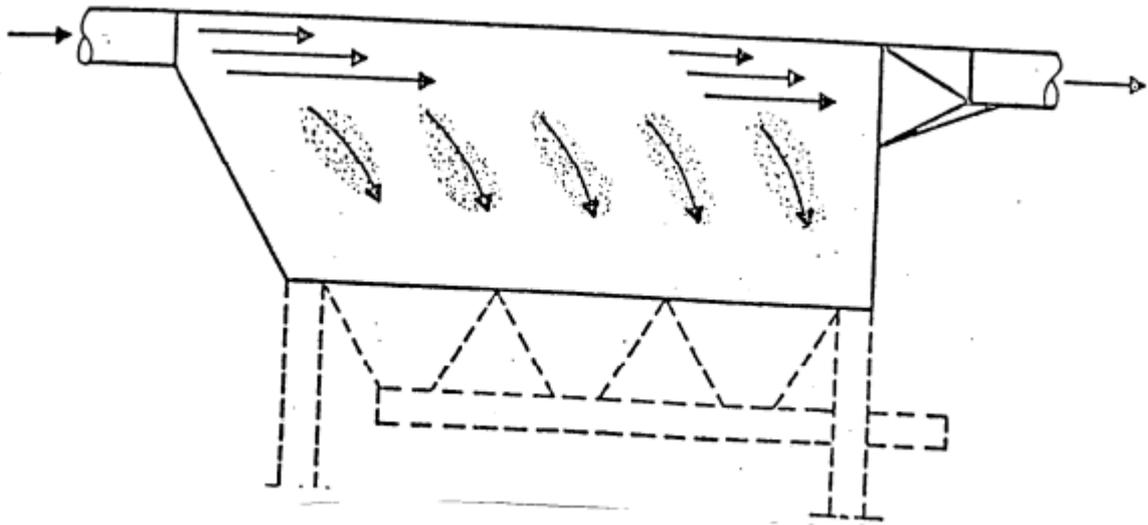
Como o presente estudo é focado nas emissões atmosféricas de centrais dosadoras de concreto, serão considerados os principais equipamentos de controle de poluição utilizados para a captura do material particulado oriundo de fontes fixas, levando em consideração a melhor tecnologia prática disponível, conforme Decisão da Diretoria nº 133/2017/C (CETESB, 2017).

#### *4.10.2.2.1 Câmara de Sedimentação gravitacional*

Para Schnelle e Brown (2002) as câmaras de sedimentação gravitacional são equipamentos simples, consistindo apenas de um compartimento por onde o ar entra, perde velocidade e força para continuar carregando as partículas maiores, que são depositadas no fundo pela força gravitacional, enquanto as partículas menores seguem com o fluxo de ar, conforme Figura 9.

Apesar de simples de construir, baratos e sem geração de efluentes líquidos, pois não utiliza água durante sua operação, Fernandes (2003) ressalta que estes equipamentos devem possuir dimensões consideráveis para seu funcionamento adequado, ocupando grandes áreas, uma vez que a eficiência está diretamente relacionada ao cumprimento da câmara. Ademais, não são eficientes para partículas menores do que 20 µm, nestes casos sendo usados apenas como um pré-tratamento antes de passar por outro ECP mais apropriado.

**Figura 9** – “Câmara de sedimentação gravitacional do tipo simples”



Fonte: UFSC (2007).

Devido ao seu grande porte e baixa eficiência de coleta, que geralmente fica entre 20% e 60%, estes sistemas são pouco utilizados, além de não serem considerados melhor tecnologia prática disponível, o que desestimula ainda mais seu uso, não sendo indicadas para controle das emissões de material particulado de forma geral.

#### 4.10.2.2.2 Ciclone

Segundo Schnelle e Brown (2002), nos ciclones os poluentes são removidos a partir da união da força centrífuga com a força gravitacional. O fluxo gasoso entra no equipamento de forma tangencial ou axial e uma vez em seu interior é promovida a circulação em espiral do gás, que estimula o deslocamento das partículas em direção às paredes do dispositivo, uma vez que são mais densas que os gases e pela inércia seguem a trajetória original. Ao colidir com as paredes da câmara, perdem velocidade e caem no fundo, onde após certo tempo são recolhidas. O ar tratado é liberado pela parte superior do equipamento (CETESB, 2017).

Para Fernandes (2003), os ciclones são dos “equipamentos de controle da poluição do ar” mais usados, por apresentarem baixo custo de operação e manutenção, configuração simples e ampla faixa de temperatura durante a operação, apesar de não serem indicados para sólidos com um elevado teor de umidade, uma vez que pode ocorrer a aglomeração e entupimento.

Como a operação destes equipamentos depende principalmente da força centrífuga, ao aumentar a velocidade do gás ou reduzir o diâmetro do ciclone, até certo limite, ocorre o aumento da eficiência, apresentando bons resultados para partículas maiores que 10  $\mu\text{m}$  (CETESB, 2017).

Para aumentar a eficiência do equipamento, pode-se utilizar multiciclones, isto é, diversos ciclones com aproximadamente 20 a 30 cm de diâmetro colocados em paralelo e com entrada radial, que em conjunto são mais eficientes, resistentes à erosão, ocupam menos espaço e mais baratos que os ciclones de tamanho padrão, com a desvantagem de que são mais propensos a entupimentos (FERNANDES, 2003).

No “Guia de melhor tecnologia prática disponível”, publicado pela CETESB (2017), os separadores ciclônicos não são considerados melhor tecnologia prática disponível quando o poluente de interesse é o material particulado, não sendo indicado seu uso como coletor principal para controle das emissões de material particulado fino. Entretanto, podem ser utilizados como pré-coletores em conjunto com equipamentos de controle mais eficientes.

#### *4.10.2.2.3 Filtros de manga*

Nos filtros, o ar poluído é obrigado a passar por um substrato poroso, onde parte das partículas fica retida na trama conforme seu diâmetro, e o ar limpo segue livremente (SCHNELLE; BROWN, 2002). Por sua simplicidade e eficiência, é dos métodos mais empregados pelas indústrias, podendo ser de diversos materiais, descartáveis ou não, dependendo das características do gás a ser filtrado.

Dentro os filtros, os mais comumente usados são os de tecido, podendo ser filtro tipo manga, bolsa ou envelope, cartucho ou filtro plano. Inicialmente, os poluentes são retidos nas fibras da trama do tecido, enquanto, após certo tempo de uso, a retenção ocorre em uma segunda camada filtrante, formada pelas partículas que foram se aderindo à superfície do tecido. Por causa desse fenômeno, a eficiência tende a aumentar, chegando a 99,9% (FERNANDES, 2003).

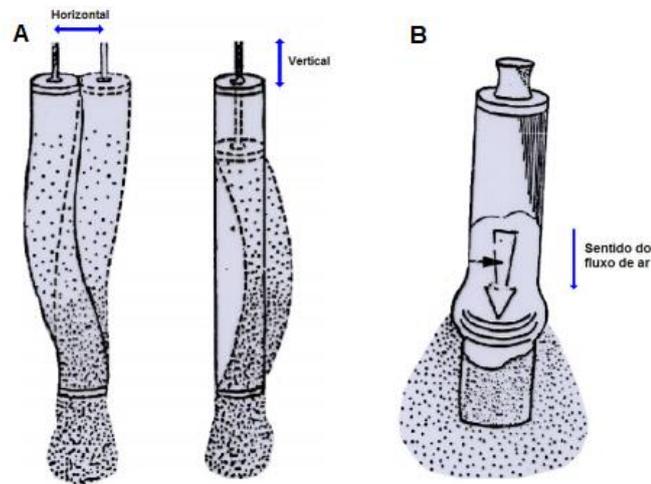
Segundo CETESB (2017), dentro dos filtros de tecido, os mais utilizados pelas indústrias são os filtros tipo manga. Nelas, o “ar contaminado é conduzido para o interior do corpo central e forçado a passar através das mangas de filtragem”, onde o poluente fica retido.

Regularmente é necessário realizar a limpeza desses filtros para evitar a formação de uma camada muito espessa ao longo da trama, o que dificulta a passagem do gás. A limpeza pode ser feita de diferentes formas, dependendo do tipo de filtro empregado, sendo manual, vibração mecânica, fluxo reverso ou jato pulsante (CETESB, 2017).

Conforme Fernandes (2003), a limpeza manual está em desuso, pela falta de praticidade e possibilidade de danificar as mangas caso não seja feita adequadamente. Na limpeza por vibração mecânica, ocorre a agitação das mangas na horizontal ou vertical até a retirada do pó, segundo a Figura 10, porém nem sempre é possível fazer a limpeza de forma adequada, uma vez que caso não haja cautela, pode haver o desprendimento e dano das mangas.

A limpeza por ar reverso consiste na injeção de ar no sentido inverso ao fluxo normal, ocasionando no desprendimento das partículas. Por outro lado, a limpeza por jato pulsante de ar comprimido é feita a partir de um jato de ar à alta pressão, que ao passar pela manga, faz com que se dilate brevemente e libere as partículas que ali estão aderidas, conforme Figura 10 (FERNANDES, 2003).

**Figura 10** - Exemplo de tipos de limpeza das mangas



**A)** Limpeza mecânica das mangas no sentido horizontal e vertical      **B)** Limpeza das mangas por jato pulsante

Fonte: UFSC (2007)

Para CETESB (2017), ao utilizar os filtros de manga, outra escolha que deve ser feita é com relação à composição dos materiais filtrantes, pois precisam ser compatíveis com os gases que irão atravessá-lo e suas características, como por exemplo, temperatura e umidade. Esses materiais e seus usos podem ser verificados no Quadro 8.

Entre as principais vantagens dos filtros de mangas, tem-se a alta eficiência de coleta, chegando a 99,9%, com custo de operação moderado e a possibilidade de reutilizar os materiais coletados. As desvantagens, por outro lado envolvem os custos de manutenção das mangas, variando conforme o tipo utilizado, a necessidade de controle do gás a ser filtrado, pois a temperatura deve atender aos limites de cada fibra usada, não pode haver umidade e o espaço necessário para a instalação.

Apesar de passar por manutenção periódica, é natural que os filtros passem por um processo de desgaste ao longo de seu uso, resultando em danos como furos ou rasgos. Nesses casos, as mangas devem ser imediatamente substituídas seguindo as instruções do fabricante e devidamente descartadas, segundo classificação NBR 10.004 (VENTEC, 2010).

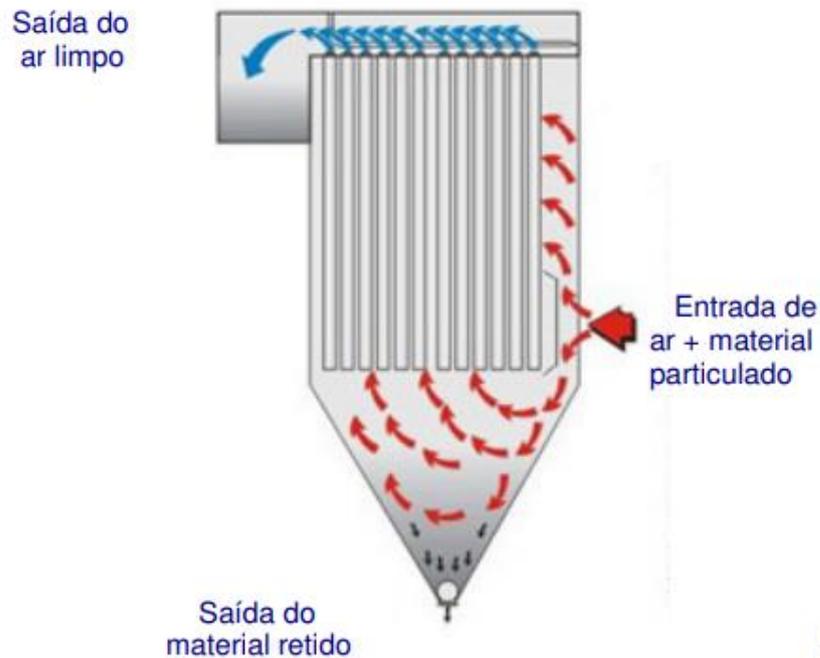
**Quadro 8** – “Materiais de tecidos usados em filtros industriais”.

Fibra	Temp de fusão °C	Temp máxima de oper contínua	Resist. a ácidos	Resist. a álcalis	Resist. à abrasão e flexão
Algodão	Decompõe a 150	82	ruim	Muito boa	Muito Bom
Creslon	246	121	Bom em ácidos minerais.	Bom em álcalis fracos	Bom a muito bom
Dacron	250	135	Bom para a maior parte dos ácidos minerais. Dissolve em H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> conc.	Bom para álcalis fracos. Razoável em forte	Muito Bom
Dynel	162	71	Pouco efeito mesmo em alta concentração	Pouco efeito mesmo em alta concentração	Razoável a bom
Fiberglass	798	237	Razoável a boa	Razoável a boa	Razoável
Fibra de vidro	800		Razoável a boa	Razoável a boa	Razoável
Lã	300	93	Muito boa	ruim	Razoável a bom
Nilon G.G.	250	93	Razoáve	Excelente	Excelente
Niomex	257	218	Bom	Excelente a baixas temper.	Excelente
Orlon	250	126	Boa a excelente em ácidos minerais	Razoável para álcalis fracos	Bom
Poliéster HT-1	371	204	Melhor que Oniton, pior que Orlon e Dracon	Não tão boa qto o nylon, melhor que Orlon e Dracon	Bom
Poliamida	250		Razoável	Excelente	Excelente
Polipropileno	167	93	Excelente	Excelente	Excelente
Teflon	Decompõe a 400 °C	260 °C mas emite gase tóxicos a 232 °C	Inerte, excet a fluor	Inerte exceto a cloro e flúor (tri) e metais alcalinos fundidos	Razoável

Fonte: UFSC (2007).

A utilização de filtros de manga, conforme Figura 11, é considerada melhor tecnologia prática disponível para a CETESB (2017), desde que as emissões a serem tratadas não sejam úmidas ou com altas temperaturas, devido à possibilidade de entupimento e incêndio.

**Figura 11** – “Filtro de mangas com entrada externa do ar poluído”



Fonte: UFSC (2007).

Segundo Fernandes (2003), existem também os filtros descartáveis, normalmente feitos de papel, alguns tipos de feltro ou vibra de vidro, sendo normalmente utilizados em “equipamentos e procedimentos analíticos laboratoriais e de monitoramento da qualidade do ar”. Nestes casos, quando ocorre a saturação, os descartáveis não podem ser limpos, devendo ser eliminados juntamente com os poluentes que ficaram nele retidos. Por esse motivo, devem ser descartados conforme classificação NBR 10.004/04, ou seja, se o resíduo for considerado Classe I, o conjunto como um todo deve ser destinado como perigoso, implicando em altos custos associados.

#### 4.10.2.2.4 Lavadores

Segundo Fernandes (2003) e UFSC (2007), os lavadores são equipamentos que utilizam a água ou solução alcalina para absorver os compostos sólidos e gasosos, fazendo isso de diferentes formas, conforme modelo do aparato. Após a passagem pelo lavador, o efluente gerado deve ser transportado até uma estação de tratamento, onde o líquido é separado dos poluentes e retorna ao lavador, para ser utilizado novamente no processo de controle, enquanto que os resíduos sólidos devem ser devidamente destinados conforme classificação da NBR 10.004.

Os lavadores podem ser classificados segundo algumas características, como: perda de carga, razão líquido/gás, forma de contato partícula/líquido. Um resumo de cada uma delas pode ser visualizado no Quadro 9.

**Quadro 9** - Parâmetros operacionais de alguns lavadores

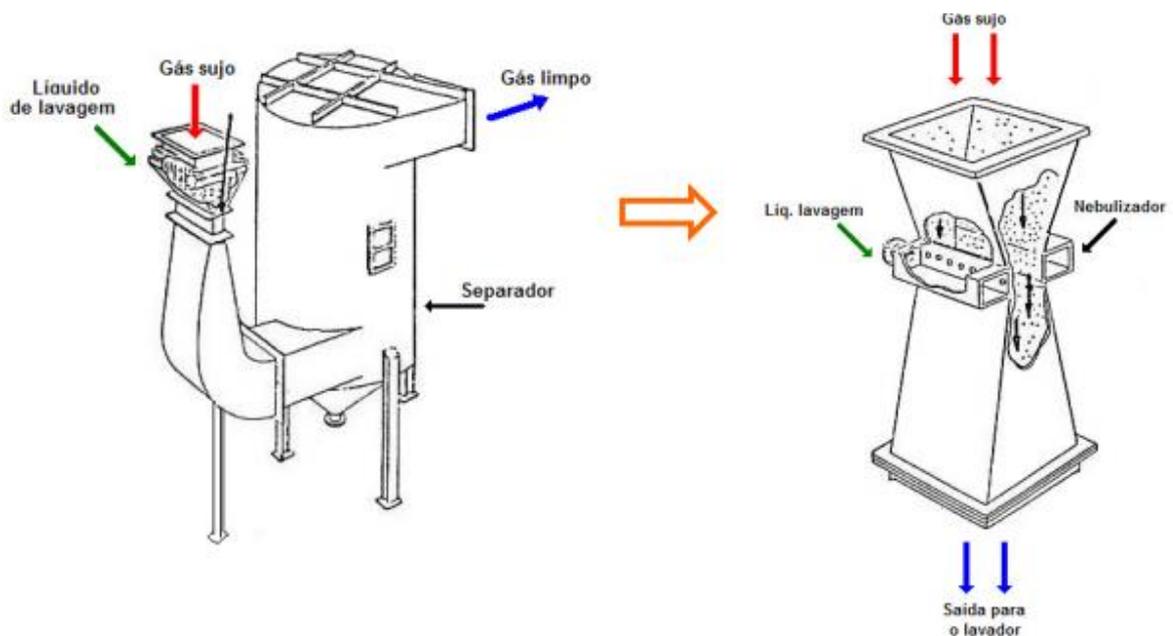
<b>Tipo de Lavador</b>	<b>Velocidade do gás (cm/s)</b>	<b>Perda de carga (mm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>Razão Líquido/Gás (L/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Eficiência para partículas &lt; 2 µm</b>
<b>Câmara de spray gravitacional</b>	90 a 150	2,5	0,3 a 2	Baixa
<b>Ciclônico</b>	100 a 250 (na câmara)	6 a 15	0,4 a 0,7	Média
<b>Auto-induzido</b>	1.500 a 10.000 (no orifício)	10 a 25	1,3 a 5,3	Média
<b>Venturi</b>	6.000 a 18.000	25 a 250	0,3 a 1,3	Alta

Fonte: Suhara, 1997.

Os lavadores do tipo Venturi estão entre os mais utilizados, devido a sua alta eficiência, fácil operação e necessidade de espaço reduzido. São formados por três seções principais: “uma seção convergente, a garganta e a seção divergente”. O fluxo gasoso entra na seção convergente e aumenta sua velocidade, devido à diminuição da área. Aproveitando-se disso, a água ou solução alcalina é introduzida na garganta ou na seção convergente, dependendo de cada projeto (CETESB, 2017).

Segundo CETESB (2017), ao passar pela garganta, o gás se move a uma velocidade elevada, misturando-se com a névoa de água ou solução e realizando a remoção das partículas e gases. Ao chegar à seção divergente a velocidade diminui e as partículas podem ser coletadas, geralmente com o auxílio de algum coletor ciclônico, conforme Figuras 12 A e B.

**Figura 12 - Lavador Venturi.**



**A)** Lavador Venturi acoplado a um separador ciclônico

**B)** Detalhe do Lavador Venturi

Fonte: UFSC (2007).

Para Fernandes (2003), dentre as principais vantagens desse sistema, tem-se que podem ser utilizados em partículas aderentes e gases a altas temperaturas e umidade, apresentando boa eficiência. Entretanto, possui um elevado custo de instalação e operação, pois quanto maior a eficiência desejada, maior o consumo de energia, também precisa ser feito com materiais resistentes à corrosão e possui vida útil mais curta, devido à umidade. Outro ponto a ser levado em consideração é que o material coletado está úmido, e caso haja intenção de reutilizá-lo, deve passar por tratamento adequado, o que nem sempre vale a pena (UFSC, 2007).

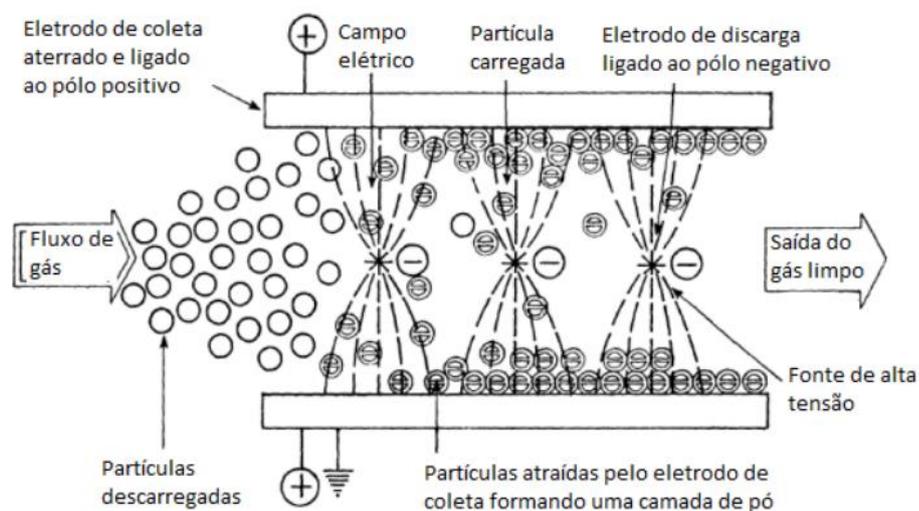
Ainda conforme Fernandes (2003) ocorre a formação de pluma visível nos dias frios, devido à condensação da umidade e é essencial o tratamento dos efluentes líquidos gerados, o que tem um custo intrínseco.

No “Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível” (CETESB, 2017) considera-se que os lavadores de gases, especialmente do tipo Venturi são considerados MTPD, entretanto, caso a região ou empreendimento possua restrição à disponibilidade de água, é importante reduzir o volume de águas residuais, investindo em tratamentos que permitam a reciclagem dos líquidos de lavagem. Se ainda assim não for suficiente, pode ser necessária a escolha e instalação de outro equipamento de controle da poluição, uma vez que não é possível operar os lavadores sem água ou outra solução de interesse.

#### 4.10.2.2.5 Precipitadores eletrostáticos

Os precipitadores eletrostáticos usam forças eletrostáticas em sua operação, ionizando as partículas presentes no fluxo gasoso, que ao passarem entre os eletrodos que formam o campo eletrostático, são atraídas para eles, onde podem descarregar e cair, ou ficarem aderidas, sendo necessário à sua retirada, por meio de vibrações ou impactos na placa de coleta, conforme Figura 13 (FERNANDES, 2003).

**Figura 13** - Processo de captação do material particulado dentro do precipitador eletrostático.



Fonte: SBAI (2015).

Conforme Fernandes (2003), um dos parâmetros que deve ser sempre observado na operação destes equipamentos é a resistividade elétrica, pois se for muito baixa, as partículas são rapidamente carregadas e descarregadas também, o que dificulta a sua remoção, pois as partículas ficam aderidas às placas por pouco tempo. Caso a resistividade seja muito alta, a aderência das partículas é tão forte que é difícil retirá-las, havendo um acúmulo nas placas, que podem perder a tensão. Em ambos os casos, o funcionamento e eficiência do equipamento fica prejudicado.

Outro ponto a ser observado atentamente é a composição química das emissões atmosféricas a serem tratadas, pois alguns componentes podem afetar prejudicialmente seu funcionamento, como por exemplo: Alumínio, Arsênio, Cálcio, Ferro, entre outros (FERNANDES, 2003).

Segundo CETESB (2017), os precipitadores funcionam em uma ampla gama de condições, podendo ser classificados de diferentes formas, conforme algumas delas. A primeira delas é com relação à voltagem utilizada, os de baixa voltagem trabalham entre 8 e 35 kV, enquanto os de alta voltagem operam entre 35 e 75 kV. O formato dos eletrodos também pode variar, sendo tubulares ou em placas e a operação de carregamento pode ser feito em apenas um estágio, quando ambos são feitos simultaneamente, ou dois estágios, quando primeiro é feito o carregamento e posteriormente é realizada a coleta. A maioria dos precipitadores trabalha a seco, mas para determinados casos específicos os úmidos podem ser empregados.

Para Fernandes (2003), os precipitadores eletrostáticos podem atingir uma eficiência de até 99,9%, dependendo da quantidade de estágios em que opera, as dimensões que possui e demais características determinadas caso a caso pelo empreendedor. Essa eficiência independentemente do tamanho das partículas e da temperatura de operação, mas a resistividade deve sempre manter-se entre  $10^7$  e  $10^{10}$  ohm.cm, considerada faixa ideal.

Fernandes (2003) diz que, apesar do alto investimento inicial, o custo operacional e de manutenção é baixo, alcançando uma vida útil de até 20 anos. Possui uma alta eficiência de coleta, que pode ser aumentada pela inclusão de novos módulos, capta partículas muito pequenas, sólidas ou líquidas, que dificilmente seriam coletadas por outros equipamentos. Também é capaz de processar altas vazões de gases, com alta pressão, altas temperaturas (até 650°C) e diferentes concentrações.

Entretanto, como desvantagens, há a necessidade de grandes áreas disponíveis para a sua instalação e treinamentos rígidos com os operadores envolvidos, pois os riscos envolvendo choques elétricos e explosões estão presentes. Além disso, não são adequados caso os poluentes apresentem resistividades muito baixa ou alta ou ocorra muita variação das condições dos gases, pois seria necessário um controle rigoroso (Fernandes, 2003).

Para CETESB (2017), os precipitadores eletrostáticos são considerados “melhor tecnologia prática disponível” principalmente se tratando de material particulado, mas no caso de outros poluentes é recomendado seu uso em conjunto com outros equipamentos, por exemplo, para abatimento de gases.

#### **4.10.2.3. Procedimentos para controle de emissões fugitivas**

Existem também procedimentos para redução das emissões fugitivas de material particulado, sendo aqui consideradas as poeiras fugitivas de vias, geradas pela movimentação de veículos, como ocorre numa central dosadora de concreto.

##### **4.10.2.3.1 Umectação de pilhas e vias**

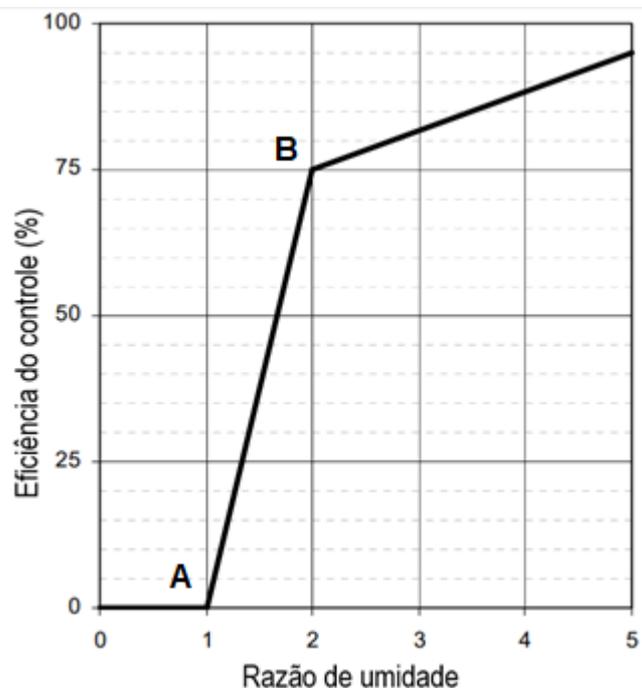
Conforme o Capítulo 13, seção 2.2 da AP-42 (USEPA, 2006), o processo de umectação é o mais simples e barato, uma vez que se trata apenas da aspersão de água sobre locais com potencial para emissões atmosféricas, como pilhas de agregados e vias de passagem.

Funciona pelo princípio de que a rega aumenta o teor de umidade, que conglobera as partículas e reduz sua probabilidade de entrar em suspensão ao movimentar os agregados ou ao passarem os veículos sobre sua superfície (USEPA, 2006).

Segundo a USEPA (2006), o funcionamento da umectação possui uma eficiência relativa, dependendo principalmente do tempo que o local de aplicação permanecerá úmido, o que por sua vez também depende de alguns fatores: a quantidade de água relativa à superfície de contato aplicada por vez, a frequência da aspensão, a quantidade e características dos veículos que irão transitar no local entre cada aplicação, o tamanho do terreno e as condições meteorológicas instantâneas, que determinam o tempo de evaporação da água aplicada.

A Figura 14 exemplifica a eficiência do controle das emissões atmosféricas em vias não pavimentadas, obtida com base na relação de umidade, resultado da divisão do teor de umidade da via umectada, pelo teor de umidade da via não alterada.

**Figura 14** - Relação entre eficiência do controle de emissão atmosférica em razão da quantidade de água aplicada nas vias não pavimentadas



Fonte: Adaptado de USEPA (2006).

Na Figura 14, tem-se que a aplicação de água para umectação da via não pavimentada inicia-se no ponto “A”. A partir desse ponto inicial, até chegar no ponto “B”, ou seja, até alcançar uma razão de umidade de 2 - quando o teor de umidade da via umectada é o dobro da umidade original - um pequeno acréscimo na água aplicada resulta em um aumento considerável na eficiência, rapidamente alcançando o patamar de 75%. Entretanto, ao continuar umedecendo a via além do ponto “B”, a eficiência de controle das emissões atmosféricas aumenta a uma velocidade menor, até os 95% (USEPA, 2006).

Cabe ressaltar que, conforme Resende (2007), ao fazer a aspersão de água, no mínimo diariamente, nas vias de tráfego de veículos, torna-se necessário realizar a limpeza de seus pneus antes de sair da área do empreendimento, pelo fato de que o resíduo neles aderido se desprende nas ruas e após a secagem, se torna nova fonte de poluição atmosférica, pois é ressuspensa pelo vento.

Conforme USEPA (2006), outro ponto é que ao aspergir água em demasia, apesar de reduzir significativamente as emissões geradas, haverá a geração de efluentes líquidos, que deverão ser coletados e tratados pelo empreendedor (RESENDE, 2007).

Caso haja restrição de recursos hídricos disponíveis, pode ser necessário utilizar outros métodos de controle, uma vez que dependendo das condições locais, como temperatura e umidade do ar, a via seca mais rapidamente e a aspersão precisa ser feita com maior frequência, diversas vezes em uma única hora. Nesse caso, estabilizadores químicos são uma boa opção, pois reduzem significativamente a frequência de aplicação necessária, chegando a diversas semanas entre as aplicações.

#### *4.10.2.3.2 Estabilizadores químicos para pilhas e vias*

Os estabilizadores químicos ou os comumente chamados supressores de poeiras são substâncias químicas, geralmente polímeros, diluídos em água para formação de uma solução aquosa, que é borrifada sobre o solo ou outra área de interesse. A forma de atuação desses produtos pode se dar ao formar uma película protetora sobre o local, que permanece após a evaporação da água presente, ao aglomerar o material que caso contrário seria lançado na atmosfera, ou até captar umidade da atmosfera e assim dificultar a ação do vento (ARAÚJO et al., 2010).

Segundo Nazareno, et al. (2018), polímeros modernos costumam ser elaborados a partir de uma série de substâncias de origem vegetal, como “seiva de árvores, cana de açúcar, casca de laranja”, entre outros, sendo atóxicos e biodegradáveis, levando à substituição de outras substâncias químicas utilizadas tradicionalmente.

A USEPA (2006) determina que a vantagem desses produtos sobre a umectação regular, é o consumo de água consideravelmente menor, sendo uma boa opção para locais onde há restrição em seu uso. Nazareno, et al. (2018), ressalta que, outro ponto a ser considerado, é que ao permitir maiores intervalos de aplicação, há uma economia de combustível, no caso de o produto ser aplicado utilizando caminhões pipa, e melhor aproveitamento de mão de obra e caminhões, que podem ser realocados para outras atividades durante esse período em que estariam ocupados com as constantes umectações.

Como contrapartida, tem-se que a aplicação de polímeros necessita um investimento maior, uma vez que o custo do produto varia de U\$ 0,50 a U\$2,00 o litro, enquanto a água, que dependendo da atividade pode ser de reuso, possui um custo insignificante (Nazareno, et al., 2018).

Pelas diferentes variáveis, a estimativa da eficiência do uso de controles químicos é difícil, entretanto alguns estudos feitos nos USEPA em vias não pavimentadas demonstram que a eficiência no controle de emissões de MP<sub>10</sub> chega a 80%, quando aplicado em intervalos de até um mês (USEPA, 2006).

#### *4.10.2.3.3 Uso de Anteparos (Windbreaks ou Windfence)*

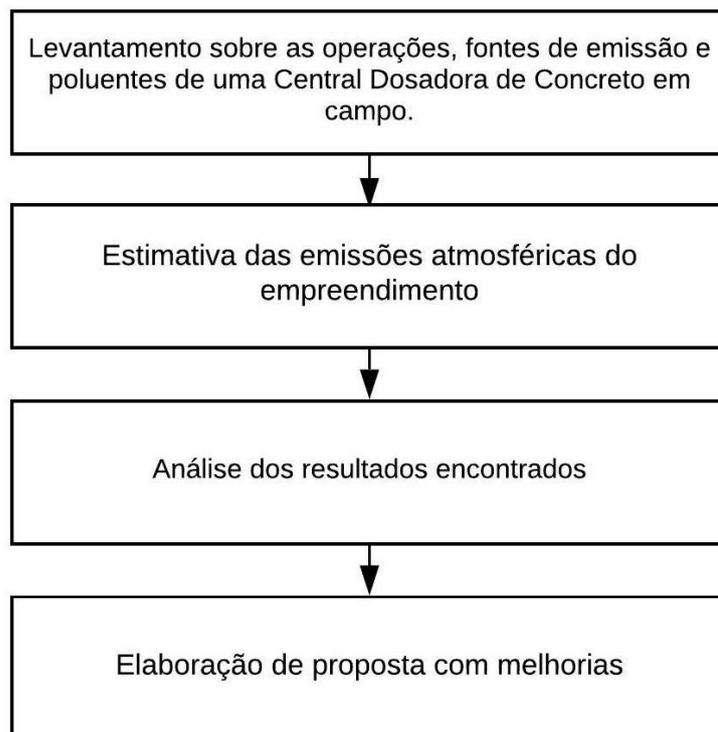
Segundo Fernandes (2003), uma forma de controle das emissões fugitivas é através da impactação, ou seja, o uso de anteparos estrategicamente posicionados, que irão impedir as partículas de seguir o caminho do fluxo gasoso. Apesar do simples funcionamento, USEPA (1995) ressalta que em muitos casos, o uso desses anteparos não é muito prático, devido ao tamanho que devem possuir dependendo da situação encontrada no empreendimento.

## 5. METODOLOGIA

Neste trabalho foi elaborado um estudo de caso, no qual foram feitas pesquisas em literatura específica e sistematizada na internet, com levantamento dos temas relacionados, para posteriormente passar à pesquisa de campo.

Os dados de campo foram coletados a partir da observação sistemática da situação encontrada no empreendimento, sendo posteriormente analisados de forma qualitativa e quantitativa com relação aos resultados da pesquisa teórica. De forma geral, o desenvolvimento desse trabalho seguiu as etapas constantes na Figura 15.

**Figura 15** - Etapas do desenvolvimento do estudo.



Fonte: Elaboração própria (2020)

As etapas indicadas na Figura 15 serão constituídas das seguintes atividades:

**1. Levantamento sobre as operações, fontes de emissão e poluentes de uma Central Dosadoras de Concreto em campo:**

Realização de visita à central dosadora de concreto escolhida, localizada no município de São Paulo e licenciada pela CETESB. Inicialmente foi verificado o tipo de processo de preparação de massa de concreto, durante a visita foram identificadas as fontes de emissão decorrentes das operações realizadas e as medidas e equipamentos de controle de poluição utilizados. Em relação aos poluentes foi realizada pesquisa em referências bibliográficas.

**2. Estimativa das emissões atmosféricas do empreendimento:**

Conforme o levantamento realizado em visita a campo, será calculada a estimativa das emissões atmosféricas de cada uma das fontes e poluentes identificados, utilizando como métodos: os fatores de emissão do AP-42 e o software TANKS 4.09d disponibilizados pela USEPA, para obter a totalização das emissões de cada fonte do empreendimento.

**3. Análise dos resultados encontrados:**

Será realizada comparação entre a pesquisa teórica e as observações em campo, identificando as fontes de maior e de menor contribuição para cada poluente considerado, bem como as medidas de controle adotadas.

**4. Elaboração de proposta com melhorias:**

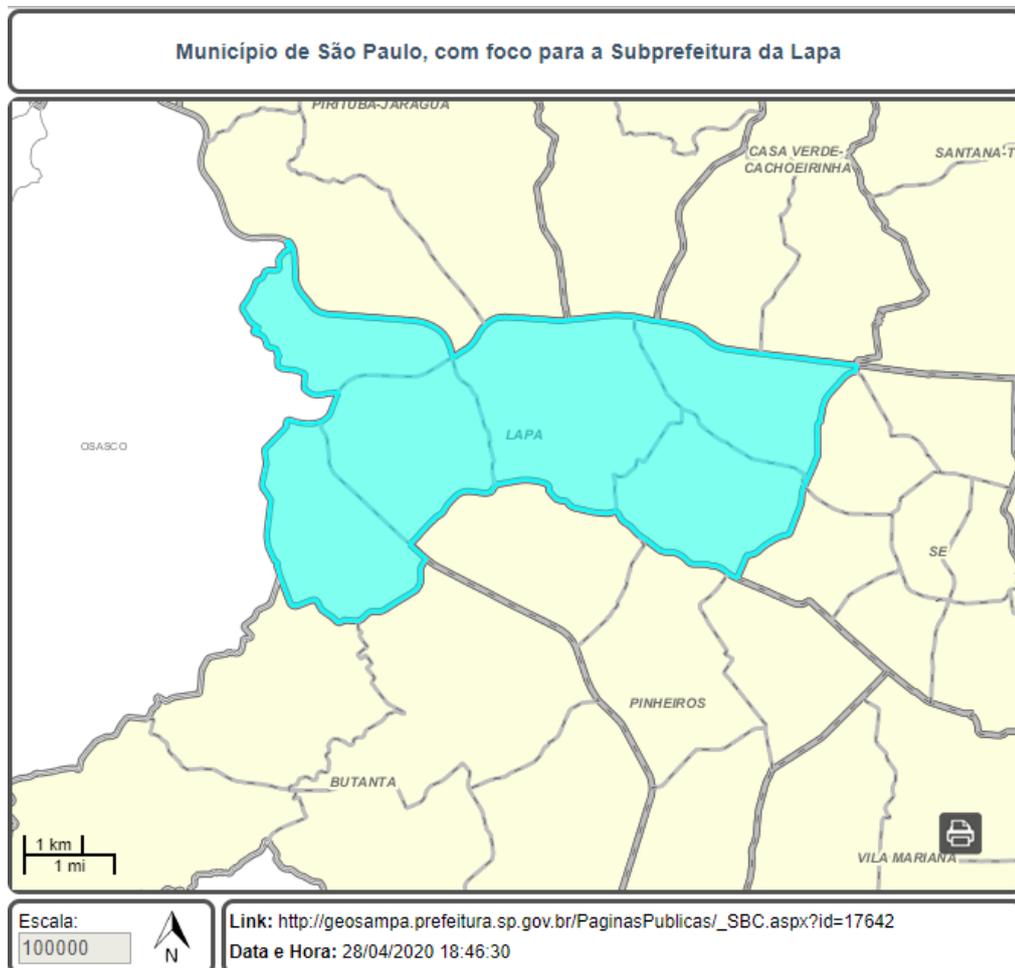
A partir das informações de campo e das estimativas realizadas, será elaborada proposta de melhorias no projeto, controle de processo, métodos de monitoramento ou operação, procedimentos, recomendações do fabricante, aquisição de novos equipamentos de controle e adoção de medidas de redução de emissão, com base em literatura e experiência de campo.

## 6. ESTUDO DE CASO

### 6.1. LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

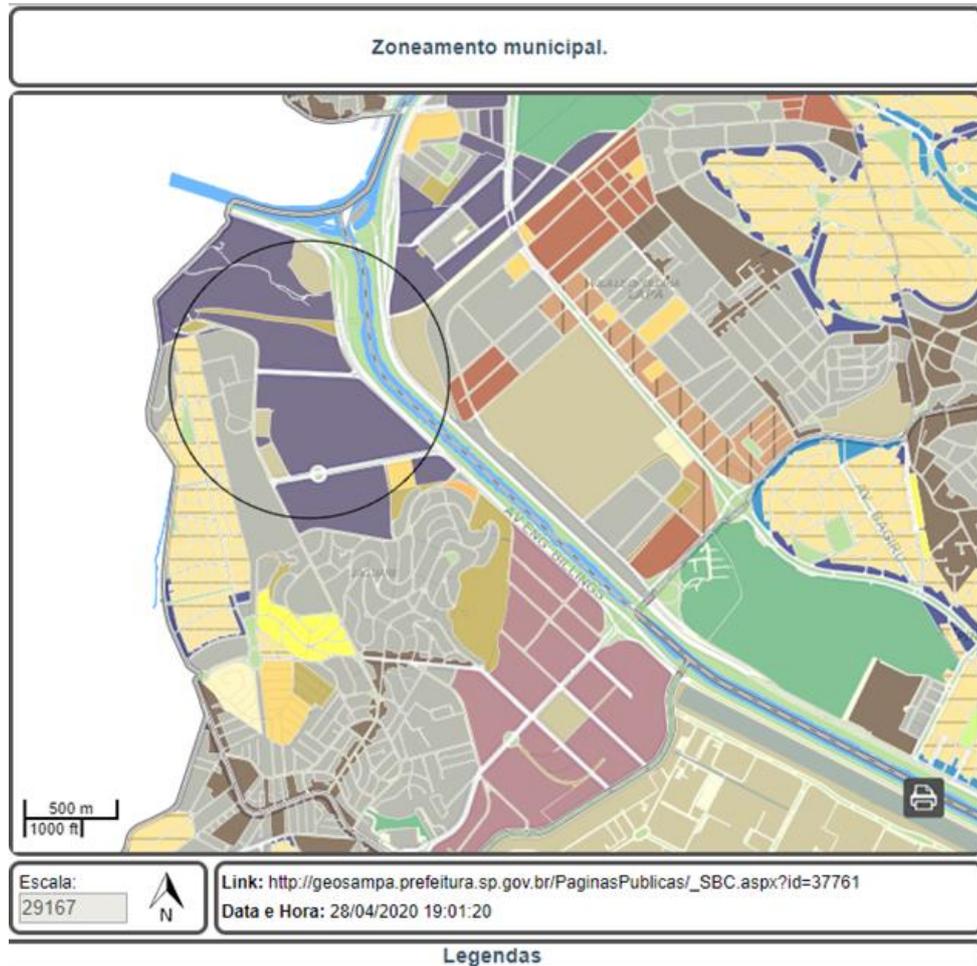
O empreendimento em estudo localiza-se no bairro do Jaguaré, pertencente à Subprefeitura da Lapa, na zona oeste do Município de São Paulo, região intensamente industrializada, mas que também apresenta alguns comércios nas proximidades, em acordo com o zoneamento municipal, conforme Figuras 16 e 17.

**Figura 16** - Subprefeitura da Lapa, que abrange o bairro do Jaguaré.



Fonte: GeoSampa (2020).

Figura 17 - Zoneamento municipal conforme descrito na Lei nº 16.402/2016.



Político-Administrativo		Perímetros das Zonas (1)		Municípios do Estado de São Paulo
	QUALIFICAÇÃO	TRANSFORMAÇÃO		
□ DIMSAMUNICÍPIOS	<b>ZCs</b>	<b>ZEU</b>		
■ HIDROGRAFIA	■ ZC	■ ZEU		
/// LOGRADOUROS	■ ZCa	■ ZEUa		
□ SUBPREFEITURAS	■ ZC-ZEIS	<b>ZEUP</b>		
□ DISTRITOS	<b>ZCOR</b>	■ ZEUP		
■ QUADRAS MÁRIAS	■ ZCOR-1	■ ZEUPa		
	■ ZCOR-2	<b>ZEM</b>		
	■ ZCOR-3	■ ZEM		
	■ ZCORa	■ ZEMP		
	<b>ZM</b>	<b>PRESERVAÇÃO</b>		
	■ ZM	<b>ZPR</b>		
	■ ZMa	■ ZPR		
	■ ZMIS	<b>ZER</b>		
	■ ZMISa	■ ZER-1		
	<b>ZEIS</b>	■ ZER-2		
	■ ZEIS-1	■ ZERa		
	■ ZEIS-2	<b>ZPDS</b>		
	■ ZEIS-3	■ ZPDS		
	■ ZEIS-4	■ ZPDSr		
	■ ZEIS-5	<b>ZEPAM</b>		
	<b>ZDE</b>	■ ZEPAM		
	■ ZDE-1	<b>ZEP</b>		
	■ ZDE-2	■ ZEP		
	<b>ZPI</b>	<b>ZOE</b>		
	■ ZPI-1			
	■ ZPI-2			
	<b>CLUBES</b>	<b>PRACASE CANTEIROS</b>		
	■ AC-1	■ Praça/Canteiro		
	■ AC-2			

Fonte: GeoSampa (2020).

Segundo a “Lei nº 16.402/2016 (SÃO PAULO, 2016), que disciplina o Parcelamento, o Uso e a Ocupação do Solo no Município de São Paulo”, ilustrado na Figura 17, o local é classificado como ZPI-1, ou seja, Zona Predominantemente Industrial 1, que aceita áreas destinadas para usos que não são residenciais, em concordância com a atividade de preparação de massa de concreto.

Por estar inserido no Município de São Paulo, o empreendimento também pertence a Região de Controle 01, conforme classificação do PREFE 2014 (CETESB, 2014). Essa região possui metas de redução de 20,5% para o O<sub>3</sub> e 4,8% do Material Particulado, entretanto, o empreendimento em estudo não é considerado alvo do PREFE, não constando no Anexo D – Lista de Empresas Elencadas no PREFE.

## 6.2. DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE PROCESSAMENTO

A central dosadora de concreto está instalada em terreno com total de 27.500 m<sup>2</sup> e 1.200 m<sup>2</sup> de área construída, conforme Figura 18, com Licença de Operação emitida pela CETESB para produção anual de até 120.000 m<sup>3</sup> de concreto.

**Figura 18** - Imagem da central dosadora de concreto vista de cima.



Fonte: Google Maps (2020).

Para a operação, o empreendimento conta com 27 veículos de grande porte, entre caminhões betoneira, bombas estacionárias e pá carregadeira, e 45 integrantes no total, 05 no setor administrativo e 40 de produção, operando das 7h às 18h.

Após a delimitação dos traços que serão utilizados para as obras e a qualificação dos fornecedores junto ao departamento técnico da matriz, são encomendados os materiais necessários.

Depois de passarem pelo processo de recebimento, que inclui a pesagem do caminhão, conferência visual do agregado comparando-o com a amostra padrão e coleta de amostra, são descarregados no local correspondente para cada material. Agregados graúdos e miúdos são armazenados em uma das seis baias, aditivo em tanques e o cimento e a escória, quando utilizada, em silos, conforme Figuras 19 e 20.

**Figura 19** - Baias para armazenamento dos agregados.



Fonte: Arquivo próprio (2020).

**Figura 20** - Silos para armazenamento de cimento e escória.



Fonte: Arquivo próprio (2020).

O recolhimento da brita e areia das baias é realizado com uma pá carregadeira, que os deposita em uma das duas moegas existentes. O material é então transportado pela esteira até a P5 ou P6 (caixa de agregados com cinco ou seis compartimentos), onde será pesado de maneira automatizada conforme o traço desejado, como pode ser visualizado na Figura 21.

**Figura 21** – Moega nº 02, esteira transportadora e P5.



Fonte: Arquivo próprio (2020).

Após a pesagem dos materiais, eles seguem por outra esteira até um dos dois pontos de carga, onde serão inseridos no balão da betoneira, juntamente com a água, o cimento, e eventualmente escória, que são dosados em paralelo. Após o carregamento do balão e tempo mínimo de mistura, o caminhão se desloca ao redosador, onde é feita a complementação de água da mistura e inspeção visual das características do concreto antes da saída para a entrega, como se vê nas Figuras 22 e 23.

**Figura 22** - Ponto de carga com caminhão posicionado.



Fonte: Arquivo próprio (2020).

**Figura 23** - Redosador.



Fonte: Arquivo próprio (2020).

Durante o momento do carregamento e transporte do concreto, o balão permanece em movimento, com velocidade e direção seguindo as orientações da NBR 7212 (ABNT, 2012).

Ao retornar da obra, o caminhão betoneira realiza o procedimento chamado de “baterlastro”, no qual é feita a limpeza interna do balão, removendo resíduos que possam estar aderidos nas chapas ou até concreto, no caso de devolução por parte do cliente.

No bate lastro, o efluente gerado é direcionado às chamadas caixas de decantação onde permanece até que o resíduo de areia, brita e cimento decante, formando um lodo. Com a ajuda da pá carregadeira, o lodo é removido diariamente e disposto na caixa de secagem, onde permanece ao ar livre até secar e ficar no estado sólido, momento no qual é destinado para reprocessamento em local terceirizado, o que pode ser visualizado na Figura 24.

**Figura 24** - Pá carregadeira realizando a limpeza das caixas de decantação.



Fonte: Arquivo próprio (2020).

A central é dotada de um posto de abastecimento, pois ao final de cada dia, os caminhões betoneira e pá carregadeira são abastecidos com diesel para manter o tanque de combustível sempre cheio, conforme Figura 25.

**Figura 25** - Tanque de diesel e local onde é feito o abastecimento dos veículos.



Fonte: Arquivo próprio (2020).

Semanalmente é feito o procedimento de rampa, no qual o equipamento é colocado em uma plataforma e inspecionado minuciosamente, realizando a lubrificação dos componentes, calibração dos pneus, reposição de peças danificadas e troca de óleo do equipamento. A rampa é conectada ao Sistema Separador de Água e Óleo (SSAO), onde ocorre o tratamento do efluente gerado e seu armazenamento até devida destinação por empresa terceirizada e devidamente licenciada, como é visualizado nas Figuras 26 e 27.

**Figura 26** - Rampa onde é feita a manutenção dos veículos



Fonte: Arquivo próprio (2020)

**Figura 27** - Caixa Separadora de Água-Óleo conectada à rampa.



Fonte: Arquivo próprio (2020).

### 6.3. IDENTIFICAÇÃO DAS FONTES DE EMISSÃO DO EMPREENDIMENTO

As fontes de emissão observadas no empreendimento em estudo foram classificadas em fixas, fugitivas, evaporativas e abertas. Devido à tipologia da atividade, não foi verificada nenhuma fonte de combustão, de modo que não foram identificadas fontes fixas na planta. No Quadro 10 estão apresentadas as fontes de emissão encontradas, as quais farão parte das estimativas.

**Quadro 10** - Classificação e características das principais fontes de emissão do empreendimento.

<b>Classificação</b>	<b>Poluente</b>	<b>Características das principais fontes de emissão</b>
<b>Evaporativas</b>	COVs (*)	- Tanque de armazenamento de diesel para abastecimento dos veículos da frota
<b>Fugitivas</b>	MP (**) Metais (***)	- Carregamento do silo de cimento, que é feito por transferência pneumática, utilizando mangotes para fazer a conexão entre a carreta e o silo - Descarga dos agregados do caminhão para o solo para organização em baias - Armazenamento dos agregados em baias abertas - Carregamento na moega e caixa de agregados - Transporte de agregados nas esteiras - Carregamento da betoneira no ponto de carga para preparação da massa de concreto - Trânsito dos veículos nas <u>vias pavimentadas</u> - Central dosadora de concreto (***)
<b>Abertas</b>	COVs	- Separador de Água e Óleo existente para tratar os efluentes provenientes da rampa
<b>Fixas</b>	-	Não identificadas

Fonte: Elaboração própria (2021).

(\*) COVs – Compostos Orgânicos Voláteis

(\*\*) MP – Material Particulado

(\*\*\*) Considerado somente na Central dosadora de concreto

#### **6.4. ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DA CENTRAL DOSADORA DE CONCRETO**

Para realizar a quantificação das emissões atmosféricas da central dosadora de concreto em estudo, foram selecionados os seguintes métodos:

##### **- Fatores de emissão disponibilizados pela USEPA AP-42**

A escolha levou em consideração inicialmente o fato de que grande parte das emissões atmosféricas são fugitivas, logo não há chaminés ou dutos para realizar amostragens representativas.

Também foram descartados os CEM, dispositivos de medição contínua, devido ao seu alto valor, o que neste momento não é viável, mesmo que apresentem resultados mais confiáveis.

Pelo fato de ser uma atividade simples, não há uma grande disponibilidade de parâmetros iniciais e finais, apenas os volumes de cada material utilizado na dosagem do concreto. Por esse motivo os métodos de balanço de massa foram desconsiderados, uma vez que poderiam apresentar erros.

Como os critérios de engenharia não são recomendados pela USEPA para esse tipo de fonte, optou-se por fazer a estimativa das emissões a partir dos fatores de emissão disponibilizados pela USEPA AP-42 (USEPA, 2011).

Os fatores de emissão também serão utilizados para a estimativa das emissões de fontes abertas.

##### **- Modelos de emissão**

Serão utilizados apenas para o cálculo das emissões da fonte evaporativa, referentes ao uso do tanque de diesel, uma vez que nesse caso é possível obter informações mais detalhadas e parâmetros iniciais que podem ser utilizados.

As emissões dos tanques de aditivos não serão calculadas, uma vez que apesar de estar com o ponto de ebulição dentro da faixa de volatilidade determinada na Decisão da Diretoria CETESB n° 10-P (CETESB, 2010), o produto não é considerado volátil, por ser uma mistura aquosa, sem hidrocarbonetos na composição, segundo informações disponibilizadas pelo fornecedor.

O Quadro 11 resume os principais aditivos utilizados no empreendimento, os componentes que possam contribuir para perigo e o ponto de ebulição inicial, conforme informado nas “Fichas de Informação de Segurança de Produtos Químicos – FISPQ”.

**Quadro 11** - Informações dos principais aditivos utilizados no empreendimento.

<b>Aditivo</b>	<b>Componente</b>	<b>Número CAS</b>	<b>Faixa de concentração (%)</b>	<b>Ponto de Ebulição inicial (°C)</b>
<b>MAXIFLUID M 3055X</b>	-	-	-	105
<b>MAXIFLUID NCA 108X</b>	Lignossulfonatos	8061-52-7 / 8061-51-6	5 a 25	105
<b>MATCHEM PX ESTABILIZADOR</b>	Açúcares	57-50-1	5 a 25	105

Fonte: Elaboração própria (2021).

#### **- Estimativa de emissão de fontes evaporativas**

A necessidade de abastecimento dos veículos dentro do empreendimento, leva à existência de um tanque, com capacidade para armazenamento de 15 m<sup>3</sup> de diesel, resultante nas emissões consideradas evaporativas.

O Quadro 12 informa o combustível utilizado no empreendimento, os componentes que possam contribuir para perigo e o ponto de ebulição inicial, conforme informado na “Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ”.

**Quadro 12** - Informações do combustível utilizado no empreendimento.

<b>Combustível</b>	<b>Componente</b>	<b>Número CAS</b>	<b>Faixa de concentração (%)</b>	<b>Ponto de Ebulição inicial (°C)</b>
<b>Óleo Diesel B S10</b>	Mistura de parafinas, cicloparafinas, hidrocarbonetos aromáticos e olefínicos, de cadeia C9 a C25.	68334-30-5	89,50 a 90,50	141

Fonte: Elaboração própria (2021).

Segundo a Decisão da Diretoria da CETESB nº 10-P (CETESB, 2010), o Ponto de Ebulição Inicial está na faixa considerada semivolátil. Para a estimativa dessas emissões, constituídas por Compostos Orgânicos Voláteis (COVs), será utilizado um modelo de emissão, o programa TANKS 4.09d, disponibilizado pela USEPA e conforme recomendado pela CETESB no Anexo II do “Plano de Redução de Emissões de Fontes Estacionárias: Guia de melhor tecnologia prática disponível” para Refinarias de Petróleo e Calcinação de Coque (CETESB, 2015).

Para aplicação do programa TANKS 4.09d, deve-se colocar as informações referentes à estrutura do tanque utilizado no empreendimento, condições meteorológicas caso o município não esteja previamente configurado e dados referentes aos produtos químicos armazenados (USEPA, 1999):

#### **- Dados da configuração e características do tanque**

Os dados estruturais do tanque que foram inseridos no programa são apresentados no Quadro 13. No caso de informações não disponibilizadas pelo empreendimento, como por exemplo, configurações de vácuo e pressão, foi mantido o valor padrão já configurado no programa.

**Quadro 13** - Informações estruturais do tanque

<b>Parâmetro</b>	<b>Dados inseridos para simulação</b>
<b>Tanque</b>	Horizontal
<b>Comprimento (m)</b>	5,28
<b>Diâmetro (m)</b>	1,910
<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	15
<b>Giros (turnover)</b>	52
<b>Movimentação (m<sup>3</sup>/ano)</b>	780
<b>Tanque aquecido</b>	Não
<b>Tanque enterrado</b>	Não
<b>Cor</b>	Branco
<b>Condição da pintura</b>	Boa
<b>Vácuo (psig)</b>	-0,03
<b>Pressão (psig)</b>	0,03

Fonte: Elaboração própria (2021)

#### **- Dados meteorológicos**

Como o município de São Paulo/SP não faz parte das configurações originais do programa TANKS 4.09d, é necessário fazer a sua inclusão manual, informando a temperatura média diária, pressão atmosférica, temperaturas máximas e mínimas médias, a radiação solar global média e velocidade média do vento a cada mês, além da média anual, para cada parâmetro.

Para esse preenchimento, os dados meteorológicos utilizados foram retirados do “Sistema de Informações da Qualidade do Ar da CETESB – QUALAR” (CETESB, 2021), utilizando os valores mensais dos três últimos anos, captados pela estação meteorológica localizada na Avenida Embaixador Macedo Soares, 12889, São Paulo, devido a sua proximidade com o empreendimento em estudo.

Os dados meteorológicos verificados no “Sistema de Informações da Qualidade do Ar da CETESB – QUALAR” (CETESB, 2021) estão disponíveis no Anexo A do presente trabalho. Os dados foram compilados e inseridos no programa TANKS 4.09d conforme Figura 26.

**Figura 26** - Dados meteorológicos informados para cadastro do município de São Paulo no programa TANKS.

Month	Daily Maximum Ambient Temp. (F)	Daily Minimum Ambient Temp. (F)	Solar Insulation Factor (Btu / (ft <sup>2</sup> *day))	Average Wind Speed (mph)
JAN	85,4	69,3	1716,9	4,8
FEB	81,7	67,9	1531,7	4,8
MAR	83,5	67,9	1582,5	4,6
APR	80,7	65,1	1404,9	4,3
MAY	76,7	60,9	1214,7	4,3
JUN	75,5	60,8	1019,5	3,8
JUL	75,6	57,7	1197	4,0
AUG	73,9	57,7	1179,2	4,6
SEP	80,4	62,7	1354,2	4,9
OCT	81,3	64,6	1562,2	5,1
NOV	80,6	64,7	1676,3	5,3
DEC	84,4	68,0	1780,3	5
ANN	79,9	64	1435,4	4,6

Fonte: Dados meteorológicos de entrada do Programa TANKS 4.09d (2021)

### - Dados do produto armazenado

Ao preencher as informações sobre o conteúdo do tanque, informou-se que se trata de um destilado de petróleo com um único componente, com o nome químico Distillate fuel oil n° 2, o qual já consta na base de dados do programa e é equivalente ao diesel utilizado no empreendimento. As informações físico-químicas da substância são automaticamente preenchidas, conforme Figura 27.

**Figura 27** - Informações inseridas no programa TANKS referente ao produto usado no tanque.

Horizontal Tank

Identification | Physical Characteristics | Site Selection | Tank Contents | Monthly Calculations

Chemical Category of Liquid: Petroleum Distillates

Single or Multi-Component Liquid: Single

Chemical Name: Distillate fuel oil no. 2

CAS Number:

Average Liquid Surface Temperature (F):	72,438942
Minimum Liquid Surface Temperature (F):	67,868816
Maximum Liquid Surface Temperature (F):	77,009068
Bulk Liquid Temperature (F):	70,52
Vapor Pressure (psia) at Liquid Surface Temperature:	0,0097
Liquid Molecular Weight:	188
Vapor Molecular Weight:	130

Calculate Mixture Properties

Delete Mixture

Next Mixture >

< Previous Mixture

Add Mixture

Mixture 1 of 1

Copy Run Report Save Close Help

Fonte: Dados de entrada do produto no Programa TANKS 4.09d (2021)

### - Totalização das emissões

Para finalizar a simulação das emissões atmosféricas do tanque, foram informados os meses de operação do empreendimento, que atualmente funciona de maneira semelhante em todos os meses do ano. O relatório foi emitido com base nas emissões anuais para evitar possíveis distorções mensais, uma vez que não é possível precisar exatamente as variações nas emissões de cada mês do ano.

O relatório anual final apontou emissões conforme Tabela 1.

**Tabela 1** - Resultados referentes a emissão do tanque de diesel.

<b>Parâmetros</b>	<b>Dados</b>
<b>Produto Armazenado</b>	Óleo diesel (Distillate fuel oil n° 2)
<b>Tanque</b>	Horizontal, em boas condições
<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	15
<b>Volume (gal)</b>	3.962,5808
<b>Movimentação (m<sup>3</sup>/ano)</b>	780
<b>Movimentação (gal/ano)</b>	206.054,201
<b>Emissões totais (lb/ano)</b>	5,44
<b>Emissões totais (t/ano)</b>	0,002

Fonte: Dados de saída da simulação no Programa TANKS 4.09d – Elaboração própria (2021).

As informações completas referentes aos resultados das emissões do tanque de diesel estão disponíveis no Anexo A do presente trabalho.

#### **6.4.1. Estimativa de emissão de fontes fugitivas**

##### **6.4.2.1. Preparação de massa de concreto**

Após levantar os pontos onde ocorrem as emissões atmosféricas do processo produtivo do concreto, para quantificar essas emissões serão utilizados os fatores de emissão disponibilizados pela USEPA. Esses fatores, extraídos do Capítulo 11, seção 12 da AP-42 (USEPA, 2006), são resumidos no Quadro 14.

Todos os fatores de emissão descritos no Quadro 14 são expressos em quilograma (kg) de poluente, por tonelada (t) de material carregado, como brita, areia, cimento e adições, ou seja, materiais não convencionais, como sílica, pozolana, metacaulim, entre outros.

Ao fazer menção ao MP, o Quadro 14 generaliza o material particulado, entrando nessa categoria as partículas inaláveis finas (MP<sub>2,5</sub>), as partículas inaláveis (MP<sub>10</sub>), partículas totais em suspensão (PTS) e demais (USEPA, 1995).

Os fatores relacionados à movimentação da areia e brita, e carregamento na betoneira ou misturador são expressos em números e são de uso direto, sendo necessário apenas multiplicá-los pela quantidade de material em questão. Os demais fatores, relacionados ao tráfego de veículos, armazenamento de agregados e erosão pelo vento devem ser calculados utilizando a metodologia descrita em cada uma das seções da AP-42 apresentadas na sequência.

**Quadro 14** - Fatores de emissão para o cálculo das emissões atmosféricas de preparação de concreto.

Fonte	Fator de emissão - Sem controle (kg poluente/t material carregado)				Fator de emissão - Com controle (kg poluente/t material carregado)			
	Total MP(*)	Ranking	Total MP <sub>10</sub>	Ranking	Total MP	Ranking	Total MP <sub>10</sub>	Ranking
Movimentação de brita	0,0035	D	0,0017	D	ND		ND	
Movimentação de areia	0,0011	D	0,00051	D	ND		ND	
Carregamento do cimento ao silo de armazenamento	0,36	E	0,24	E	0,0005	D	0,00017	D
Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento	1,57	E	0,65	E	0,0045	D	0,0024	E
Carregamento da balança de agregados	0,0026	D	0,0013	D	ND		ND	
Carregamento do caminhão betoneira (para centrais dosadoras)	0,286	B	0,078	B	0,0092	B	0,0028	B
Carregamento do misturador (para centrais misturadoras)	0,559	B	0,155	B	0,049	B	0,0131	B

(\*) MP = Material particulado

Fonte: Adaptado de USEPA (2006)

Para poder realizar a comparação e verificação as emissões totais da central dosadora ao longo de um ano, torna-se necessário multiplicar os valores unitários pela produção anual média.

O empreendimento é licenciado para a produção anual de 120.000 m<sup>3</sup>/ano. Considerando que segundo Pedroso (2009), a densidade do concreto normal comumente encontrado nas obras varia em torno de 2.000 kg/m<sup>3</sup> a 2.800 kg/m<sup>3</sup>, para os cálculos será utilizado o valor de 2.400 kg/m<sup>3</sup>, o que resulta em 288.000.000 kg/ano ou 288.000 t/ano de concreto dosado em central.

**- Movimentação de Brita:**

A quantidade de agregado graúdo carregado por ano corresponde a aproximadamente 66% da produção total, segundo informação repassada pela empresa, com base na produção de 2019. Logo, o valor utilizado nas estimativas foi de 190.080 t/ano.

Como o processo possui algumas medidas de controle, mas não na totalidade das operações, foi selecionado o fator de emissão sem controle.

**- Movimentação de areia:**

A quantidade de agregado miúdo carregado por ano corresponde a aproximadamente 63% da produção total, segundo informação repassada pela empresa com base na produção de 2019. Com isso, o valor utilizado nas estimativas foi de 181.440 t/ano.

Como o processo possui algumas medidas de controle, mas não na totalidade das operações, foi selecionado o fator de emissão sem controle.

**- Carregamento do cimento ao silo de armazenamento:**

Segundo informado pelo empreendimento, o consumo de cimento foi de quase 14% em 2019. Assim, as estimativas serão feitas com base em um consumo de 40.000 t/ano.

**- Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento:**

O empreendimento utiliza escória como adição ao cimento em alguns momentos, com a quantidade consumida dependendo dos traços selecionados. Uma estimativa do consumo de escória é de 20% do cimento utilizado, ou seja, 8.000 t/ano.

**- Carregamento da balança de agregados:**

Todos os agregados utilizados tiveram de ser pesados na balança, por essa razão, o valor considerado é a somatória do total consumido de brita e areia, sendo 371.520 t/ano.

**- Carregamento do caminhão betoneira (para centrais dosadoras):**

Toda a produção do empreendimento é feita através do carregamento dos caminhões betoneiras, assim, o valor considerado é de 288.000 t/ano.

**- Carregamento do misturador (para centrais misturadoras):**

O empreendimento em estudo não possui centrais misturadoras, por essa razão, não serão consideradas as emissões geradas nesta categoria.

**- Resultado da estimativa para a operação de preparação da massa de concreto:**

As estimativas totais das emissões referentes a preparação de massa de concreto são disponibilizadas na Tabela 2.

**Tabela 2** - Resumo da estimativa de emissões para a operação de preparação da massa de concreto

Fonte de emissão	Fator de emissão da USEPA (kg poluente/t material carregado) (*)	Material carregado (t/ano)	Emissão (kg MP/ano)	Emissão (t MP/ano)
Movimentação de brita	0,0035	190.080	665,28	0,665
Movimentação de areia	0,0011	181.440	199,584	0,199
			<b>Total</b>	0,864
Carregamento do cimento ao silo de armazenamento	0,36	40.000	14.400	14,400
Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento	1,57	8.000	12.560	12,560
Carregamento da balança de agregados	0,0026	371.520	965,952	0,965
Carregamento do caminhão betoneira (para centrais dosadoras)	0,286	288.000	82.368	82,368
			<b>Total</b>	110,293
			<b>Total geral</b>	111,157

(\*) MP = Material particulado

Fonte: Elaboração própria (2021).

#### **6.4.2.2. Estimativa de emissão para vias pavimentadas**

As estimativas das emissões provenientes de vias pavimentadas estão disponíveis em USEPA (2011), na AP-42, seção 13.2.1.

De acordo com as orientações deste documento, para estimar a emissão da quantidade de partículas em suspensão, resultante do material solto na superfície das vias durante a passagem de veículos, em condições controladas, é usado um modelo empírico, conforme Equação (1):

$$E = k(sL)^{0,91}(W)^{1,02} \quad (1)$$

onde:

E = fator de emissão de material particulado em gramas por quilômetro viajado por veículo, (g/VKT);

k = coeficiente de multiplicação do tamanho da partícula (g/VKT), disponível no Quadro 15;

sL = peso do material de tamanho equivalente ao silte dividido pela área a ser transitada (g/m<sup>2</sup>);

W = média do peso dos veículos que transitam pela via (t).

**Quadro 15** - Valores para k, em g/VKT, dependendo do tamanho da partícula

Faixa de tamanho	Coeficiente de multiplicação k, em g/VKT
MP <sub>2,5</sub>	0,15
MP <sub>10</sub>	0,62
MP <sub>15</sub>	0,77
MP <sub>30</sub>	3,23

Fonte: Adaptado de USEPA (2011)

Caso o valor de sL não possa ser calculado no empreendimento, a AP-42 (USEPA, 2011) fornece alguns valores pré-estabelecidos, disponíveis no Quadro 16.

**Quadro 16** - Valores para sL, em g/m<sup>2</sup>

Empreendimento	Quantidade de Silte (%)		Deposição total x 10 <sup>-3</sup> (kg/km)		Deposição de Silte (g/m <sup>2</sup> )	
	Faixa	Média	Faixa	Média	Faixa	Média
Central Dosadora de Concreto	5,2 - 6,0	5,5	1,4 - 1,8	1,7	11 - 12	12

Fonte: Adaptado de USEPA (2011)

#### - Resultado da estimativa de emissão de vias pavimentadas

Considerando que as partículas dispostas no solo são provenientes majoritariamente da areia e brita utilizada no processo produtivo, o tamanho delas se enquadra no MP<sub>30</sub>, ou seja, conforme o Quadro 15, o k a ser utilizado na fórmula é 3,23 g/VKT.

Como o empreendimento não possui valores próprios calculados de sL, será utilizado o valor fornecido pela EPA (2011) através do Quadro 17. Sendo assim, o valor adotado para sL será de 12 g/m<sup>2</sup>.

Com relação ao peso médio dos veículos que transitam no local de estudo, foram considerados os caminhões betoneira vazios, com concreto no balão e a pá carregadeira. A média desses veículos chegou a 15 toneladas, mas como a equação pede que o valor seja utilizado em toneladas americanas, foi convertido, chegando ao resultado de 16,53 toneladas.

Assim, tem-se que o fator de emissão pode ser calculado através da seguinte forma:

$$E = 3,23(12)^{0,91}(16,53)^{1,02}$$

Realizando os cálculos acima, tem-se um fator de emissão equivalente a  $E = 542,03 \text{ g/VKT}$ .

Cabe ressaltar que o valor obtido é para a situação em que não há controle das emissões atmosféricas.

Na central dosadora em estudo, ocorre a umectação constante do pátio, com o intuito de impedir tal geração. Considerando que o solo está constantemente encharcado, ao ponto de gerar efluente líquido, será considerada uma razão de umidade de 5, o que segundo o Capítulo 13, seção 2.2 da AP-42 (USEPA, 2006) acarreta uma eficiência de controle de até 95%.

Aplicando-se a eficiência de 95% resultante da umectação em demasia, o fator de emissão chega a  $E = 27,1015 \text{ g/VKT}$ .

A Tabela 3 apresenta os fatores de emissão estimados para essa fonte.

**Tabela 3** - Fatores de emissão estimados para emissão de vias pavimentadas

<b>Fonte</b>	<b>Emissão MP (sem controle) (g/VKT)</b>	<b>Emissão MP (com controle) (g/VKT)</b>
<b>Tráfego de veículos (vias pavimentadas)</b>	542,03	27,102

(\*) MP = Material particulado

Fonte: Elaboração própria (2021).

Para o cálculo das emissões totais provenientes do tráfego interno dos veículos, foram separados conforme suas atividades diárias.

A pá carregadeira não sai da central em nenhum momento, deslocando-se constantemente pelo pátio para carregar os materiais constituintes do concreto ou realizar atividades secundárias. O equipamento possui um documento interno da empresa chamado de Ficha Operacional, no qual constam diversas informações sobre o seu funcionamento, como por exemplo o número de horas trabalhadas por mês, que fica em torno de 215 h/mês.

Considerando que a pá carregadeira se desloca a uma velocidade média de 6 km/h, tem-se o deslocamento de 1290 km/mês.

As bombas de concreto, por outro lado, passam o dia todo instaladas nas obras, sem retornar ao empreendimento nesse meio tempo. Por isso, foi considerado apenas o trajeto de entrada e saída, que resulta em 240 metros a cada dia.

Como são três as bombas existentes, o deslocamento individual foi multiplicado por cada uma delas, assim como os dias trabalhados em um mês, chegando em 18 km/mês.

Os caminhões betoneiras, por outro lado, devem retornar à central ao fim de cada concretagem, fazendo em média três viagens por dia. Em cada retorno, há o deslocamento de aproximadamente 700 metros dentro do pátio.

Multiplicando-se o deslocamento individual por três viagens e por vinte e dois caminhões betoneiras, obtém-se a distância percorrida de 46,2 km/dia. Ao fim do mês, tem-se o total de 1.155 quilômetros.

Somando os deslocamentos de todos os veículos, ou seja, da pá carregadeira, das bombas de concreto e dos caminhões betoneira, tem-se o valor de 2.463 km/mês, que resulta em 29.556 km/ano.

Na Tabela 4 está apresentada a estimativa de emissão para essa fonte, a qual resulta de uma multiplicação simples entre o fator de emissão e a quilometragem total dos veículos. Foi considerado o fator de emissão com controle, uma vez que o empreendimento faz a umectação constante do piso.

**Tabela 4** - Estimativa de emissão de vias pavimentadas

Fonte de emissão	Fator de emissão estimado (MP com controle) (g/VKT) (*)	Emissão (g MP/ano)	Emissão (kg MP/ano)	Emissão (t MP/ano)
Vias pavimentadas	27,102	801.011,934	801,012	0,801
			<b>Total</b>	0,801

(\*) MP = Material particulado

Fonte: Elaboração própria (2021).

#### **6.4.2.3. Fatores de emissão para vias não pavimentadas**

As estimativas das emissões provenientes de vias não pavimentadas estão disponíveis em USEPA (2011), na AP-42, seção 13.2.2.

Entretanto, este tipo de emissão não será calculado no presente estudo, uma vez que a central dosadora de concreto em análise é completamente pavimentada, não havendo razão para este cálculo.

#### **6.4.2.4. Fatores de emissão da erosão eólica sobre os agregados**

As emissões provenientes da erosão eólica do armazenamento dos agregados e demais superfícies expostas dentro de uma planta industrial estão disponíveis na AP-42, seção 13.2.5. (USEPA, 2006).

Segundo USEPA (2006), essas fontes costumam ser caracterizadas por superfícies não homogêneas, com elementos maiores que 1 (um) centímetro de diâmetro. Outra característica é que a superfície possui uma quantidade finita de material erodível (menor que 1 centímetro de diâmetro), chamada de potencial de erosão, logo, qualquer material natural, ou não, que forme uma liga com o material erodível reduz o potencial de erosão.

Como o potencial de erosão é amplificado rapidamente com o aumento da velocidade do vento, caracterizando uma função não-linear, as emissões estimadas devem ser relacionadas às rajadas de vento de maior magnitude, não sendo aceito a aplicação de médias das velocidades disponíveis (USEPA, 2006). Para isso, podem ser consultados dados disponibilizados pelo “Sistema de Informações da Qualidade do Ar – QUALAR”, que disponibiliza para o público diversas informações sobre meteorologia e análises atmosféricas referentes ao Estado de São Paulo.

A USEPA (2006) determina que o perfil de velocidade do vento na camada limite da superfície segue um processo de distribuição logarítmico, conforme Equação (2):

$$u(z) = \frac{u^*}{0,4} \ln \frac{z}{Z_o} \quad (Z > Z_o) \quad (2)$$

onde:

$u$  = velocidade do vento (cm/s);

$u^*$  = velocidade de atrito (cm/s);

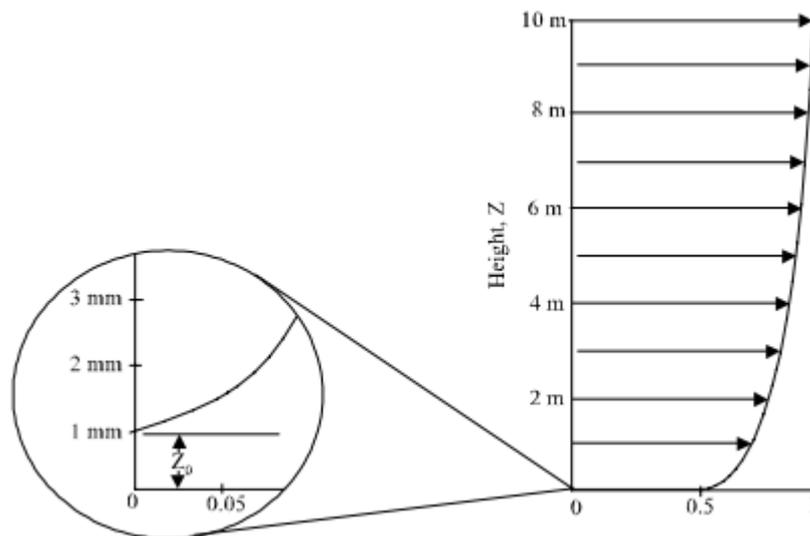
$Z$  = altura acima da superfície (cm);

$Z_o$  = altura da rugosidade (cm);

0,4 = constante de von Karman, sem dimensão.

A velocidade de atrito, descrita como  $u^*$ , é a medida da tensão de cisalhamento do vento na superfície erodível, conforme determinado a partir da inclinação do perfil de velocidade. A altura da rugosidade, por outro lado, pode ser entendida como a altura na qual a velocidade do vento é zero. Ou o ponto de intercepção da curva (representando a velocidade) no eixo da ordenada (representando a altura), conforme Figura 28.

**Figura 28** - Gráfico da velocidade x altura, focando na altura da rugosidade, representada por  $Z_0$ .



Fonte: USEPA (2006)

Conforme descrito pela USEPA (2006), algo que deve ser sempre levado em consideração é a frequência na qual ocorrem perturbações na superfície em estudo, uma vez que o potencial de erosão é restaurado com cada movimentação. No ambiente da central dosadora de concreto em estudo, essa perturbação poderia ser caracterizada pela movimentação da pilha de agregados.

Em paralelo, a AP-42, seção 13.2.5 (USEPA, 2006) descreve que o fator de emissão para partículas geradas pelo vento a partir de uma superfície com material erodível e não-erodível pode ser calculado pela Equação (3):

$$E = k \sum_{i=1}^N P_i \quad (3)$$

onde:

E = fator de emissão de material particulado, (g);

k = coeficiente de multiplicação do tamanho da partícula, disponível no Quadro 17;

N = número de perturbações na superfície por ano;

$P_i$  = Potencial de erosão correspondente à rajada de vento de maior magnitude observada no período entre perturbações, (g/m<sup>2</sup>).

O coeficiente k é variável conforme o tamanho da partícula e está disponível para consulta no Quadro 17, fornecido pela USEPA (2006):

**Quadro 17** - Diversos valores para k, conforme o tamanho da partícula desejado.

<b>Coeficiente de multiplicação da aerodinâmica das partículas (k)</b>			
<b>30 µm</b>	<b>&lt; 15 µm</b>	<b>&lt; 10 µm</b>	<b>&lt; 2,5 µm</b>
1,0	0,6	0,5	0,075

Fonte: USEPA (2006).

Para calcular o Potencial de erosão necessário na Equação (3) de uma superfície exposta e seca, a USEPA (2006) fornece a Equação (4):

$$P = 58(u^* - u_t^*)^2 + 25(u^* - u_t^*), \quad (4)$$

$$P = 0, \text{ para } u^* \leq u_t^*$$

onde:

$u^*$  = velocidade de atrito (m/s);

$u_t^*$  = velocidade limite de atrito (m/s);

Como a Equação 3 e 4 levam em consideração o número de perturbações na superfície por um determinado período, caso existam locais com frequências de movimentação distintas, o cálculo deve ser feito separadamente para cada uma delas. Caso contrário, o resultado obtido não será representativo.

Alguns valores de velocidades de atrito podem ser consultados na seção 13.2.5 da AP-42 (USEPA, 2006), que os determinou para diversos tipos de superfície, a partir de testes feitos com indústrias mineradoras, organizando-os conforme Quadro 18:

**Quadro 18** - Velocidades limites de atrito para diferentes materiais

Material	Velocidade limite de atrito (m/s)	Altura da rugosidade (cm)	Limite de velocidade do vento a 10m (m/s)	
			Z <sub>o</sub> = real	Z <sub>o</sub> = 0,5 cm
<b>Solo removido antes de iniciar a mineração</b>	1,02	0,3	21	19
<b>Escória (material no leito da estrada)</b>	1,33	0,3	27	25
<b>Carvão triturado (no entorno da pilha principal)</b>	0,55	0,01	16	10
<b>Pilha de Carvão</b>	1,12	0,3	23	21
<b>Esteiras raspadoras da pilha de carvão</b>	0,62	0,06	15	12
<b>Poeira fina de carvão no solo concretado</b>	0,54	0,02	11	10

Fonte: USEPA (2006)

Para calcular a velocidade de atrito a partir da rajada de vento de maior magnitude, obtida através dos dados fornecidos pelo QUALAR, a USEPA (2006) disponibiliza duas equações diferentes, a serem utilizadas conforme as características do local.

Para USEPA (2006), nas situações em que se tratar de terreno plano, ou pilhas de agregados baixas, com relação altura/largura inferior a 0,2, considera-se uma altura de rugosidade de 0,5 cm. Nesses casos, a velocidade de atrito pode ser calculada pela Equação (5):

$$u^* = 0,053u_{10}^+ \quad (5)$$

onde:

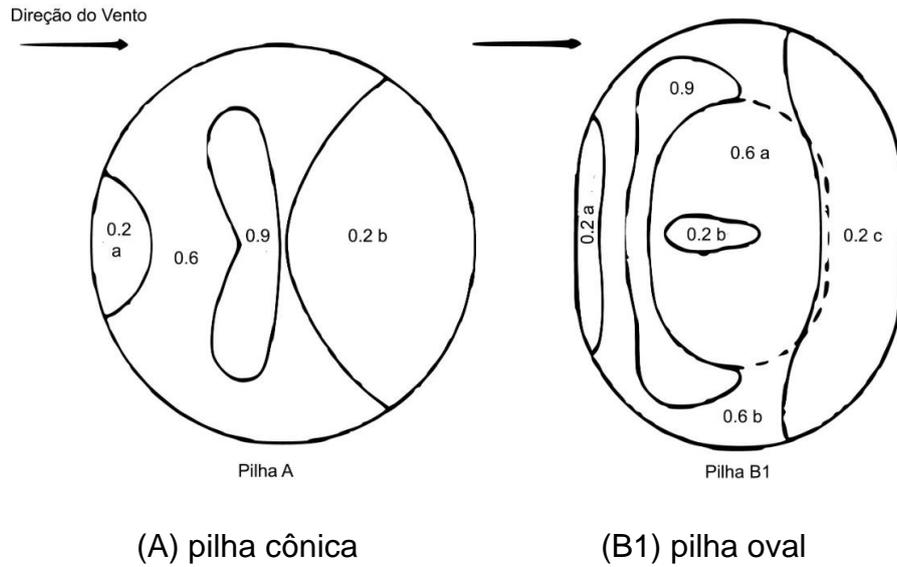
$u^*$  = velocidade de atrito (m/s);

$u_{10}^+$  = rajada de vento de maior magnitude, conforme dados do QUALAR (para este trabalho), para o período entre as perturbações (m/s);

Caso a pilha de agregados seja alta, possuindo uma relação altura/largura superior a 0,2, ela deve ser dividida em subáreas, que representam diferentes formas de reagir à ação do vento.

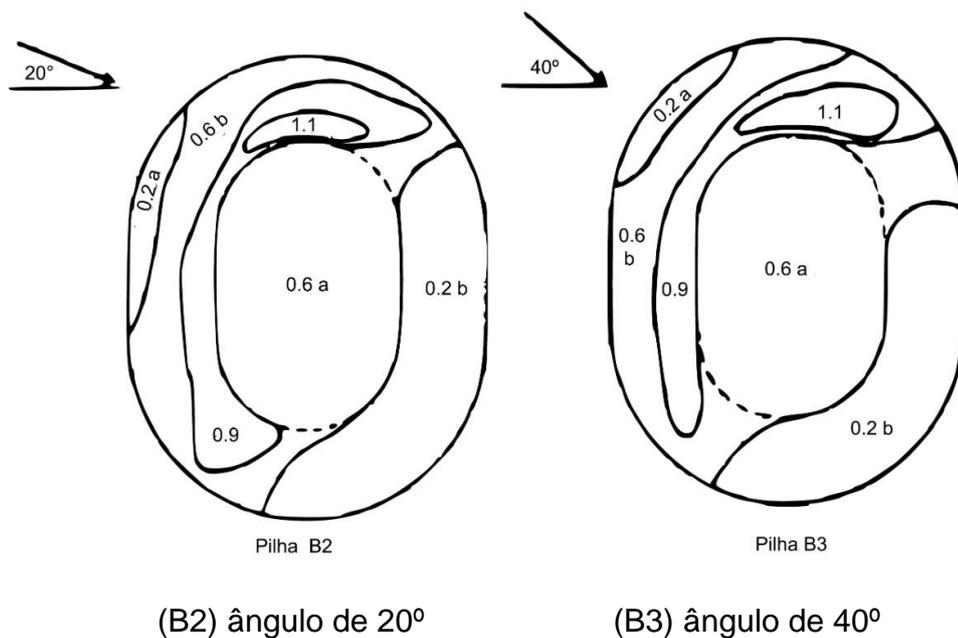
Nesse caso, a USEPA (2006) realizou testes com pilhas cônicas e ovais, com a parte superior achatada e sofrendo a ação do vento de frente ou com certa inclinação. A separação nas subáreas conforme delimitação da USEPA (2006) pode ser verificada nas Figuras 29 e 30.

**Figura 29** - Divisão em subáreas de uma pilha sofrendo ação do vento de frente.



Fonte: USEPA (2006)

**Figura 30** - Divisão em subáreas de duas pilhas ovais, sofrendo ação do vento em Ângulos diferentes.



Fonte: USEPA (2006)

As proporções das subáreas de cada uma das pilhas das Figuras 29 e 30 são fornecidas pela USEPA (2006) através do Quadro 19.

**Quadro 19** - Distribuição das subáreas das pilhas de agregados.

Subárea da pilha	Porcentagem da área total da superfície (%)			
	Pilha A	Pilha B1	Pilha B2	Pilha B3
<b>0,2a</b>	5	5	3	3
<b>0,2b</b>	35	2	28	25
<b>0,2c</b>	NA	29	NA	NA
<b>0,6a</b>	48	26	29	28
<b>0,6b</b>	NA	24	22	26
<b>0,9</b>	12	14	15	14
<b>1,1</b>	NA	NA	3	4

Fonte: USEPA (2006).

Nota: NA = Não se Aplica

Ao determinar a pilha de agregados que melhor se encaixa na realidade do empreendimento, e com os dados obtidos no Quadro 19, procede-se a correção da rajada de vento de maior magnitude em relação a cada uma das subáreas, conforme Equação (6):

$$u_s^+ = \frac{(u_s)}{u_r} u_{10}^+, \quad (6)$$

onde:

$u_s^+$  = valor da rajada de vento corrigida para cada uma das subáreas (m/s);

$\frac{(u_s)}{u_r}$  = valor obtido no Quadro 19, sem dimensão;

$u_{10}^+$  = rajada de vento de maior magnitude, conforme dados do QUALAR (para este trabalho), para o período entre as perturbações (m/s);

Para as subáreas da pilha de agregados que tiverem interferência do vento com pouca diferença de velocidade, utiliza-se em vez da Equação 5, a Equação (7):

$$u^* = 0,10u_{10}^+, \quad (7)$$

onde:

$u^*$  = velocidade de atrito (m/s);

$u_{10}^+$  = rajada de vento de maior magnitude, conforme dados do QUALAR (para este trabalho), para o período entre as perturbações (m/s);

Em seguida, o procedimento de cálculo do Potencial de erosão é o mesmo daquele descrito na Equação (4), com a diferença de que em vez de calcular um valor total, será calculado um Potencial diferente para cada subárea da pilha em questão.

Cabe ressaltar que, segundo a USEPA (2006), a distribuição das partículas com tamanho inferior a 30  $\mu\text{m}$  é similar àquela informada em outras seções de emissões fugitivas da AP-42, nas quais a velocidade do vento é um fator a ser considerado, como por exemplo às descritas na seção 13.2.4, que discorre de emissões provenientes das pilhas de armazenamento e manuseio de agregados.

#### - Resultado obtido

#### - Classificação da altura das pilhas

Para definir se as pilhas de agregados são consideradas altas ou baixas, deve-se verificar a razão altura/largura, conforme Tabela 5.

**Tabela 5** - Resultados da classificação da altura das pilhas

Identificação da pilha	Largura (m)	Altura (m)	Razão
Areia fina	9	3	0,33
Areia industrial	9	3	0,33
Brita 0	9	3	0,33
Brita 1	9	3	0,33

Fonte: Elaboração própria (2021).

Como as pilhas de agregados que existem no local em estudo são consideradas altas, ou seja, possuem uma razão altura/largura superior a 0,2, o cálculo deve seguir com a sua divisão em subáreas.

Os agregados encontrados no local são dispostos em baias, o que significa que possuem paredes nas laterais e parte de trás. Levando isso em conta, o formato das pilhas se assemelha àquela representada pela pilha B1, e os cálculos serão feitos separadamente para cada uma das subáreas encontradas, conforme Quadro 19.

Os cálculos serão feitos separadamente para cada uma das pilhas de agregados e o resultado será a somatória dos resultados individuais.

### - Subárea 0,2a

Conforme verificado no Quadro 19, relação  $\frac{(u_s)}{u_r}$  para a subárea 0,2a é de 5%.

O valor da rajada de vento de maior magnitude foi verificado na base de dados do “Sistema de Informações da Qualidade do Ar – QUALAR”, consultando os dados diários da velocidade do vento dos últimos três anos. Segundo o sistema, a rajada de vento mais intensa alcançou a velocidade de 3,8 m/s, ou seja, tem-se que  $u_{10}^+ = 3,8 \text{ m/s}$ .

Assim, a Equação (6) pode ser descrita da seguinte forma:

$$u_s^+ = 0,05 * 3,8$$

$$u_s^+ = 0,19 \text{ m/s}$$

Após calculada a velocidade da rajada de vento ajustada para a subárea 0,2a, pode-se calcular a velocidade de atrito específica através da Equação (5), ou seja:

$$u^* = 0,053 * 0,19$$

$$u^* = 0,01007 \text{ m/s}$$

Em seguida, é necessário calcular o Potencial de erosão específico da subárea 0,2a, conforme Equação (4). Como não há informações específicas da velocidade limite de atrito dos materiais utilizados no empreendimento, será utilizado o valor fornecido pela USEPA (2006) no Quadro 18, para solo removido antes da mineração, pela semelhança de origem. Assim, será considerado  $u_t^* = 1,02 \text{ m/s}$ .

Neste caso, como  $u^* \leq u_t^*$ , a equação (4) determina que Potencial de erosão é zero. Logo, para a subárea 0,2a, tem-se que  $P = 0 \text{ g/m}^2$ .

#### - Subárea 0,2b

Conforme verificado no Quadro 19, a relação  $\frac{(u_s)}{u_r}$  para a subárea 0,2b é de 2%.

Segundo o sistema QUALAR, tem-se que  $u_{10}^+ = 3,8 \text{ m/s}$ .

Assim, a Equação (6) pode ser descrita da seguinte forma:

$$u_s^+ = 0,02 * 3,8$$

$$u_s^+ = 0,076 \text{ m/s}$$

Após calculada a velocidade da rajada de vento ajustada para a subárea 0,2b, pode-se calcular a velocidade de atrito específica através da Equação (5), ou seja:

$$u^* = 0,053 * 0,076$$

$$u^* = 0,004028 \text{ m/s}$$

Para o cálculo do Potencial de erosão específico da subárea 0,2b, conforme Equação (4), será considerado  $u_t^* = 1,02 \text{ m/s}$ .

Entretanto, como  $u^* \leq u_t^*$ , a equação (4) determina que Potencial de erosão é zero. Logo, para a subárea 0,2b, tem-se que  $P = 0 \text{ g/m}^2$ .

#### - Subárea 0,2c

Como a subárea 0,2c fica localizada na porção posterior da pilha de agregados, e consequentemente é protegida pelas paredes laterais e traseira da baía, considera-se que há pouca interferência do vento e assim pouca diferença de velocidade. Logo, neste caso é aplicada a Equação (7) no lugar da (6).

Assim, a Equação (7) pode ser descrita da seguinte forma, mantendo  $u_{10}^+ = 3,8 \text{ m/s}$  conforme dados do QUALAR:

$$u^* = 0,10 * 3,8$$

$$u_s^+ = 0,38 \text{ m/s}$$

Após calculada a velocidade da rajada de vento ajustada para a subárea 0,2c, pode-se calcular a velocidade de atrito específica através da Equação (5), ou seja:

$$u^* = 0,053 * 0,38$$

$$u^* = 0,02014 \text{ m/s}$$

Para o cálculo do Potencial de erosão específico da subárea 0,2c, conforme Equação (4), será considerado  $u_t^* = 1,02 \text{ m/s}$ .

Entretanto, como  $u^* \leq u_t^*$ , a equação (4) determina que Potencial de erosão é zero. Logo, para a subárea 0,2c, tem-se que  $P = 0 \text{ g/m}^2$ .

#### - Subárea 0,6a

Conforme verificado no Quadro 19, a relação  $\frac{(u_s)}{u_r}$  para a subárea 0,6a é de 26%.

Segundo o sistema QUALAR, tem-se que  $u_{10}^+ = 3,8 \text{ m/s}$ .

Assim, a Equação (6) pode ser descrita da seguinte forma:

$$u_s^+ = 0,26 * 3,8$$

$$u_s^+ = 0,988 \text{ m/s}$$

Após calculada a velocidade da rajada de vento ajustada para a subárea 0,6a, pode-se calcular a velocidade de atrito específica através da Equação (5), ou seja:

$$u^* = 0,053 * 0,988$$

$$u^* = 0,052364 \text{ m/s}$$

Para o cálculo do Potencial de erosão específico da subárea 0,6a, conforme Equação (4), será considerado  $u_t^* = 1,02 \text{ m/s}$ .

Entretanto, como  $u^* \leq u_t^*$ , a equação (4) determina que Potencial de erosão é zero. Logo, para a subárea 0,6a, tem-se que  $P = 0 \text{ g/m}^2$ .

### - Subárea 0,6b

Conforme verificado no Quadro 19, a relação  $\frac{(u_s)}{u_r}$  para a subárea 0,6b é de 24%.

Segundo o sistema QUALAR, tem-se que  $u_{10}^+ = 3,8 \text{ m/s}$ .

Assim, a Equação (6) pode ser descrita da seguinte forma:

$$u_s^+ = 0,24 * 3,8$$

$$u_s^+ = 0,912 \text{ m/s}$$

Após calculada a velocidade da rajada de vento ajustada para a subárea 0,6b, pode-se calcular a velocidade de atrito específica através da Equação (5), ou seja:

$$u^* = 0,053 * 0,912$$

$$u^* = 0,048336 \text{ m/s}$$

Para o cálculo do Potencial de erosão específico da subárea 0,6b, conforme Equação (4), será considerado  $u_t^* = 1,02 \text{ m/s}$ .

Entretanto, como  $u^* \leq u_t^*$ , a equação (4) determina que Potencial de erosão é zero. Logo, para a subárea 0,6b, tem-se que  $P = 0 \text{ g/m}^2$ .

### - Subárea 0,9

Conforme verificado no Quadro 19, a relação  $\frac{(u_s)}{u_r}$  para a subárea 0,9 é de 14%.

Segundo o sistema QUALAR, tem-se que  $u_{10}^+ = 3,8 \text{ m/s}$ .

Assim, a Equação (6) pode ser descrita da seguinte forma:

$$u_s^+ = 0,14 * 3,8$$

$$u_s^+ = 0,532 \text{ m/s}$$

Após calculada a velocidade da rajada de vento ajustada para a subárea 0,9, pode-se calcular a velocidade de atrito específica através da Equação (5), ou seja:

$$u^* = 0,053 * 0,532;$$

$$u^* = 0,028196 \text{ m/s}.$$

Para o cálculo do Potencial de erosão específico da subárea 0,9, conforme Equação (4), será considerado  $u_t^* = 1,02 \text{ m/s}$ .

Entretanto, como  $u^* \leq u_t^*$ , a equação (4) determina que Potencial de erosão é zero. Logo, para a subárea 0,9, tem-se que  $P = 0 \text{ g/m}^2$ .

**- Resultado da estimativa de emissão da erosão eólica sobre os agregados dispostos em pilhas (resultado para uma pilha)**

A Tabela 6 apresenta a compilação dos valores de Potencial de Erosão das subáreas de uma das pilhas de agregados, conforme calculado.

**Tabela 6** - Compilação dos valores do Potencial de erosão das subáreas de uma das pilhas de agregados

<b>Subárea</b>	<b>Potencial de erosão (g/m<sup>2</sup>)</b>
0,2a	0,0
0,2b	0,0
0,2c	0,0
0,6a	0,0
0,6b	0,0
0,9	0,0
<b>Total</b>	0,0

Fonte: Elaboração própria (2021).

Ao dispor do valor do potencial de erosão, pode-se dar seguimento ao cálculo do fator de emissão do material particulado, conforme Equação (3). Para isso, ainda faltam as informações do coeficiente de multiplicação do tamanho da partícula (k) e o número de perturbações por ano (N).

Como os materiais armazenados nas baias de agregados são brita e areia, ambos possuem partículas maiores que  $30 \mu\text{m}$ , o que conforme o Quadro 18, resulta em k igual a 1,0.

As pilhas de agregados são movimentadas diariamente, com exceção dos domingos e feriados. Por esse motivo, o número de perturbações por ano (N) é equivalente a 305.

O fator de emissão é calculado como a somatória dos Potenciais de emissão, variando de 1 a 305, multiplicados pelo coeficiente de multiplicação do tamanho da partícula, conforme Equação (3). Entretanto, como os Potenciais de emissão são zero, o fator de emissão final também é zero, conforme Tabela 7.

**Tabela 7** - Fator de emissão estimado para emissão da erosão eólica para cada pilha de agregados (g/ano)

<b>Fontes</b>	<b>Emissão MP (*) (g/ano)</b>
<b>Erosão eólica em agregados</b>	0,0

Fonte: Elaboração própria (2021).

No Tabela 8 está apresentada a estimativa de emissão para essa fonte, considerando cada uma das pilhas de agregados.

**Tabela 8** - Estimativa de emissão de erosão eólica para cada pilha de agregados

<b>Fonte de emissão</b>	<b>Fator de emissão estimado (MP) *(g/ano)</b>	<b>Emissão (g/ano)</b>	<b>Emissão (t/ano)</b>
<b>Erosão eólica na pilha da areia fina</b>	0,0	0,0	0,0
<b>Erosão eólica na pilha da areia industrial</b>	0,0	0,0	0,0
<b>Erosão eólica na pilha da brita 0</b>	0,0	0,0	0,0
<b>Erosão eólica na pilha da brita 1</b>	0,0	0,0	0,0
		<b>Total</b>	0,0

(\*) MP = Material particulado

Fonte: Elaboração própria (2021).

Desta forma, conclui-se que as emissões totais para todas as pilhas de agregados também são zero, pois são resultantes da somatória das emissões de cada uma delas, conforme Tabela 8.

#### **6.4.2.5. Estimativa de emissão das pilhas de armazenamento e manuseio de agregados**

A existência de pilhas de armazenamento, que geralmente são deixadas descobertas por questões práticas, e a sua necessária movimentação para ser utilizada, também são uma fonte de poluição atmosférica.

Para quantificar essas emissões, antes há de se fazer a qualificação da pilha de agregados, levantando informações como a sua umidade, porcentagem de finos, idade da pilha e principalmente o volume movimentado (USEPA, 2006).

Segundo USEPA (2006), qualquer movimentação feita nos agregados considera-se um movimento de queda, por exemplo, ao descarregar a carreta o material cai no piso, ao colocá-lo em outro local, como na balança de pesagem, ele cai no equipamento, e assim por diante.

Qualquer uma dessas quedas emite certa quantidade de material particulado, que por sua vez pode ser quantificado a partir do modelo empírico descrito na AP-42 pela Equação (8):

$$E = k(0,0016) \frac{\left(\frac{U}{2,2}\right)^{1,3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1,4}} \quad (8)$$

onde:

E = fator de emissão (kg/t);

k = coeficiente de multiplicação do tamanho da partícula, sem unidade;

U = velocidade média do vento (m/s);

M = teor de umidade do material (%).

O valor de  $k$ , necessário para preenchimento da Equação (8), é diretamente proporcional ao tamanho e aerodinâmica da partícula constituinte da pilha de material, conforme Quadro 20.

**Quadro 20** - Valores pré-determinados de  $k$  com base no tamanho das partículas.

<b>Coefficiente de multiplicação da aerodinâmica das partículas (k)</b>				
<b>&lt; 30 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>&lt; 15 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>&lt; 10 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>&lt; 5 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>&lt; 2,5 <math>\mu\text{m}</math></b>
0,74	0,48	0,35	0,20	0,053

Fonte: USEPA (2006).

#### - Resultado obtido:

Segundo as informações disponibilizadas pelo “Sistema de Informações da Qualidade do Ar – QUALAR”, verificou-se que a velocidade média do vento na região onde está localizado o empreendimento pode ser obtida através da estação meteorológica da Marginal Tietê-Ponte dos Remédios, chegando no resultado de 2,1 m/s.

Os agregados utilizados na preparação do concreto são areia fina, areia industrial, brita 0 e brita 1. Os materiais são constantemente analisados pelo laboratório central da empresa e a moda do tamanho deles é disponibilizado no Quadro 21, conforme informações retiradas do laudo de ensaio de agregados fornecido pelo empreendimento e elaborado conforme NBR NM 248/03 (ABNT, 2003).

**Quadro 21** - Tamanho das partículas dos agregados, conforme informações disponibilizadas pelo empreendimento.

<b>Material</b>	<b>Tamanho (mm)</b>	<b>Tamanho (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
<b>Areia fina</b>	0,15	150
<b>Areia industrial</b>	1,18	1180
<b>Brita 0</b>	6,3	6300
<b>Brita 1</b>	12,5	12500

Fonte: Elaboração própria (2020).

Como os tamanhos reais das partículas dos agregados, apresentados no Quadro 21, não estão disponíveis no Quadro 20, conservadoramente será utilizado o valor de  $k$  para partículas < 30  $\mu\text{m}$ , ou seja, o  $k$  a ser utilizado na fórmula é 0,74.

Entretanto, como os materiais possuem teores de umidade diferentes, os cálculos serão realizados separadamente para cada um deles.

Segundo ensaios realizados diariamente no empreendimento, o teor de umidade da areia fina costuma ficar em 7%, resultando assim na equação:

$$E = 0,74(0,0016) \frac{\left(\frac{2,1}{2,2}\right)^{1,3}}{\left(\frac{7}{2}\right)^{1,4}}$$

$$E = 1,929 * 10^{-4} \text{ kg/t.}$$

Realizando os cálculos acima, tem-se que o fator de emissão para a movimentação da areia fina é:  $1,929 * 10^{-4} \text{ kg/t}$ .

O teor de umidade da areia industrial também é ensaiado diariamente pela empresa, ficando em torno de 2%, logo o cálculo é descrito pela equação:

$$E = 0,74(0,0016) \frac{\left(\frac{2,1}{2,2}\right)^{1,3}}{\left(\frac{2}{2}\right)^{1,4}}$$

$$E = 1,114 * 10^{-3} \text{ kg/t.}$$

Assim, resulta que o fator de emissão para a movimentação da areia industrial é:  $1,114 * 10^{-3} \text{ kg/t}$

Por uma questão de controle tecnológico, não é feita a aspersão com água ou outro produto químico em nenhuma das areias utilizadas na central, mas a título de exemplo, será calculado o fator de emissão de ambas, considerando que a umectação seja feita até alcançar a razão de umidade de 2, ou seja, eficiência de controle de 75%, conforme USEPA, 2006.

Neste caso, o fator de emissão para a areia fina é de  $E = 1,447 * 10^{-4} \text{ kg/t}$  e para a areia industrial é de  $E = 8,355 * 10^{-4} \text{ kg/t}$ .

A umidade das britas utilizadas não é tão controlada na central, uma vez que não interferem tanto no resultado do concreto, entretanto, quando é analisada, a umidade natural resulta em aproximadamente 1%, conforme segue na equação:

$$E = 0,74(0,0016) \frac{\left(\frac{2,1}{2,2}\right)^{1,3}}{\left(\frac{1}{2}\right)^{1,4}}$$

$$E = 2,941 * 10^{-3} \text{ kg/ton.}$$

Com isso, tem-se que o fator de emissão para a movimentação da brita é:  $2,941 * 10^{-3} \text{ kg/t}$ .

Ao contrário da areia fina e industrial, a central realiza a umectação das britas com água, utilizando pequenos aspersores, que geralmente são acionados duas vezes ao dia ou conforme a necessidade, sem haver a geração de efluente líquido.

Considerando o Capítulo 13 da AP-42 (USEPA, 2006), tem-se que para a razão de umidade 2, a eficiência de controle fica em torno de 75%, logo o fator de emissão para a movimentação de britas no empreendimento chega a  $E = 2,206 * 10^{-3} \text{ kg/t}$ .

A Tabela 9 apresenta os fatores de emissão estimados para o armazenamento de areia fina, areia industrial e brita.

**Tabela 9** - Fatores de emissão estimados para emissão de armazenamento e manuseio de agregado (kg/ t material movimentado)

<b>Fontes</b>	<b>Emissão MP (*) Sem controle (kg/t material movimentado)</b>	<b>Emissão MP Com controle (kg/t material movimentado)</b>
<b>Armazenamento e manuseio de areia fina</b>	0,0002	0,0001
<b>Armazenamento e manuseio de areia industrial</b>	0,0011	0,0008
<b>Armazenamento e manuseio de brita</b>	0,0029	0,0022

(\*) MP = Material Particulado

Fonte: Elaboração própria (2021)

Na Tabela 10, está apresentada a estimativa de emissão para essa fonte, ajustando as quantidades finais conforme a produção anual de 288.000 t/ano, da seguinte forma:

- **Movimentação de areia fina:** Considerando que a quantidade total de areia utilizada nos cálculos foi de 181.440 t/ano e que desse total, a areia fina representa aproximadamente 25%, será adotado o consumo de 45.360 t/ano.

Como a areia fina armazenada possui baias em seu entorno, porém não é umectada por causa do controle técnico, será adotado o fator de emissão sem controle.

- **Movimentação de areia industrial:** Considerando que a quantidade total de areia utilizada nos cálculos foi de 181.440 t/ano e que desse total, a areia fina representa aproximadamente 75%, será adotado o consumo de 136.080 t/ano.

Como a areia industrial armazenada possui baias em seu entorno, porém não é umectada por causa do controle técnico, será adotado o fator de emissão sem controle.

- **Movimentação de brita:** Como a quantidade de agregado graúdo carregado por ano corresponde a aproximadamente 66% da produção total, o valor utilizado nas estimativas foi de 190.080 t/ano.

Como a brita armazenada possui baias em seu entorno, e são constantemente umectadas com o uso de aspersores, será adotado o fator de emissão com controle.

**Tabela 10** - Estimativa de emissão de armazenamento e manuseio de agregados

Fonte de emissão	Fator de emissão estimado (MP) (*) (kg/t material movimentado)	Material carregado (t/ano)	Emissão (kg MP/ano)	Emissão (t MP/ano)
Armazenamento e manuseio de areia fina	0,0002	45.360	8,75	0,009
Armazenamento e manuseio de areia industrial	0,0011	136.080	151,593	0,152
Armazenamento e manuseio de brita	0,0022	190.080	419,316	0,419
			<b>Total</b>	<b>0,580</b>

(\*) MP = Material particulado

Fonte: Elaboração própria (2021)

#### 6.4.3. Estimativa de emissão das fontes abertas

Como é feita lavagem e manutenção periódica dos veículos dentro da área do empreendimento, ocorre a geração de águas residuárias, que por sua vez são destinadas ao Sistema Separador de Água-Óleo.

Para calcular as emissões provenientes desse sistema, utilizam-se os fatores de emissão fornecidos pela USEPA, no capítulo 5.1 da “AP-42 – *Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources*” (USEPA, 2015).

Segundo o capítulo 5.1 da AP-42, as emissões fugitivas provenientes de sistemas separadores de água e óleo são, na maioria, compostas por Compostos Orgânicos Voláteis (COVs), sendo atribuídos principalmente a vazamentos e superfícies abertas, que ficam em contato com a atmosfera (USEPA, 2015).

Os fatores de emissão dos sistemas separadores de água e óleo, fornecidos pela AP-42 são visualizados no Quadro 22.

**Quadro 22** – Fatores de emissão para sistemas separadores de água e óleo (Kg COVs/ 10<sup>3</sup> L de efluente)

Fonte da emissão	Unidade do fator de emissão	Fatores de emissão	
		Emissões sem controle	Emissões com controle
<b>Sistema Separador de água e óleo</b>	Kg COVs/ 10 <sup>3</sup> L de efluente	0,6	0,024

Fonte: Elaboração própria (2021).

Ainda conforme a AP-42, a principal tecnologia de controle dessas emissões é a cobertura do “Sistema Separador de água e óleo”, sendo importante manter também boas práticas de monitoramento e manutenção (USEPA, 2015).

Para calcular as emissões totais do “Sistema Separador de Água e Óleo”, considera-se que todos os caminhões da central passam pelo procedimento de rampa uma vez por semana, e que a lavagem de cada um deles demora aproximadamente 1 hora.

Para realizar esse procedimento, a rampa é dotada de uma lavadora de alta pressão, com vazão nominal de 42 l/min, logo, a lavagem de cada veículo consome em média 2.520 litros, o que resulta em 65.520 litros semanais para lavar todos os equipamentos existentes.

Sendo assim, há a geração de 3.472.560 litros anuais que são destinados para o Sistema Separador de Água e Óleo e conseqüentemente acarretam a emissão de Compostos Orgânicos Voláteis.

No caso da central em estudo, o sistema separador de água e óleo existente é pequeno e com boa manutenção, mas o efluente final fica descoberto, possuindo apenas proteção contra intempéries. Por esse motivo, o fator de emissão a ser utilizado é  $E = 0,6 \frac{kg}{10^3 L}$ .

Na Tabela 11, está apresentada a estimativa de emissão para essa fonte.

**Tabela 11** - Estimativa de emissão resultante de fontes abertas no empreendimento.

<b>Fonte de emissão</b>	<b>Fator de emissão (Kg/ 10<sup>3</sup>L)</b>	<b>Vazão considerada (L/ano)</b>	<b>Emissão (kg COV/ano)</b>	<b>Emissão (t COV/ano)</b>
<b>Sistema Separador de Água e Óleo</b>	0,6	3.472.560	2.083,536	2,083
			<b>Total</b>	2,083

(\*) COV = Composto Orgânico Volátil.

Fonte: Elaboração própria (2021).

#### **6.4.3. Emissões de metais da Central dosadora de concreto**

Além das emissões de materiais particulados descritas, a AP-42 prevê também emissões de diferentes metais, provenientes dos processos envolvendo o manuseio do cimento, conforme Quadro 23. Os valores são expressos em kg de poluente por tonelada de material movimentado.

**Quadro 23** - Fatores de emissão para Metais e outros componentes lançados na atmosfera inseridos no material particulado durante as operações de uma Central Dosadora de Concreto (kg/t de material movimentado)

Fonte	Arsênio	Berílio	Cádmio	Cromo total	Chumbo	Manganês	Níquel	Fósforo total	Selênio	Classe
<b>Carregamento do cimento ao silo de armazenamento</b>	$8,38 * 10^{-7}$	$8,97 * 10^{-9}$	$1,17 * 10^{-7}$	$1,26 * 10^{-7}$	$3,68 * 10^{-7}$	$1,01 * 10^{-4}$	$8,83 * 10^{-6}$	$5,88 * 10^{-6}$	ND	E
<b>Com filtro de tecido</b>	$2,12 * 10^{-9}$	$2,43 * 10^{-10}$	ND	$1,45 * 10^{-8}$	$5,46 * 10^{-9}$	$5,87 * 10^{-8}$	$2,09 * 10^{-8}$	ND	ND	E
<b>Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	E
<b>Com filtro de tecido</b>	$5,02 * 10^{-7}$	$4,52 * 10^{-8}$	$9,92 * 10^{-9}$	$6,10 * 10^{-7}$	$2,60 * 10^{-7}$	$1,28 * 10^{-7}$	$1,14 * 10^{-6}$	$1,77 * 10^{-6}$	$3,62 * 10^{-8}$	E
<b>Dosagem da central misturadora</b>	$4,19 * 10^{-6}$	ND	$5,92 * 10^{-9}$	$7,11 * 10^{-7}$	$1,91 * 10^{-7}$	$3,06 * 10^{-5}$	$1,64 * 10^{-6}$	$1,01 * 10^{-5}$	ND	E
<b>Com filtro de tecido</b>	$1,48 * 10^{-7}$	ND	$3,55 * 10^{-10}$	$6,34 * 10^{-8}$	$1,83 * 10^{-8}$	$1,89 * 10^{-6}$	$1,24 * 10^{-7}$	$6,04 * 10^{-7}$	ND	E
<b>Carregamento do caminhão betoneira</b>	$6,09 * 10^{-6}$	$1,22 * 10^{-7}$	$1,71 * 10^{-8}$	$5,71 * 10^{-6}$	$1,81 * 10^{-6}$	$3,06 * 10^{-5}$	$5,99 * 10^{-6}$	$1,92 * 10^{-5}$	$1,31 * 10^{-6}$	E
<b>Com filtro de tecido</b>	$3,01 * 10^{-7}$	$5,18 * 10^{-8}$	$4,53 * 10^{-9}$	$2,05 * 10^{-6}$	$7,67 * 10^{-7}$	$1,04 * 10^{-5}$	$2,39 * 10^{-6}$	$6,16 * 10^{-6}$	$5,64 * 10^{-8}$	E

Fonte: Adaptado de USEPA (2006).

- **Carregamento do cimento ao silo de armazenamento:** Segundo informado pelo empreendimento, o consumo de cimento foi de quase 14% em 2019. Assim, as estimativas serão feitas com base em um consumo de 40.000 t/ano, considerando uma produção total anual de 288.000 t/ano.

- **Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento:** O empreendimento utiliza escória como adição ao cimento em alguns momentos, com a quantidade consumida dependendo dos traços selecionados. Uma estimativa do consumo de escória é de 20% do cimento utilizado, ou seja, 8.000 t/ano.

- **Carregamento do caminhão betoneira (para centrais dosadoras):** Toda a produção do empreendimento é feita através do carregamento dos caminhões betoneiras, assim, o valor considerado é de 288.000 t/ano.

- **Carregamento do misturador (para centrais misturadoras):** O empreendimento em estudo não possui centrais misturadoras, por essa razão, não serão consideradas as emissões geradas nesta categoria.

- **Resultado da estimativa para a operação de preparação da massa de concreto:** As estimativas totais das emissões referentes a preparação de massa de concreto são disponibilizadas no Quadro 23.

Os resultados das estimativas de emissão para os diferentes metais e outros componentes oriundos da operação da central dosadora de concreto, conforme a produção anual do empreendimento são verificados nas Tabelas 12 a 20.

**Tabela 12** - Resultado da estimativa de emissão de Arsênio referente a operação de uma central dosadora de concreto

<b>Fonte de emissão</b>	<b>Fator de emissão da USEPA (kg Arsênio/t material carregado)</b>	<b>Material carregado (t/ano)</b>	<b>Emissão (kg MP/ano)</b>	<b>Emissão (t MP/ano)</b>
<b>Carregamento do cimento ao silo de armazenamento</b>	$8,38 * 10^{-7}$	40.000	0,034	$3,352 * 10^{-5}$
<b>Com filtro de tecido</b>	$2,12 * 10^{-9}$	40.000	$8,48 * 10^{-5}$	$8,48 * 10^{-8}$
<b>Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento</b>	ND	8.000	ND	ND
<b>Com filtro de tecido</b>	$5,02 * 10^{-7}$	8.000	0,004	$4,016 * 10^{-6}$
<b>Carregamento do caminhão betoneira</b>	$6,09 * 10^{-6}$	288.000	1,754	0,002
<b>Com filtro de tecido</b>	$3,01 * 10^{-7}$	288.000	0,087	$8,669 * 10^{-5}$

Fonte: Elaboração própria (2021).

**Tabela 13** - Resultado da estimativa de emissão de Berílio referente a operação de uma central dosadora de concreto

<b>Fonte de emissão</b>	<b>Fator de emissão da USEPA (kg Berílio/t material carregado)</b>	<b>Material carregado (t/ano)</b>	<b>Emissão (kg MP/ano)</b>	<b>Emissão (t MP/ano)</b>
<b>Carregamento do cimento ao silo de armazenamento</b>	$8,97 * 10^{-9}$	40.000	$3,588 * 10^{-4}$	$3,588 * 10^{-7}$
<b>Com filtro de tecido</b>	$2,43 * 10^{-10}$	40.000	$9,72 * 10^{-6}$	$9,72 * 10^{-6}$
<b>Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento</b>	ND	8.000	ND	ND
<b>Com filtro de tecido</b>	$4,52 * 10^{-8}$	8.000	$3,616 * 10^{-4}$	$3,616 * 10^{-7}$
<b>Carregamento do caminhão betoneira</b>	$1,22 * 10^{-7}$	288.000	0,035	$3,514 * 10^{-5}$
<b>Com filtro de tecido</b>	$5,18 * 10^{-8}$	288.000	0,015	$1,492 * 10^{-5}$

Fonte: Elaboração própria (2021).

**Tabela 14** - Resultado da estimativa de emissão de Cádmiu referente a operação de uma central dosadora de concreto

Fonte de emissão	Fator de emissão da USEPA (kg Cádmiu/t material carregado) (*)	Material carregado (t/ano)	Emissão (kg MP/ano)	Emissão (t MP/ano)
Carregamento do cimento ao silo de armazenamento	$1,17 * 10^{-7}$	40.000	0,005	$4,68 * 10^{-6}$
Com filtro de tecido	ND	40.000	ND	ND
Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento	ND	8.000	ND	ND
Com filtro de tecido	$9,92 * 10^{-9}$	8.000	$7,936 * 10^{-5}$	$7,936 * 10^{-8}$
Carregamento do caminhão betoneira	$1,71 * 10^{-8}$	288.000	0,005	$4,925 * 10^{-6}$
Com filtro de tecido	$4,53 * 10^{-9}$	288.000	0,001	$1,304 * 10^{-6}$

Fonte: Elaboração própria (2021).

**Tabela 15** - Resultado da estimativa de emissão de Cromo total referente a operação de uma central dosadora de concreto

Fonte de emissão	Fator de emissão da USEPA (kg Cromo total/t material carregado)	Material carregado (t/ano)	Emissão (kg MP/ano)	Emissão (t MP/ano)
Carregamento do cimento ao silo de armazenamento	$1,26 * 10^{-7}$	40.000	0,005	$5,04 * 10^{-6}$
Com filtro de tecido	$1,45 * 10^{-8}$	40.000	$5,8 * 10^{-4}$	$5,8 * 10^{-7}$
Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento	ND	8.000	ND	ND
Com filtro de tecido	$6,10 * 10^{-7}$	8.000	0,005	$4,88 * 10^{-6}$
Carregamento do caminhão betoneira	$5,71 * 10^{-6}$	288.000	1,644	0,002
Com filtro de tecido	$2,05 * 10^{-6}$	288.000	0,590	$5,904 * 10^{-4}$

Fonte: Elaboração própria (2021).

**Tabela 16** - Resultado da estimativa de emissão de Chumbo referente a operação de uma central dosadora de concreto

Fonte de emissão	Fator de emissão da USEPA (kg Chumbo/t material carregado)	Material carregado (t/ano)	Emissão (kg MP/ano)	Emissão (t MP/ano)
Carregamento do cimento ao silo de armazenamento	$3,68 * 10^{-7}$	40.000	0,015	$1,472 * 10^{-5}$
Com filtro de tecido	$5,46 * 10^{-9}$	40.000	$2,184 * 10^{-4}$	$2,184 * 10^{-7}$
Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento	ND	8.000	ND	ND
Com filtro de tecido	$2,60 * 10^{-7}$	8.000	0,002	$2,08 * 10^{-6}$
Carregamento do caminhão betoneira	$1,81 * 10^{-6}$	288.000	0,521	$5,213 * 10^{-4}$
Com filtro de tecido	$7,67 * 10^{-7}$	288.000	0,221	$2,209 * 10^{-4}$

Fonte: Elaboração própria (2021).

**Tabela 17** - Resultado da estimativa de emissão de Manganês referente a operação de uma central dosadora de concreto

Fonte de emissão	Fator de emissão da USEPA (kg Manganês/t material carregado) (*)	Material carregado (t/ano)	Emissão (kg MP/ano)	Emissão (t MP/ano)
Carregamento do cimento ao silo de armazenamento	$1,01 * 10^{-4}$	40.000	4,04	$4,04 * 10^{-3}$
Com filtro de tecido	$5,87 * 10^{-8}$	40.000	$2,348 * 10^{-3}$	$2,348 * 10^{-6}$
Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento	ND	8.000	ND	ND
Com filtro de tecido	$1,28 * 10^{-7}$	8.000	$1,024 * 10^{-3}$	$1,024 * 10^{-6}$
Carregamento do caminhão betoneira	$3,06 * 10^{-5}$	288.000	8,813	$8,813 * 10^{-3}$
Com filtro de tecido	$1,04 * 10^{-5}$	288.000	2,995	$2,995 * 10^{-3}$

Fonte: Elaboração própria (2021).

**Tabela 18** - Resultado da estimativa de emissão de Níquel referente a operação de uma central dosadora de concreto

Fonte de emissão	Fator de emissão da USEPA (kg Níquel/t material carregado) (*)	Material carregado (t/ano)	Emissão (kg MP/ano)	Emissão (t MP/ano)
Carregamento do cimento ao silo de armazenamento	$8,83 * 10^{-6}$	40.000	0,353	$3,532 * 10^{-4}$
Com filtro de tecido	$2,09 * 10^{-8}$	40.000	$8,36 * 10^{-4}$	$8,36 * 10^{-7}$
Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento	ND	8.000	ND	ND
Com filtro de tecido	$1,14 * 10^{-6}$	8.000	$9,12 * 10^{-3}$	$9,12 * 10^{-6}$
Carregamento do caminhão betoneira	$5,99 * 10^{-6}$	288.000	1,725	$1,725 * 10^{-3}$
Com filtro de tecido	$2,39 * 10^{-6}$	288.000	0,688	$6,883 * 10^{-4}$

Fonte: Elaboração própria (2021).

**Tabela 19** - Resultado da estimativa de emissão de Fósforo total referente a operação de uma central dosadora de concreto

Fonte de emissão	Fator de emissão da USEPA (kg Fósforo total/t material carregado) (*)	Material carregado (t/ano)	Emissão (kg MP/ano)	Emissão (t MP/ano)
Carregamento do cimento ao silo de armazenamento	$5,88 * 10^{-6}$	40.000	0,235	$2,352 * 10^{-4}$
Com filtro de tecido	ND	40.000	ND	ND
Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento	ND	8.000	ND	ND
Com filtro de tecido	$1,77 * 10^{-6}$	8.000	0,014	$1,416 * 10^{-5}$
Carregamento do caminhão betoneira	$1,92 * 10^{-5}$	288.000	5,53	$5,53 * 10^{-3}$
Com filtro de tecido	$6,16 * 10^{-6}$	288.000	1,774	$1,774 * 10^{-3}$

Fonte: Elaboração própria (2021).

**Tabela 20** - Resultado da estimativa de emissão de Selênio referente a operação de uma central dosadora de concreto

<b>Fonte de emissão</b>	<b>Fator de emissão da USEPA (kg Selênio/t material carregado) (*)</b>	<b>Material carregado (t/ano)</b>	<b>Emissão (kg MP/ano)</b>	<b>Emissão (t MP/ano)</b>
<b>Carregamento do cimento ao silo de armazenamento</b>	ND	40.000	ND	ND
<b>Com filtro de tecido</b>	ND	40.000	ND	ND
<b>Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento</b>	ND	8.000	ND	ND
<b>Com filtro de tecido</b>	$3,62 * 10^{-8}$	8.000	$2,896 * 10^{-4}$	$2,896 * 10^{-7}$
<b>Carregamento do caminhão betoneira</b>	$1,31 * 10^{-6}$	288.000	0,377	$3,773 * 10^{-4}$
<b>Com filtro de tecido</b>	$5,64 * 10^{-8}$	288.000	0,016	$1,624 * 10^{-5}$

Fonte: Elaboração própria (2021).

As atividades de carregamento dos caminhões betoneira e dos silos de cimento e de materiais não convencionais são realizadas com a instalação de filtros de manga, entretanto, durante a visita ao empreendimento constatou-se que não estavam operando como deveriam, com a porta de manutenção aberta. Desta forma, os resultados serão considerados sem medidas de controle adotadas e podem ser são verificados nas Tabelas 21 a 29.

**Tabela 21** - Resultado da estimativa de emissão de Arsênio referente a operação de uma central dosadora de concreto

<b>Fonte de emissão</b>	<b>Fator de emissão da USEPA (kg Arsênio/t material carregado)</b>	<b>Material carregado (t/ano)</b>	<b>Emissão (kg MP/ano)</b>	<b>Emissão (t MP/ano)</b>
<b>Carregamento do cimento ao silo de armazenamento sem filtro de tecido</b>	$8,38 * 10^{-7}$	40.000	0,034	$3,352 * 10^{-5}$
<b>Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento sem filtro de tecido</b>	ND	8.000	ND	ND
<b>Carregamento do caminhão betoneira sem filtro de tecido</b>	$6,09 * 10^{-6}$	288.000	1,754	0,002
			<b>Total</b>	0,002

Fonte: Elaboração própria (2021).

**Tabela 22** - Resultado da estimativa de emissão de Berílio referente a operação de uma central dosadora de concreto

<b>Fonte de emissão</b>	<b>Fator de emissão da USEPA (kg Berílio/t material carregado)</b>	<b>Material carregado (t/ano)</b>	<b>Emissão (kg MP/ano)</b>	<b>Emissão (t MP/ano)</b>
<b>Carregamento do cimento ao silo de armazenamento sem filtro de tecido</b>	$8,97 * 10^{-9}$	40.000	$3,588 * 10^{-4}$	$3,588 * 10^{-7}$
<b>Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento sem filtro de tecido</b>	ND	8.000	ND	ND
<b>Carregamento do caminhão betoneira sem filtro de tecido</b>	$1,22 * 10^{-7}$	288.000	0,035	$3,514 * 10^{-5}$
			<b>Total</b>	$3,55 * 10^{-5}$

Fonte: Elaboração própria (2021).

**Tabela 23** - Resultado da estimativa de emissão de Cádmio referente a operação de uma central dosadora de concreto

Fonte de emissão	Fator de emissão da USEPA (kg Cádmio/t material carregado) (*)	Material carregado (t/ano)	Emissão (kg MP/ano)	Emissão (t MP/ano)
Carregamento do cimento ao silo de armazenamento sem filtro de tecido	$1,17 * 10^{-7}$	40.000	0,005	$4,68 * 10^{-6}$
Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento sem filtro de tecido	ND	8.000	ND	ND
Carregamento do caminhão betoneira sem filtro de tecido	$1,71 * 10^{-8}$	288.000	0,005	$4,925 * 10^{-6}$
			<b>Total</b>	$9,605 * 10^{-6}$

Fonte: Elaboração própria (2021).

**Tabela 24** - Resultado da estimativa de emissão de Cromo total referente a operação de uma central dosadora de concreto

Fonte de emissão	Fator de emissão da USEPA (kg Cromo total/t material carregado)	Material carregado (t/ano)	Emissão (kg MP/ano)	Emissão (t MP/ano)
Carregamento do cimento ao silo de armazenamento sem filtro de tecido	$1,26 * 10^{-7}$	40.000	0,005	$5,04 * 10^{-6}$
Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento sem filtro de tecido	ND	8.000	ND	ND
Carregamento do caminhão betoneira sem filtro de tecido	$5,71 * 10^{-6}$	288.000	1,644	0,002
			<b>Total</b>	0,002

Fonte: Elaboração própria (2021).

**Tabela 25** - Resultado da estimativa de emissão de Chumbo referente a operação de uma central dosadora de concreto

Fonte de emissão	Fator de emissão da USEPA (kg Chumbo/t material carregado)	Material carregado (t/ano)	Emissão (kg MP/ano)	Emissão (t MP/ano)
Carregamento do cimento ao silo de armazenamento sem filtro de tecido	$3,68 * 10^{-7}$	40.000	0,015	$1,472 * 10^{-5}$
Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento sem filtro de tecido	ND	8.000	ND	ND
Carregamento do caminhão betoneira sem filtro de tecido	$1,81 * 10^{-6}$	288.000	0,521	$5,213 * 10^{-4}$
			<b>Total</b>	$5,360 * 10^{-4}$

Fonte: Elaboração própria (2021).

**Tabela 26** - Resultado da estimativa de emissão de Manganês referente a operação de uma central dosadora de concreto

Fonte de emissão	Fator de emissão da USEPA (kg Manganês/t material carregado) (*)	Material carregado (t/ano)	Emissão (kg MP/ano)	Emissão (t MP/ano)
Carregamento do cimento ao silo de armazenamento sem filtro de tecido	$1,01 * 10^{-4}$	40.000	4,04	$4,04 * 10^{-3}$
Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento sem filtro de tecido	ND	8.000	ND	ND
Carregamento do caminhão betoneira sem filtro de tecido	$3,06 * 10^{-5}$	288.000	8,813	$8,813 * 10^{-3}$
			<b>Total</b>	0,013

Fonte: Elaboração própria (2021).

**Tabela 27** - Resultado da estimativa de emissão de Níquel referente a operação de uma central dosadora de concreto

Fonte de emissão	Fator de emissão da USEPA (kg Níquel/t material carregado) (*)	Material carregado (t/ano)	Emissão (kg MP/ano)	Emissão (t MP/ano)
Carregamento do cimento ao silo de armazenamento sem filtro de tecido	$8,83 * 10^{-6}$	40.000	0,353	$3,532 * 10^{-4}$
Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento sem filtro de tecido	ND	8.000	ND	ND
Carregamento do caminhão betoneira sem filtro de tecido	$5,99 * 10^{-6}$	288.000	1,725	$1,725 * 10^{-3}$
			<b>Total</b>	$2,078 * 10^{-3}$

Fonte: Elaboração própria (2021).

**Tabela 28** - Resultado da estimativa de emissão de Fósforo total referente a operação de uma central dosadora de concreto

Fonte de emissão	Fator de emissão da USEPA (kg Fósforo total/t material carregado) (*)	Material carregado (t/ano)	Emissão (kg MP/ano)	Emissão (t MP/ano)
Carregamento do cimento ao silo de armazenamento sem filtro de tecido	$5,88 * 10^{-6}$	40.000	0,235	$2,352 * 10^{-4}$
Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento sem filtro de tecido	ND	8.000	ND	ND
Carregamento do caminhão betoneira sem filtro de tecido	$1,92 * 10^{-5}$	288.000	5,53	$5,53 * 10^{-3}$
			<b>Total</b>	$5,765 * 10^{-3}$

Fonte: Elaboração própria (2021).

**Tabela 29** - Resultado da estimativa de emissão de Selênio referente a operação de uma central dosadora de concreto

<b>Fonte de emissão</b>	<b>Fator de emissão da USEPA (kg Selênio/t material carregado) (*)</b>	<b>Material carregado (t/ano)</b>	<b>Emissão (kg MP/ano)</b>	<b>Emissão (t MP/ano)</b>
Carregamento do cimento ao silo de armazenamento sem filtro de tecido	ND	40.000	ND	ND
Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento sem filtro de tecido	ND	8.000	ND	ND
Carregamento do caminhão betoneira sem filtro de tecido	$1,31 * 10^{-6}$	288.000	0,377	$3,773 * 10^{-4}$
			<b>Total</b>	$3,773 * 10^{-4}$

Fonte: Elaboração própria (2021).

## 7. RESULTADOS

As fontes de emissão, poluentes, medidas e equipamentos de controle de poluição, foram identificadas conforme proposto nos objetivos do trabalho e descritas no item anterior, e estão apresentadas na Tabela 30, bem como a estimativa de emissão do material particulado e de COVs dessas fontes do empreendimento.

**Tabela 30** - Consolidação das emissões de Material Particulado e COVs das fontes do empreendimento

<b>Fontes</b>	<b>Medida e equipamentos de controle existentes</b>	<b>Emissão MP (t/ano)</b>	<b>Emissão de COVs (t/ano)</b>
<b>Movimentação de brita</b>	Aspersores	0,665	-
<b>Movimentação de areia</b>	-	0,199	-
<b>Carregamento do cimento ao silo de armazenamento</b>	Filtros de manga	14,400	-
<b>Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento</b>	Filtros de manga	12,560	-
<b>Carregamento da balança de agregados</b>	Enclausuramento parcial	0,965	-
<b>Carregamento do caminhão betoneira</b>	Enclausuramento parcial	82,368	-
<b>Tráfego de veículos (vias pavimentadas)</b>	Limpeza do pátio e caminhões	0,801	-
<b>Erosão do vento nas pilhas de areia e brita</b>	-	0,0	-
<b>Armazenamento em pilhas e manuseio de areia fina</b>	Enclausuramento parcial (manuseio)	0,009	-
<b>Armazenamento em pilhas e manuseio de areia industrial</b>	Enclausuramento parcial (manuseio)	0,152	-
<b>Armazenamento em pilhas e manuseio de brita</b>	Enclausuramento parcial (manuseio)	0,419	-
<b>Operação do tanque de diesel</b>	-	-	0,002
<b>Operação do Sistema Separador de Água e Óleo</b>	Coberto	-	2,083
<b>Total</b>		<b>112,538</b>	<b>2,085</b>

Fonte: Elaboração própria (2021).

Após a estimativa de emissão dos metais e demais compostos das fontes do empreendimento, obtiveram-se os seguintes resultados, conforme Tabela 31. Para facilitar o entendimento, foram informadas apenas as atividades que possuem fator de emissão disponível, conforme Quadro 23, retirado na USEPA (2006).

**Tabela 31** - Consolidação das emissões de Metais e outros Poluentes das fontes do empreendimento

Fontes	Emissão Arsênio (t/ano)	Emissão Berílio (t/ano)	Emissão Cádmio (t/ano)	Emissão Cromo total (t/ano)	Emissão Chumbo (t/ano)	Emissão Manganês (t/ano)	Emissão Níquel (t/ano)	Emissão Fósforo total (t/ano)	Emissão de Selênio (t/ano)
Carregamento do cimento ao silo de armazenamento	$3,352 * 10^{-5}$	$3,588 * 10^{-7}$	$4,68 * 10^{-6}$	$5,04 * 10^{-6}$	$1,472 * 10^{-5}$	$4,04 * 10^{-3}$	$3,532 * 10^{-4}$	$2,352 * 10^{-4}$	ND
Carregamento dos materiais não convencionais ao silo de armazenamento	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Carregamento do caminhão betoneira	0,002	$3,514 * 10^{-5}$	$4,925 * 10^{-6}$	0,002	$5,213 * 10^{-4}$	$8,813 * 10^{-3}$	$1,725 * 10^{-3}$	$5,53 * 10^{-3}$	$3,773 * 10^{-4}$
<b>Total</b>	0,002	$3,55 * 10^{-5}$	$9,605 * 10^{-6}$	0,002	$5,360 * 10^{-4}$	0,013	$2,078 * 10^{-3}$	$5,765 * 10^{-3}$	$3,773 * 10^{-4}$

Fonte: Elaboração própria (2021).

## 8. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E PROPOSTAS DE MELHORIA

Verifica-se na Tabela 30 que as maiores fontes de emissão de material particulado da central dosadora de concreto são provenientes das atividades de carregamento das betoneiras, seguida do carregamento dos silos de armazenamento.

Com relação ao carregamento dos caminhões betoneira, os pontos de carga são enclausurados, entretanto, a estrutura instalada fecha apenas as laterais e traseira desse ponto, mantendo a parte frontal aberta, por onde há geração de emissões fugitivas para a atmosfera.

O ponto de carga também é provido de estrutura para aspersão de água, conforme destacado na Figura 31, entretanto o sistema encontra-se atualmente inoperante.

**Figura 31** - Ponto de carga dos caminhões betoneira, com estrutura para aspersão de água em destaque.



Fonte: Arquivo próprio (2020).

Para controlar a emissão do carregamento dos silos (cimento e materiais não convencionais, como a escória), a central possui “equipamento de controle de poluição do ar”, especificamente dois filtros de manga, de composição 100% poliéster e vibração automática para limpeza a cada período de saturação.

O equipamento instalado é considerado melhor tecnologia prática disponível, e como as emissões são secas e não possuem temperaturas elevadas, o equipamento tem possibilidade de apresentar boa eficiência de coleta.

Entretanto, apesar da instalação do equipamento adequado, foi constatado *in loco* que a porta de inspeção de um dos filtros de manga instalados nos silos permanecia aberta, aguardando manutenção, conforme Figura 32.

**Figura 32** - Filtro de manga com tampa de inspeção aberta.



Fonte: Arquivo próprio (2020).

Ao operar com a porta de inspeção aberta, não pode ser considerado que o equipamento funcione com a eficiência que deveria. Por esse motivo, considera-se que a operação de carregamento dos silos tem sido realizada sem controle.

Por outro lado, as atividades que geram as menores emissões de material particulado são aquelas que envolvem o manuseio dos agregados, principalmente da areia fina e a erosão do vento nas pilhas de agregados.

No caso da areia fina, bem como para a areia industrial, não ocorre a umectação com os aspersores por uma questão de controle tecnológico do concreto produzido, mas as baias das britas 0 e 1, por outro lado, são frequentemente umedecidas, com o intuito de reduzir as emissões atmosféricas, conforme Figuras 33 e 34.

**Figura 33** – Modelo de aspersor instalado nas baias de brita



Fonte: Arquivo próprio (2020).

**Figura 34** - Aspersores das baias em funcionamento.



Fonte: Arquivo próprio (2020).

Como foi verificado nos resultados obtidos no trabalho, a erosão eólica em pilhas de agregados foi igual a zero. Isso é esperado devido à granulometria dos materiais armazenados em pilha na unidade, sendo estas pilhas umectadas ou não.

Com relação à movimentação dos agregados (areia e brita), a totalização dessas emissões foi em torno de 1 t/ano. Neste caso, a central possui a grande maioria de seus equipamentos cobertos (moegas e caixas de agregados), faltando apenas o enclausuramento da esteira de transporte dos agregados, conforme Figura 35.

**Figura 35** - Esteira de transporte dos agregados, sem cobertura.



Fonte: Arquivo próprio (2020).

Em relação ao carregamento da balança de agregados, cuja emissão também resultou em quase 1 t/ano, apesar de ser enclausurada, há uma face aberta para a entrada dos materiais através da esteira, o que pode acarretar emissões fugitivas durante a sua operação.

O tráfego dos veículos nas vias pavimentadas também resultou em quase 1 t/ano. Os caminhões de agregados dos fornecedores rodam lonados dentro do empreendimento, entretanto, os caminhões betoneira passam por uma lavagem simples ao retorno das obras, enquanto a pá carregadeira é lavada apenas uma vez por semana, durante o procedimento de rampa, o que pode contribuir para essas emissões.

Embora as maiores fontes de emissões do empreendimento sejam de Material Particulado, há também as fontes de emissão de Compostos Orgânicos Voláteis. Apesar das emissões de COV não serem significativas, o empreendimento em questão está localizado em uma zona considerada saturada de ozônio, e classificada como > M1, conforme Decreto nº 59.113/13. Por essa razão, devem ser adotadas as Melhores Tecnologias Práticas Disponíveis.

As emissões que resultam em Compostos Orgânicos Voláteis, são mais expressivas quando se trata das resultantes do Sistema Separador de água e óleo. Neste caso, o empreendimento possui um equipamento em bom estado de conservação, mas o efluente resultante fica armazenado ao ar livre, o que permite a liberação desses compostos voláteis, conforme Figura 36.

**Figura 36** - Sistema separador de água e óleo, com foco no local de armazenamento do efluente final.



Fonte: Arquivo próprio (2020).

Foi observado que o tanque de diesel tem a menor emissão de Compostos Orgânicos Voláteis, o que pode ser explicado pelo fato de que o combustível utilizado no empreendimento é considerado semivolátil e que o tanque utilizado está em boas condições de uso.

Com relação às emissões de metais e demais compostos, a maior fonte de emissão é o carregamento do caminhão betoneira, o que é esperado, pois também é a maior fonte de material particulado e os metais estão na forma de particulados. Dessas emissões, a maior parte delas é constituída de Manganês, Arsênio e Cromo total.

Sobre as propostas de melhorias referentes as emissões de metais, material particulado e demais compostos resultantes do carregamento das betoneiras, poderia ser feito o enclausuramento total do ponto de carga, utilizando cortinas, telas ou demais estruturas que permitam a entrada e saída dos caminhões betoneira.

Além do enclausuramento, sugere-se a reparação do aspersor de água já instalado no local, mas que se encontra inoperante. Outra opção, seria a instalação de sistema exaustor para a coleta das emissões geradas, conforme proposto no Capítulo 11, seção 12 da AP-42 (USEPA, 2006).

Ainda se recomenda a operação e manutenção dos filtros de manga conforme recomendações do fabricante, uma vez que foi constatada a sua operação com a porta aberta. Assim que a operação seja realizada com a porta fechada, as emissões do carregamento da betoneira e dos silos de cimento e materiais não convencionais (neste caso escória) serão reduzidas consideravelmente.

Sobre a movimentação das areias e britas, cabe ainda o enclausuramento da esteira transportadora, que atualmente é completamente aberta, e a finalização do enclausuramento das moegas e caixas de agregados, que são parcialmente fechadas. As emissões provenientes do carregamento da balança de agregados também seriam reduzidas com a finalização do enclausuramento parcial já existente.

O empreendimento já realiza a umectação ocasional das britas, conforme identificação visual da sua necessidade, mas poderia ser instalado um *timer* para o acionamento automático dos aspersores, ao menos nas épocas de maior calor.

Além da água, há a possibilidade de utilizar estabilizadores químicos na aspersão dos materiais para aumentar a eficiência do controle, conforme encontrado no AP-42 em seu capítulo 13, seção 2 (USEPA, 2006), entretanto, nesse caso seriam necessários maiores estudos para evitar possíveis impactos no concreto preparado.

Outra possibilidade para reduzir as emissões provenientes do armazenamento dos materiais em pilhas, seria o uso de anteparos ou o enclausuramento das baias, reduzindo assim o impacto do vento sobre os agregados e as emissões provenientes do seu manejo constante.

Com relação às emissões provenientes do tráfego dos veículos dentro do empreendimento, recomenda-se aumentar a frequência da umectação do solo, ou o uso de estabilizadores químicos, além da limpeza diária das vias. É interessante a instalação de um lava-rodas, impedindo o carreamento de sujeira pelas rodas, regulação da velocidade máxima do trânsito interno e caminhões de fornecedores devem ser sempre verificados com relação ao uso de lonas nas cargas e possíveis emissões.

Para as emissões provenientes do tanque de diesel, sugere-se uma boa manutenção e periódicos testes de estanqueidade, garantindo o seu funcionamento adequado.

O sistema separador de água e óleo deve sempre funcionar de acordo com as recomendações do fabricante, com verificações preventivas para evitar vazamentos. É interessante providenciar a cobertura do efluente oleoso gerado, uma vez que ele é o principal responsável pelas emissões dessa fonte

Em geral, recomenda-se a elaboração de projeto de enclausuramento das fontes de emissões atmosféricas e melhoria de procedimentos operacionais de manutenção dos equipamentos, limpeza do pátio, sistema separador de água e óleo, caixas de decantação, entre outros e a revisão anual destes, seguindo a orientação de fabricantes, quando existente.

A compilação das fontes de emissão atmosférica com as correspondentes propostas de melhoria, conforme item 8. Discussão dos resultados e propostas de melhorias, está apresentada no Quadro 24.

**Quadro 24** - Compilação dos pontos de emissão atmosférica e as propostas de melhoria correspondentes.

<b>Fontes de emissão atmosférica</b>	<b>Propostas de melhoria</b>
<b>Carregamento dos caminhões betoneiras</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Enclausuramento total do ponto de carga;</li> <li>- Reparação do aspersor de água já instalado no local;</li> <li>- Instalação de sistema exaustor para a coleta das emissões geradas;</li> <li>- Operação e manutenção dos filtros de manga conforme recomendações do fabricante;</li> </ul>
<b>Movimentação das areias e britas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Enclausuramento da esteira transportadora;</li> <li>-Enclausuramento completo das moegas e caixas de agregados, que são parcialmente fechadas;</li> <li>- Instalação de <i>timer</i> para o acionamento automático dos aspersores de água nos agregados graúdos;</li> </ul>
<b>Carregamento da balança de agregados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Enclausuramento completo das caixas de agregados, que são parcialmente fechadas;</li> </ul>

**Quadro 24 - Compilação dos pontos de emissão atmosférica e as propostas de melhoria correspondentes**

continuação

<p><b>Armazenamento dos materiais em pilhas</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalação de <i>timer</i> para o acionamento automático dos aspersores de água nos agregados graúdos;</li> <li>-Uso de estabilizadores químicos na aspersão dos materiais para aumentar a eficiência do controle;</li> <li>-Instalação de anteparos ou o enclausuramento das baias de agregados;</li> </ul>
<p><b>Tráfego dos veículos dentro do empreendimento</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aumento da frequência da umectação do solo;</li> <li>-Uso de estabilizadores químicos;</li> <li>-Limpeza diária das vias;</li> <li>-Instalação de um lava-rodas;</li> <li>-Regulação da velocidade máxima do trânsito interno;</li> <li>-Verificação dos caminhões de fornecedores com relação ao uso de lonas nas cargas;</li> </ul>
<p><b>Tanque de diesel</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manutenção do equipamento;</li> <li>- Realização de testes de estanqueidade periódicos;</li> </ul>
<p><b>Sistema separador de água e óleo</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Operação de acordo com as recomendações do fabricante;</li> <li>-Inspeções preventivas para evitar vazamentos;</li> <li>-Implantação da cobertura do efluente oleoso gerado;</li> </ul>
<p><b>Geral</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Enclausuramento de todas as fontes de emissões atmosféricas;</li> <li>-Melhoria de procedimentos operacionais de manutenção dos equipamentos, limpeza do pátio, sistema separador de água e óleo, caixas de decantação, entre outros;</li> <li>-Revisão anual dos procedimentos, seguindo a orientação de fabricantes.</li> </ul>

Fonte: Elaboração própria (2021).

## 9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo geral de identificar as principais fontes de emissões atmosféricas de uma central dosadora de concreto e apresentar as propostas para reduzir essas emissões foi atendido com o presente trabalho.

As fontes de emissões atmosféricas de material particulado identificadas durante visita ao empreendimento foram: o armazenamento, manuseio e movimentação de britas e areias, a erosão do vento que atinge as pilhas de agregados, o carregamento da balança de agregados, do caminhão betoneira, dos silos de cimento e materiais não convencionais, o tráfego de veículos nas vias pavimentadas do interior do empreendimento e a operação do tanque de diesel e sistema separador de água e óleo.

Também foram identificadas as fontes de emissão de metais e outros compostos, sendo elas o carregamento do cimento e dos materiais não convencionais (escória) ao silo de armazenamento e o carregamento dos caminhões betoneira.

Foi feito o levantamento da legislação aplicada, onde foi constatado que não existe legislação federal, estadual ou municipal específica para as emissões atmosféricas da atividade de preparação de massa de concreto.

Para a estimativa das emissões atmosféricas das fontes identificadas no empreendimento em estudo foram utilizados fatores de emissão constante em literatura internacional, especificamente da Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA em inglês), uma vez que no Brasil tais fatores são inexistentes para a referida atividade.

As propostas de melhoria apresentadas foram elaboradas com base na literatura levantada e experiência de campo, apesar de não haver um Guia específico de melhores práticas para a atividade de preparação de massa de concreto.

Visto a falta de embasamento legal local e para a atividade desenvolvida, recomenda-se a elaboração de legislação específica, com o estabelecimento de padrões de emissão a serem cumpridos pelos empreendedores.

É interessante também a criação de fatores de emissão específicos para que os empreendedores possam realizar o cálculo e verificar se estão atendendo os padrões estabelecidos. Com isso, sugere-se a elaboração de Guias de Melhores Práticas específicos para as centrais dosadoras de concreto, ajudando os empreendedores a melhorar as suas instalações e processos, reduzindo as emissões resultantes.

Por fim, recomenda-se a continuidade de novos estudos no assunto, colaborando para o desenvolvimento de novas tecnologias.

## 10. REFERÊNCIAS

AFFONSO, Ariana Eliza. **POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NA ESFERA INDUSTRIAL**: estudo de caso em indústria de embalagens fabricadas a partir do papel reciclado. 2018. 89 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialidade em Conformidade Ambiental, Escola Superior da Cetesb, São Paulo, 2018.

ALFARO, Stéphane C. et al. Mineral aerosol production by wind erosion: Aerosol particle sizes and binding energies. **Geophysical Research Letters**, [s.l.], v. 25, n. 7, p.991-994, 1 abr. 1998. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/98gl00502>. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2008GB003240>>. Acesso em: 21 jan. 2020.

ALMEIDA, Luiz C. de. **Notas de Aula da disciplina Estrutura IV – Concreto armado**, FEC-Unicamp, Campinas, 2002.

AMBIENTEBRASIL (Brasil). Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama. **PRONAR – Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar**. Disponível em: <[https://ambientes.ambientebrasil.com.br/urbano/programas\\_e\\_projetos/pronar\\_-\\_programa\\_nacional\\_de\\_controle\\_de\\_qualidade\\_do\\_ar.html](https://ambientes.ambientebrasil.com.br/urbano/programas_e_projetos/pronar_-_programa_nacional_de_controle_de_qualidade_do_ar.html)>. Acesso em: 29 jan. 2020.

ARAÚJO, Maria Helena et al. **Método de produção de supressor de poeira obtido a partir da modificação química do glicerol, seu produto e uso do glicerol para a produção do supressor de poeira**. Depositante: Fapemig. BR n. PI 0901194-3. Depósito: 30 jan. 2009. Concessão: 16 nov. 2010. Disponível em: <<https://www.escavador.com/patentes/307205/metodo-de-producao-de-supressor-de-poeira-obtido-a-partir-da-modificacao?page=1>>. Acesso em: 30.03.2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7212**: Execução de Concreto dosado em central - Procedimento. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 23 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Procedimento. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 06 p.

AVILA-CAMPOS, Mario Júlio. **Arsênico (As)**. Departamento de Microbiologia da Universidade de São Paulo. Disponível em: <[http://www.icb.usp.br/bmm/mariojac/index.php?option=com\\_content&view=article&id=40&Itemid=47&lang=br](http://www.icb.usp.br/bmm/mariojac/index.php?option=com_content&view=article&id=40&Itemid=47&lang=br)>. Acesso em: 21 jan. 2020.

AVILA-CAMPOS, Mario Júlio. **Cádmio (Cd)**. Departamento de Microbiologia da Universidade de São Paulo. Disponível em: <[http://www.icb.usp.br/bmm/mariojac/index.php?option=com\\_content&view=article&id=42&Itemid=49&lang=br](http://www.icb.usp.br/bmm/mariojac/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=49&lang=br)>. Acesso em: 21 jan. 2020.

BARRY, Roger G.; CHORLEY, Richard J. **Atmosfera, Tempo e Clima**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman Editora Ltda., 2009. 511 p. Tradução de: Ronaldo Cataldo Costa. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=t8LXP791TMIC&oi=fnd&pg=PR2&dq=atmosfera+terrestre&ots=QP70Z6MTdu&sig=xud-qbeD2-EzytiZJHIFtGVSycc#v=onUSEP&q=atmosfera%20terrestre&f=false>>. Acesso em: 14 maio 2019.

BATTAGIN, Inês Laranjeira da Silva. Normas Técnicas de Concreto e Estruturas. In: ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Ibracon, 2011. Cap. 5. p. 157-184.

BRAGA, Alfesio et al. Poluição Atmosférica e Saúde Humana. **Revista USP**, São Paulo, v. 51, n. 6, p.58-71, nov. 2001. Trimestral. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/35099/37838>>. Acesso em: 16 maio 2019.

BRASIL. Constituição (1975). Decreto-lei nº 1413, de 14 de agosto de 1975. **Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais**. Brasília, Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/1965-1988/De1413.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1965-1988/De1413.htm)>. Acesso em: 29 jan. 2020.

BRASIL. Constituição (1981). Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Brasília, 02 set. 1981. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm)>. Acesso em: 30 jan. 2020.

BRASIL. Constituição (1989). Resolução Conama nº 5, de 15 de junho de 1989. **Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar - PRONAR**. DOU, 25 ago. 1989. p. 14713-14714. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=81>>. Acesso em: 12 maio 2019.

BRASIL. Constituição (1976). Portaria nº 231, de 27 de abril de 1976. **Estabelece padrões de qualidade do ar**. Brasília.

BRASIL. Constituição (1986). Resolução Conama nº 18, de 06 de maio de 1986. **Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores – PROCONVE**. Brasília, 17 jun. 1986. p. 8792-8795. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=41>>. Acesso em: 29 jan. 2020.

BRASIL. Constituição (1990). Resolução Conama nº 3, de 28 de junho de 1990. **Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR.** DOU, 22 ago. 1990. Seção 1, p. 15937-15939. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em: 12 maio 2019.

BRASIL. Constituição (2002). Resolução Conama nº 307, de 05 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.** 136. ed. DOU, 17 jul. 2002. p. 95-96. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 12 maio 2019.

BRASIL. Constituição (2006). Resolução Conama nº 382, de 26 de dezembro de 2006. **Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas.** DOU, 02 jan. 2007. n. 1, Seção 1, p. 131-137. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>>. Acesso em: 12 maio 2019.

BRASIL. Constituição (2011). Resolução Conama nº 436, de 22 de dezembro de 2011. **Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007.** DOU, 26 dez. 2011. p. 304-311. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=660>>. Acesso em: 12 maio 2019.

BRASIL. Constituição (2011). Lei Complementar nº 140, de 08 de dezembro de 2011. **Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981.** DOU, 09 dez. 2011. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/LCP/Lcp140.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LCP/Lcp140.htm)>. Acesso em: 26 abr 2020.

BRASIL. (Constituição 2015). Lei nº 13.105, de 16 de março de 2015. **Código de processo civil.** Brasília, DF, 2015. Com alterações posteriores. Originalmente publicado no Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 mar. 2015. Seção 1. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2015/lei/13105.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/13105.htm)>. Acesso em: 20 jan 2021.

BRASIL. Constituição (2018). Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018. **Dispõe sobre padrões de qualidade do ar.** 223. ed. DOU, 21 nov. 2018. Seção 01, p. 155-156. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>>. Acesso em: 14 maio 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Poluentes Atmosféricos**. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos.html#Hidrocarbonetos>>. Acesso em: 25 abr. 2020

CAMILO, Santelmo. Mistura mais eficiente: Entenda as características e diferenças entre centrais dosadoras e misturadoras, um passo indispensável para um correto dimensionamento do equipamento a ser adotado. **Revista M&T - Manutenção & Tecnologia**: Uma trajetória de sucesso, São Paulo, v. 227, p.66-71, ago. 2018. Mensal. Disponível em: <<http://www.revistamt.com.br/Materias/Exibir/mistura-mais-eficiente?Pagina=1>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

CARBAJAL, Enrique Pasquel. Conceptos generales sobre el concreto y los materiales para su elaboración. In: CARBAJAL, Enrique Pasquel. **Temas de Tecnología del Concreto**. 2. ed. Lima: Colegio de Ingenieros de Perú, Consejo Nacional, 1998. Cap. 2. p. 11-15.

CAVALCANTI, P. M. (Novembro de 2010). **Modelo de Gestão da Qualidade do Ar – Abordagem Preventiva e Corretiva**. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: PPE/COPPE/UFRJ. Disponível em: <[http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/doutorado/Paulina\\_Maria\\_Porto\\_Silva\\_Cavalcanti.pdf](http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/doutorado/Paulina_Maria_Porto_Silva_Cavalcanti.pdf)>.

CCAA. **Environmental Management Guideline for Concrete Batch Plants**. Austrália, 2019. Disponível em <[https://www.ccaa.com.au/imis\\_prod/documents/CCAA\\_Environmental\\_Guideline\\_final.pdf](https://www.ccaa.com.au/imis_prod/documents/CCAA_Environmental_Guideline_final.pdf)>. Acesso em: 07 abril 2020.

CETESB. **Berílio**. 2018. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2019/01/Ber%C3%ADlio.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2020.

CETESB. **Cádmio**. 2018. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2018/05/C%C3%A1dmio.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2020.

CETESB. **Chumbo e seus compostos**. 2018. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Chumbo.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2020.

CETESB. **Crômio e seus compostos**. 2017. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Cromio.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2020.

CETESB. DECISÃO DE DIRETORIA Nº 010/2010/P. **Dispõe sobre o Monitoramento de Emissões de Fontes Fixas de Poluição do Ar no Estado de São Paulo** – Termo de Referência para a Elaboração do Plano de Monitoramento de Emissões Atmosféricas (PMEA). São Paulo, 2010.

CETESB. DECISÃO DE DIRETORIA Nº 133/2017/C. **Dispõe sobre “Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível (MTPD) elaborados no âmbito do Plano de Redução de Emissões Atmosféricas – PREFE 2014”**. São Paulo, 2017.

CETESB. **Estimativa de emissões de poluentes atmosféricos**. São Paulo, 2018. 1 CD (312 p.), il. color., PDF, 136 MB. (Cadernos da Gestão do Conhecimento. Atualização Profissional).

CETESB. **Manganês**. 2018. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Mangan%C3%AAs.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2020.

CETESB. **Níquel e seus compostos**. 2018. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2019/01/N%C3%ADquel.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2020.

CETESB. **NT-01**: Nota sobre Tecnologia de Controle, Usina de Preparação de Concreto. São Paulo: Cetesb, 1983. 09 p.

CETESB (São Paulo). **Padrões de Qualidade do Ar**. 2020. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>>. Acesso em: 30 jan. 2020.

CETESB. **Plano de Redução de Emissão de Fontes Estacionárias - PREFE: ANEXO ÚNICO** (a que se refere o inciso I da Decisão de Diretoria nº 289/2014/P, de 08/10/2014). São Paulo: Cetesb – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2014. 202 p. Disponível em <[https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2015/09/PREFE\\_2014.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2015/09/PREFE_2014.pdf)>. Acesso em: 17 mar. 2020.

CETESB. **Plano de Redução de Emissões de Fontes Estacionárias: Guia de melhor tecnologia prática disponível Refinarias de Petróleo e Calcinação de Coque**. São Paulo: Cetesb, 2015. 16 p. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2015/12/Guia-MTPD-Refinarias.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2020.

CETESB. **Poluentes**. 2020. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>>. Acesso em: 25 abr. 2020.

CETESB. **Qualidade do ar no Estado de São Paulo 2013**. São Paulo, 2014a. (Série Relatórios). Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: 13 de maio de 2019.

CETESB. **Qualidade do ar no Estado de São Paulo 2018**. São Paulo, 2019. (Série Relatórios). Disponível em: <[https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2019/07/Cetesb\\_QualidadeAr\\_2018R.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2019/07/Cetesb_QualidadeAr_2018R.pdf)>. Acesso em: 05 de março de 2020.

CETESB. **QUALAR - Sistema de Informações da Qualidade do Ar**. 2021. Disponível em: <<https://qualar.cetesb.sp.gov.br/qualar/home.do>>. Acesso em: 15 jan. 2021

CETESB. **Redes de Monitoramento**. 2020. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/redes-de-monitoramento/>>. Acesso em: 25 abr. 2020.

CETESB. **Selênio**. 2018. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2018/07/Sel%C3%AAnio.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2020.

EUROPEAN UNION. DIRECTIVE Nº 2010/75/EU. **On industrial emissions (integrated pollution prevention and control)**. 2010. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32010L0075>> Acesso em: 07 abril 2020.

FERNANDES, Paulo Sérgio. **Gestão de fontes estacionárias de poluição atmosférica**. In: EMISSÕES Atmosféricas. Curitiba: Editora UFPR, 2003. p. 181-285. Disponível em: <[http://www.ambiental.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2014/08/Livro\\_TGA-EA-\\_cap\\_3\\_Fontes\\_Fixas.pdf](http://www.ambiental.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2014/08/Livro_TGA-EA-_cap_3_Fontes_Fixas.pdf)>. Acesso em: 24 jan. 2020.

FIGUEIRA, Ana Flávia. **Caminhão betoneira, como funciona?** 2016. Disponível em: <<https://www.concrelit.com.br/caminhao-betoneira/>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

FREITAS, Tânia Christina Marchesi de; MELNIKOV, Petr. O uso e os impactos da reciclagem de cromo em indústrias de curtume em Mato Grosso do Sul, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s.l.], v. 11, n. 4, p.305-310, dez. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522006000400002>. Disponível em: <[http://www.abes-dn.org.br/publicacoes/engenharia/resaonline/v11n04/v11n04nt02\\_006\\_06.pdf](http://www.abes-dn.org.br/publicacoes/engenharia/resaonline/v11n04/v11n04nt02_006_06.pdf)>. Acesso em: 21 jan. 2020.

GRANDES CONSTRUÇÕES (Brasil). Associação Brasileira de Tecnologia Para Construção e Mineração. Centrais de concreto: mercado reticente, mas demandante. **Especial Rodovias**: Aumento das taxas de retorno resulta em número recorde de manifestação de interesse por novas concessões, São Paulo, v. 62, p.58-59, ago. 2015. Mensal. Disponível em: <<http://www.grandesconstrucoes.com.br/Edicoes/Visualizar?IDEdicao=62>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 3. ed. São Paulo: Ibracon, 2017. Cap. 29. p. 905-944. Disponível em: <<https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc48.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2019.

HELENE, Paulo; BONI, Ricardo; BRITEZ, Carlos. Controle da resistência à compressão do concreto: análise comparativa entre os procedimentos propostos pela ABNT, ACI e EN. Estudo de Caso. **Revista Alconpat**, [s.l.], v. 8, n. 3, p.333-347, 31 ago. 2018. Revista ALCONPAT. <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i3.303>. Disponível em: <<http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2018/09/303-2356-2-PB.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2019.

IBAMA. **Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores – Proconve/Promot.** 3. ed. Brasília: Ibama, 2011. 584 p. (Coleção Meio Ambiente. Série Diretrizes – Gestão Ambiental, n.º 3).

IPCC, 2014: **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. Disponível em: <[https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf)>. Acesso em: 14 mai. 2019.

IPEA. **Sustentabilidade ambiental no Brasil: Biodiversidade, economia e bem-estar humano.** Brasília, 2010. 640 p. (Série Eixos Estratégicos do Desenvolvimento Brasileiro). Disponível em: <[https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/livro07\\_sustentabilidadeambienta.pdf](https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/livro07_sustentabilidadeambienta.pdf)> Acesso em: 25 abr. 2020.

KLEIN, Claudia; AGNE, Sandra Aparecida Antonini. FÓSFORO: DE NUTRIENTE À POLUENTE!. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [s.l.], v. 8, n. 8, p.1713-1721, 11 jan. 2013. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/223611706430>. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/6430/pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2020.

MAURY, Maria Beatriz; BLUMENSCHHEIN, Raquel Naves. **Produção de cimento: impactos à saúde e ao meio ambiente.** Sustentabilidade em Debate, Brasília, v.3, n. 1, p. 75-96, jan/jun 2012. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/12110>>. Acesso em: 14 mai. 2019.

NAZARENO, et al., Estudo de caso - Poeira nas operações de Mina: alta eficiência no controle de particulados a través do uso de supressor natural. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, out. 2018. Disponível em: <<https://www.eumed.net/rev/oel/2018/10/control-particulados-supressornatural.html>>. Acesso em: 30.03.2020

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J.. **Tecnologia do Concreto.** 2. ed. São Paulo: Bookman Editora Ltda., 2013. 448 p. Tradução de: Ruy Alberto Cremonini. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=cqY5AgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR4&dq=concreto&ots=RWtEBHwuQ0&sig=MYngVMfvsM4up0kQ4Mf-WHCgA1w#v=onUSEPAGE&q=concreto&f=false>>. Acesso em: 23 jun. 2019.

PEDROSO, Fábio Luís. Concreto: As origens e a evolução do Material Construtivo mais usado pelo homem. **Concreto & Construções: Concreto: Material Construtivo mais consumido no mundo**, São Paulo, v. 53, n. 1, p.14-19, jan. 2009. Trimestral.

RESENDE, Fernando. **Poluição Atmosférica por Emissão de Material Particulado: Avaliação e Controle nos Canteiros de Obras de Edifícios**. 2007. 232 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SÃO PAULO (Estado). Constituição (1976). Lei nº 997, de 31 de maio de 1976. **Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente**. São Paulo, SP, 01 jun. 1976. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1976/alteracao-lei-997-31.05.1976.html>>. Acesso em: 12 maio 2019.

SÃO PAULO (Estado). Constituição (1976). Decreto nº 8468, de 08 de setembro de 1976. **Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente**. São Paulo, SP, 09 set. 1976. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1976/decreto-8468-08.09.1976.html>>. Acesso em: 12 maio 2019.

SÃO PAULO (Estado). Constituição (2013). Decreto nº 59.113, de 23 de abril de 2013. **Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas**. DOU, 24 abr. 2013. v. 123, n. 76, Seção 1.

SÃO PAULO (Estado). Constituição (2019). Deliberação nº 20, de 24 de setembro de 2019. **Aprova a Classificação da Qualidade do Ar - Relação de Municípios e Dados de Monitoramento - proposta pela Cetesb**. São Paulo, SP, 26 set. 2019. v. 129, n. 183, Seção 1, p. 42-45. Disponível em: <[http://diariooficial.imprensaoficial.com.br/nav\\_v5/index.asp?c=4&e=20190926&p=1](http://diariooficial.imprensaoficial.com.br/nav_v5/index.asp?c=4&e=20190926&p=1)> Acesso em: 09 mar. 2020.

SÃO PAULO (Estado). Deliberação Normativa CONSEMA nº 01/2014, de 23 de abril de 2014. **Fixa tipologia para o exercício da competência municipal, no âmbito do licenciamento ambiental, dos empreendimentos e atividades de potencial impacto local, nos termos do Art. 9º, inciso XIV, alínea “a”, da Lei Complementar Federal 140/2011**. São Paulo, SP. Disponível em: <<http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/consema/2014/01/DelNormativa01.pdf>> Acesso em: 26 abr. 2020.

SÃO PAULO (Estado). Deliberação Normativa CONSEMA nº 01/2018, de 13 de novembro de 2018. **Fixa tipologia para o licenciamento ambiental municipal de empreendimentos e atividades que causem ou possam causar impacto ambiental de âmbito local, nos termos do Art. 9º, inciso XIV, alínea “a”, da Lei Complementar Federal nº 140/2011**. São Paulo, SP. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/licenciamentoambiental/wp-content/uploads/sites/32/2019/05/Delibera%C3%A7%C3%A3o-Consema-n%C2%BA-01-2018.pdf>> Acesso em: 26 abr. 2020.

SÃO PAULO (Estado). Ministério Público do Estado de São Paulo. Ato normativo nº 484-CPJ, de 05 de outubro de 2006 (PT n. 123.515/06). **Disciplina o inquérito civil e demais investigações do Ministério Público na área dos interesses difusos, coletivos e individuais homogêneos, as audiências públicas, os compromissos de ajustamento de conduta e as recomendações, e dá outras providências.** Diário Oficial do Estado de São Paulo, Poder Executivo, São Paulo, v. 116, n.19, 6 out. 2006. Seção 1, p. 36-38. Disponível em: <[http://biblioteca.mpsp.mp.br/PHL\\_img/ATOS/484.pdf](http://biblioteca.mpsp.mp.br/PHL_img/ATOS/484.pdf)>. Acesso em: 20 jan 2021.

SÃO PAULO (Município). Lei nº 16402, de 22 de março de 2016. **Disciplina o parcelamento, o uso e a ocupação do solo no Município de São Paulo, de acordo com a Lei nº 16.050, de 31 de julho de 2014 – Plano Diretor Estratégico (PDE).** São Paulo, 23 mar. 2016. n. 54, p. 1-17. Disponível em: <<http://www.docidadesp.imprensaoficial.com.br/NavegaEdicao.aspx?ClipID=2QUAFFO7S38BLeER7VNEFPVLQBE&PalavraChave=16.402>>. Acesso em: 28 abr. 2020.

SÃO PAULO (Município). Lei nº 14.933, de 05 de junho de 2009. **Institui a política de mudança do clima no município de São Paulo.** São Paulo, SP. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/sp/s/sao-paulo/lei-ordinaria/2009/1493/14933/lei-ordinaria-n-14933-2009-institui-a-politica-de-mudanca-do-clima-no-municipio-de-sao-paulo>>. Acesso em: 19 jan. 2021.

SÃO PAULO (Município). Portaria nº 137/18-SMT.GAB. São Paulo, SP, 04 ago. 2018. Disponível em: [http://www.cetsp.com.br/media/722444/p-137\\_18.pdf](http://www.cetsp.com.br/media/722444/p-137_18.pdf). Acesso em: 19 jan. 2021.

SÃO PAULO (Município). Lei nº 16.802, de 17 de janeiro de 2018. **Dá nova redação ao art. 50 da Lei nº 14.933/2009, que dispõe sobre o uso de fontes motrizes de energia menos poluentes e menos geradoras de gases do efeito estufa na frota de transporte coletivo urbano do Município de São Paulo, e dá outras providências.** São Paulo, SP. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/sp/s/sao-paulo/lei-ordinaria/2018/1680/16802/lei-ordinaria-n-16802-2018-da-nova-redacao-ao-art-50-da-lei-n-14933-2009-que-dispoe-sobre-o-uso-de-fontes-motrizes-de-energia-menos-poluentes-e-menos-geradoras-de-gases-do-efeito-estufa-na-frota-de-transporte-coletivo-urbano-do-municipio-de-sao-paulo-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 19 jan. 2021.

SCHNELLE, Karl B.; BROWN, Charles A.. **Air Pollution Control Technology Handbook.** New York: CRC Press, 2002. 380 p. Disponível em: <<http://docshare01.docshare.tips/files/12091/120916402.pdf>> Acesso em: 24 jan. 2020.

SEIXAS, Tércia G.; KEHRIG, Helena do A. O SELÊNIO NO MEIO AMBIENTE. **Oecologia Brasiliensis**, [s.l.], v. 11, n. 2, p.264-276, nov. 2007. Trimestral.

SEPA. SCOTTISH ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. **Scottish Pollutant Release Inventory: Carbon monoxide.** 2017. Disponível em: <<http://apps.sUSEPA.org.uk/spripa/Pages/SubstanceInformation.aspx?pid=4>>. Acesso em: 25 jun. 2019.

SEPA. *SCOTTISH ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. **Scottish Pollutant Release Inventory: Beryllium.*** 2017. Disponível em: <<http://apps.sUSEPA.org.uk/SPRIPA/Pages/SubstanceInformation.aspx?pid=100>>. Acesso em: 21 jan. 2020.

SILVA, Patrícia Sardão da. **Aplicação dos Conceitos de P + L e LEAN and GREEN numa Central Dosadora de Concreto.** 2014. 118 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2014. Disponível em: <<http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/4373/Patr%C3%A9cia%20Sard%C3%A3o%20da%20Silva.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 14 maio 2019.

SILVA, Vanessa Gomes da. **Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios de Escritórios Brasileiros: Diretrizes e Base Metodológica.** 2003. 333 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, DUSEPArartamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SIMEA. XXII SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA, 2., 2014, São Paulo. **REDUÇÃO DA EMISSÃO EVAPORATIVA DO VEÍCULO EM MOVIMENTO E NO REABASTECIMENTO DE COMBUSTÍVEL.** São Paulo: Blucher, 2014. 15 p. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3.amazonaws.com/engineeringproceedings/simea2014/105.pdf>. Acesso em: 12 março 2020.

SINDUSCON-SP (São Paulo). **SindusCon-SP e Abesc pedem livre circulação de caminhões-betoneira na capital:** ofício à secretaria municipal dos transportes detalha processo até a concretagem. Ofício à Secretaria Municipal dos Transportes detalha processo até a concretagem. 2020. Disponível em: <https://sindusconsp.com.br/sinduscon-sp-e-abesc-pedem-livre-circulacao-de-caminhoes-betoneira-na-capital/>. Acesso em: 19 jan. 2021.

SBAI. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE, 12, 2015, Natal. **METODOLOGIA PARA VERIFICAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO DOS PRECIPITADORES ELETROSTÁTICOS.** Natal: Ufes/sba, 2015. 6 p.

SOUZA, Ana Kely Rufino; MORASSUTI, Claudio Yamamoto; DEUS, Warley Batista de. **POLUIÇÃO DO AMBIENTE POR METAIS PESADOS E UTILIZAÇÃO DE VEGETAIS COMO BIOINDICADORES.** *Acta Biomédica Brasiliensia*, [s.l.], v. 9, n. 3, p.95-106, 15 dez. 2018. Universidade Iguacu - Campus V. <http://dx.doi.org/10.18571/acbm.189>.

SUHARA, R. K. **Curso engenharia de controle da poluição ambiental: tecnologia de controle da poluição do ar.** São Paulo, FAAP/CECUR, 1997. Apostila de curso.

TIPPING, E. et al. Atmospheric deposition of phosphorus to land and freshwater. **Environ. Sci.: Processes Impacts**, [s.l.], v. 16, n. 7, p.1608-1617, 2014. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/c3em00641g>. Disponível em:

<[https://www.researchgate.net/publication/260196035\\_Atmospheric\\_Deposition\\_of\\_Phosphorus\\_to\\_Land\\_and\\_Freshwater](https://www.researchgate.net/publication/260196035_Atmospheric_Deposition_of_Phosphorus_to_Land_and_Freshwater)>. Acesso em: 21 jan. 2020.

UFSC – **Controle da Poluição Atmosférica**: metodologia de controle da poluição atmosférica. Florianópolis, 2007. Disponível em: <[http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa/uploads/Teaching/FisPoluicaoAr2016/Lisboa\\_Cap\\_7\\_controle\\_poluicao\\_atmosferica\\_2007.pdf](http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa/uploads/Teaching/FisPoluicaoAr2016/Lisboa_Cap_7_controle_poluicao_atmosferica_2007.pdf)>. Acesso em: 27 jan. 2020.

USEPA. *United States Environmental Protection Agency. United States Environmental Protection Agency (Comp.). Air Emissions Factors and Quantification: Concrete Batching*. 5. ed. Washington DC: Ap-42, 2006. 14 p. Disponível em: <<https://www3.USEPA.gov/ttn/chief/ap42/ch11/final/c11s12.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2019.

USEPA. *United States Environmental Protection Agency. United States Environmental Protection Agency (Comp.). Air Emissions Factors and Quantification: Aggregate Handling and Storage Piles*. 5. ed. Washington DC: Ap-42, 2006. 06 p. Disponível em: <<https://www3.USEPA.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0204.pdf>>. Acesso em: 24 jan 2020.

USEPA. *United States Environmental Protection Agency. United States Environmental Protection Agency (Comp.). Air Emissions Factors and Quantification: Industrial Wind Erosion*. 5. ed. Washington DC: Ap-42, 2006. 15 p. Disponível em: <<https://www3.USEPA.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0205.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2019.

USEPA. *United States Environmental Protection Agency. United States Environmental Protection Agency (Comp.). Air Emissions Factors and Quantification: Paved Roads*. 5. ed. Washington DC: Ap-42, 2011. 15 p. Disponível em: <<https://www3.USEPA.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0201.pdf>>. Acesso em: 17 jan 2020.

USEPA. *United States Environmental Protection Agency. United States Environmental Protection Agency (Comp.). Air Emissions Factors and Quantification: Unpaved Roads*. 5. ed. Washington DC: Ap-42, 2006. 20 p. Disponível em: <<https://www3.USEPA.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0202.pdf>>. Acesso em: 17 jan 2020.

USEPA. *United States Environmental Protection Agency. United States Environmental Protection Agency (Comp.). Air Emissions Factors and Quantification: Fugitive Dust Sources*. 5. ed. Washington DC: Ap-42, 1995. 2 p. Disponível em: <[https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-10/documents/13.2\\_fugitive\\_dust\\_sources.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-10/documents/13.2_fugitive_dust_sources.pdf)>. Acesso em: 17 jan 2020.

USEPA. *United States Environmental Protection Agency. United States Environmental Protection Agency (Comp.). Air Emissions Factors and Quantification: Introduction to AP 42, Volume I, Fifth Edition*. 5. ed. Washington DC: Ap-42, 1995. 10 p. Disponível em: <<https://www3.USEPA.gov/ttn/chief/ap42/c00s00.pdf>>. Acesso em: 18 jan 2020.

USEPA. *United States Environmental Protection Agency. United States Environmental Protection Agency (Comp.). Air Emissions Factors and Quantification: Petroleum Refinig*. 5. ed. Washington DC: Ap-42, 2015. 21 p. Disponível em: <[https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-09/documents/5.1\\_petroleum\\_refining.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-09/documents/5.1_petroleum_refining.pdf)>. Acesso em: 27 out 2020.

USEPA. *United States Environmental Protection Agency. Background Document: General Air Quality Permit for New or Modified True Minor Source Concrete Batch*. 2014. Disponível em: <[https://www.USEPA.gov/sites/production/files/2015-12/documents/concrete\\_batch\\_background\\_doc\\_version\\_1\\_0.pdf](https://www.USEPA.gov/sites/production/files/2015-12/documents/concrete_batch_background_doc_version_1_0.pdf)>. Acesso em: 07 abril 2020.

USEPA. *United States Environmental Protection Agency. Particulate Matter (PM) Basics*. 2018. Disponível em: <<https://www.USEPA.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>>. Acesso em: 14 maio 2019.

USEPA. *United States Environmental Protection Agency. Particulate Matter (PM) Pollution: Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM)* 2018. Disponível em: < <https://www.USEPA.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm> >. Acesso em: 14 maio 2019.

USEPA. *United States Environmental Protection Agency. Sulfur Dioxide Basics*. 2019. Disponível em: <<https://www.USEPA.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics#what%20is%20so2>>. Acesso em: 14 maio 2019.

USEPA. *United States Environmental Protection Agency. United States Environmental Protection Agency (Comp.). EPII – Emission Inventory Improvement Program: Glossary – Introduction and Use of EPII Guidance for Emissions Inventory and Development. Volume I, North Carolina*, 1997. 122 p. Disponível em: <<https://www.USEPA.gov/sites/production/files/2015-08/documents/i01.pdf>>. Acesso em: 21 mar 2020.

USEPA. *United States Environmental Protection Agency. United States Environmental Protection Agency (Comp.). EPII – Emission Inventory Improvement Program: Chapter 1 – Introduction to Stationary Point Source Emission Inventory Development. Volume II, North Carolina*, 2001. 316 p. Disponível em: <[https://www.USEPA.gov/sites/production/files/2015-08/documents/ii01\\_may2001.pdf](https://www.USEPA.gov/sites/production/files/2015-08/documents/ii01_may2001.pdf)> Acesso em: 21 mar 2020.

USEPA. *United States Environmental Protection Agency. United States Environmental Protection Agency. **User's Guide to TANKS: Storage Tank Emissions Calculation Software.** North Carolina, 1999. 87 p. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/ttn/chief/software/tanks/tank4man.pdf>> Acesso em: 29 out 2020.*

VENTEC AMBIENTAL EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES LTDA. **Manual Técnico de Instalação, Operação e Manutenção.** Filtros de Manga. Indaiatuba, 2010.

WWF. **Sustentabilidade:** Da Teoria à Prática. Disponível em: <[https://www.wwf.org.br/participe/porque\\_participar/sustentabilidade/](https://www.wwf.org.br/participe/porque_participar/sustentabilidade/)>. Acesso em: 25 abr. 2020.

**ANEXO A**  
**ESTIMATIVA DAS EMISSÕES EVAPORATIVAS**

**- METEOROLOGIA - DADOS BRUTOS EXTRAIDOS DO QUALAR E CÁLCULO DAS MÉDIAS**

**- PLANILHA DE SAÍDA DO PROGRAMA TANKS 4.09D**

**DADOS BRUTOS**  
**PLANILHAS DO SISTEMA DE INFORMAÇÕES DA QUALIDADE DO AR -**  
**QUALAR**



# Sistema de Informação de Qualidade do Ar

## RELATÓRIO - MÉDIA MÁXIMA

Ano: 2018

Parâmetr TEMP (Temperatura do Ar) °C

Realizar representatividade N

6 - ALTO TIETE													
Local de amostragem	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média do Período
Parque D.Pedro II	28,3	27,8	30,1	27,7	25,4	23,9	25,6	22,7	26,1	25,0	26,5	29,4	26,5
São Caetano do Sul	--	27,5	30,1	28,0	25,2	21,5	24,7	22,3	25,7	24,4	26,6	29,8	26,0
Pinheiros	29,2	28,4	30,9	28,1	25,7	24,3	25,7	23,2	26,5	25,8	27,2	30,7	27,1
Taboão da Serra	--	--	--	28,2	25,0	24,5	25,0	22,5	25,7	24,8	26,5	29,9	25,8
Interlagos	27,3	26,3	29,0	26,0	24,0	22,7	24,5	21,4	24,1	23,2	24,8	28,5	25,1
Carapicuíba	27,3	26,2	29,1	26,5	24,0	23,0	24,3	21,5	24,7	24,1	25,6	29,0	25,5
Guarulhos-Paço	28,4	27,5	29,9	27,7	25,4	23,7	25,3	22,6	26,1	24,9	26,4	29,9	26,5
Capão Redondo	27,5	26,7	29,3	27,0	24,6	23,0	24,7	21,7	24,8	23,9	25,2	29,1	25,6
Marg.Tietê-Pte	28,4	27,6	29,9	27,3	25,1	23,8	25,1	22,5	25,8	25,1	26,5	30,1	26,4
S.Bernardo-Centro	28,2	--	--	26,1	23,5	20,5	--	--	--	--	--	--	24,6
Guarulhos-Pimentas	27,7	27,0	28,7	26,5	24,5	23,0	24,8	22,0	25,8	24,7	25,8	29,7	25,9
Pico do Jaraguá	25,2	25,4	26,9	23,9	21,5	20,3	21,9	19,2	22,7	22,1	23,6	28,0	23,4



# Sistema de Informação de Qualidade do Ar

## RELATÓRIO - MÉDIA MÁXIMA

Ano: 2019

Parâmetr TEMP (Temperatura do Ar) °C

Realizar representatividade N

6 - ALTO TIETE													
Local de amostragem	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média do Período
Parque D.Pedro II	32,3	28,5	28,6	28,1	26,1	25,0	23,8	24,0	26,0	29,3	27,3	28,5	27,3
São Caetano do Sul	32,3	28,4	26,4	27,8	26,2	24,5	23,3	23,3	24,5	28,2	26,5	28,2	26,6
Pinheiros	33,1	29,5	29,7	28,9	27,2	25,8	24,6	24,9	26,8	30,3	28,2	29,6	28,2
Taboão da Serra	31,6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	31,6
Interlagos	31,6	27,8	26,6	26,5	24,9	20,3	--	--	--	--	--	--	26,3
Carapicuíba	31,4	27,7	27,5	27,0	24,8	23,6	21,8	22,7	24,7	27,8	26,2	27,5	26,1
Guarulhos-Paço	32,0	28,3	28,3	27,8	26,0	23,7	23,0	23,1	25,1	28,0	26,5	27,8	26,7
Capão Redondo	31,3	27,7	27,2	27,4	24,8	23,6	22,4	22,6	23,4	27,3	25,9	27,1	25,9
Marg.Tietê-Pte	32,2	28,5	28,3	27,9	25,8	24,6	23,3	23,7	25,7	28,8	27,2	28,3	27,0
Guarulhos-Pimentas	32,0	27,8	28,0	27,9	25,8	24,7	23,5	23,2	25,3	28,6	26,7	28,0	26,8
Pico do Jaraguá	29,5	26,1	25,7	24,9	22,9	22,0	20,3	20,4	21,1	27,0	25,2	25,7	24,2



# Sistema de Informação de Qualidade do Ar

## RELATÓRIO - MÉDIA MÁXIMA

Ano: 2020

Parâmetr TEMP (Temperatura do Ar) °C

Realizar representatividade N

6 - ALTO TIETE													
Local de amostragem	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média do Período
Parque D.Pedro II	28,7	26,9	28,2	26,6	24,4	24,6	24,8	24,5	29,4	27,6	27,2	28,4	26,8
São Caetano do Sul	28,7	26,3	27,9	26,1	24,0	24,5	24,4	24,0	29,0	27,8	26,9	28,6	26,5
Pinheiros	29,9	27,9	29,3	27,6	24,9	24,7	25,6	25,2	30,3	38,8	--	--	28,4
Carapicuíba	27,8	26,3	27,3	25,6	23,3	23,4	23,8	23,4	29,8	27,3	26,8	28,0	26,1
Guarulhos-Paço	27,8	26,1	27,6	25,4	23,1	23,6	23,7	23,4	28,6	27,5	26,7	27,8	25,9
Capão Redondo	27,8	26,2	26,5	25,4	23,2	23,5	23,5	23,0	27,8	27,0	25,8	27,5	25,6
Marg.Tietê-Pte	28,4	26,8	27,6	26,0	23,6	24,1	24,2	23,6	29,1	28,2	27,3	28,9	26,5
Guarulhos-Pimentas	28,1	26,6	27,4	26,2	23,8	24,4	24,4	23,6	29,0	27,8	27,1	28,1	26,4
Pico do Jaraguá	25,8	25,2	26,7	23,0	20,7	21,8	21,6	20,8	25,7	25,8	26,2	25,5	24,1



# Sistema de Informação de Qualidade do Ar

## RELATÓRIO - MÉDIA MÍNIMA

Ano: 2018

Parâmetr TEMP (Temperatura do Ar) °C

Realizar representatividade N

6 - ALTO TIETE													
Local de amostragem	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média do Período
Parque D.Pedro II	19,8	19,3	20,4	17,9	15,8	15,2	14,3	14,1	16,0	17,2	17,9	19,2	17,3
São Caetano do Sul	--	19,2	20,8	17,1	16,2	14,9	14,3	13,9	16,0	17,0	17,8	19,6	17,0
Pinheiros	20,2	19,6	20,8	18,1	16,0	15,1	14,0	14,2	16,3	17,6	18,2	19,8	17,5
Taboão da Serra	--	--	--	18,8	16,6	15,4	13,8	13,6	16,0	17,3	18,0	19,3	16,5
Interlagos	19,4	18,7	20,2	17,5	15,5	14,8	14,2	13,1	15,2	16,5	16,9	18,8	16,7
Carapicuíba	19,4	18,7	20,2	17,5	15,2	14,8	13,6	13,2	15,3	16,8	17,4	19,0	16,8
Guarulhos-Paço	19,5	19,0	20,2	17,4	15,2	14,7	13,7	13,6	15,7	17,1	17,7	18,9	16,9
Capão Redondo	19,3	18,4	19,8	16,9	14,7	14,3	13,0	12,7	15,1	16,5	17,1	18,5	16,4
Marg.Tietê-Pte	20,2	19,8	21,0	18,6	16,3	15,7	14,7	14,3	16,3	17,6	18,3	20,1	17,8
S.Bernardo-Centro	20,6	--	--	17,0	15,5	14,6	--	--	--	--	--	--	16,9
Guarulhos-Pimentas	19,0	18,6	19,6	16,5	14,8	14,3	13,3	13,2	15,0	16,6	17,1	18,7	16,4
Pico do Jaraguá	17,0	16,6	17,9	15,5	13,4	13,8	13,3	11,6	13,1	14,6	15,1	17,1	14,9



# Sistema de Informação de Qualidade do Ar

## RELATÓRIO - MÉDIA MÍNIMA

Ano: 2019

Parâmetr TEMP (Temperatura do Ar) °C

Realizar representatividade N

6 - ALTO TIETE													
Local de amostragem	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média do Período
Parque D.Pedro II	21,4	19,8	19,5	19,1	17,6	16,0	12,8	14,1	16,7	18,5	18,3	19,4	17,8
São Caetano do Sul	21,7	19,4	18,2	19,3	18,3	15,8	13,1	14,2	16,0	18,2	18,0	19,5	17,6
Pinheiros	21,7	19,9	19,8	19,2	17,4	15,0	12,4	14,0	16,6	18,6	18,6	19,7	17,7
Taboão da Serra	21,6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	21,6
Interlagos	21,4	19,4	19,0	18,7	17,1	16,6	--	--	--	--	--	--	18,7
Carapicuíba	20,9	19,3	19,3	18,5	16,8	14,9	11,8	13,4	15,8	17,7	17,8	19,0	17,1
Guarulhos-Paço	20,7	19,6	19,2	18,7	17,6	15,4	12,6	13,4	16,1	17,8	17,7	18,9	17,3
Capão Redondo	20,7	19,0	18,9	17,7	16,6	14,4	11,9	12,9	15,1	17,2	17,1	18,5	16,7
Marg.Tietê-Pte	21,9	20,3	20,1	19,6	17,9	16,0	13,3	14,4	16,8	18,7	18,7	19,8	18,1
Guarulhos-Pimentas	20,2	19,1	18,9	18,3	16,7	14,6	11,7	13,1	15,9	17,7	17,4	18,6	16,8
Pico do Jaraguá	19,1	17,4	17,2	16,9	15,2	14,3	11,5	11,1	14,4	16,1	15,5	16,3	15,4



# Sistema de Informação de Qualidade do Ar

## RELATÓRIO - MÉDIA MÍNIMA

Ano: 2020

Parâmetr TEMP (Temperatura do Ar) °C

Realizar representatividade N

6 - ALTO TIETE													
Local de amostragem	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média do Período
Parque D.Pedro II	19,7	19,3	18,3	16,6	13,8	15,9	14,5	13,8	17,8	17,8	16,9	19,4	17,0
São Caetano do Sul	20,1	19,2	18,4	16,7	13,9	16,1	14,6	13,8	17,6	17,8	17,0	19,6	17,1
Pinheiros	19,9	19,5	18,4	16,6	13,3	15,6	13,9	13,6	17,6	21,5	--	--	17,0
Carapicuíba	19,4	18,7	18,1	16,1	13,0	15,3	13,7	13,3	17,3	17,3	16,7	19,0	16,5
Guarulhos-Paço	19,2	17,9	17,9	16,0	13,2	15,4	13,8	13,0	17,3	17,5	16,5	19,1	16,4
Capão Redondo	19,2	18,6	17,1	15,5	12,6	15,0	13,3	12,6	16,4	16,9	15,8	19,0	16,0
Marg.Tietê-Pte	20,1	19,7	18,8	17,0	14,0	16,3	14,9	14,1	18,1	18,1	17,5	20,2	17,4
Guarulhos-Pimentas	18,9	18,7	17,7	15,9	13,0	15,1	13,7	13,0	17,1	17,2	16,4	18,7	16,3
Pico do Jaraguá	17,0	17,6	16,0	13,8	11,6	14,6	13,1	11,5	14,7	15,1	14,9	16,6	14,7



# Sistema de Informação de Qualidade do Ar

## RELATÓRIO - MÉDIA MENSAL

Ano: 2018

Parâmetr TEMP (Temperatura do Ar) °C

Realizar representatividade N

6 - ALTO TIETE													
Local de amostragem	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média do Período
Parque D.Pedro II	23,0	22,7	23,9	21,7	19,5	18,9	18,9	17,5	19,6	20,3	21,4	23,3	20,9
São Caetano do Sul	--	22,4	24,1	21,2	19,6	17,7	18,5	17,2	19,3	19,8	21,3	23,6	20,4
Pinheiros	23,6	23,1	24,3	22,0	19,9	18,9	18,6	17,8	19,9	20,7	21,8	24,3	21,2
Taboão da Serra	--	--	--	22,6	20,1	19,5	18,4	17,3	19,4	20,2	21,4	23,8	20,3
Interlagos	22,4	21,7	23,2	20,8	18,7	18,1	18,3	16,4	18,3	19,0	20,1	22,6	20,0
Carapicuíba	22,4	21,7	23,5	21,1	18,9	18,3	18,1	16,8	18,8	19,7	20,6	23,3	20,3
Guarulhos-Paço	23,0	22,5	23,8	21,5	19,3	18,6	18,5	17,4	19,5	20,2	21,2	23,5	20,7
Capão Redondo	22,5	21,7	23,1	20,9	18,7	17,9	17,6	16,4	18,6	19,3	20,3	22,8	20,0
Marg.Tietê-Pte	23,4	23,0	24,3	22,0	19,9	19,2	19,1	17,8	19,7	20,6	21,6	24,2	21,2
S.Bernardo-Centro	23,7	--	--	20,5	18,7	17,1	--	--	--	--	--	--	20,0
Guarulhos-Pimentas	22,3	21,9	22,7	20,3	18,5	17,9	17,8	16,8	18,8	19,6	20,4	22,9	20,0
Pico do Jaraguá	20,1	20,1	21,2	18,8	16,8	16,6	17,1	14,8	16,8	17,6	18,5	21,5	18,3



# Sistema de Informação de Qualidade do Ar

## RELATÓRIO - MÉDIA MENSAL

Ano: 2019

Parâmetr TEMP (Temperatura do Ar) °C

Realizar representatividade N

6 - ALTO TIETE													
Local de amostragem	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média do Período
Parque D.Pedro II	25,8	23,5	23,0	22,7	21,0	19,8	17,4	18,1	20,4	22,8	21,8	23,0	21,6
São Caetano do Sul	25,8	22,9	21,4	22,6	21,3	19,4	17,4	17,8	19,4	22,1	21,3	22,8	21,2
Pinheiros	26,0	23,8	23,5	23,1	21,2	19,4	17,3	18,2	20,6	23,1	22,2	23,5	21,8
Taboão da Serra	25,4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	25,4
Interlagos	25,4	22,8	21,9	21,8	20,3	18,2	--	--	--	--	--	--	21,7
Carapicuíba	25,1	22,9	22,4	22,0	20,2	18,7	16,2	17,4	19,7	21,9	21,1	22,4	20,8
Guarulhos-Paço	25,2	23,3	22,9	22,5	21,1	19,0	17,1	17,5	20,0	22,1	21,3	22,4	21,2
Capão Redondo	24,8	22,7	22,1	21,7	19,9	18,3	16,4	16,9	18,5	21,2	20,7	21,9	20,4
Marg.Tietê-Pte	25,9	23,8	23,4	23,0	21,2	19,7	17,6	18,3	20,6	22,8	22,0	23,3	21,8
Guarulhos-Pimentas	24,6	22,5	22,3	21,8	20,1	18,5	16,4	17,1	19,7	22,0	21,0	22,2	20,7
Pico do Jaraguá	23,1	21,0	20,3	20,0	18,4	17,5	15,3	15,1	17,5	20,4	19,2	19,8	19,0



# Sistema de Informação de Qualidade do Ar

## RELATÓRIO - MÉDIA MENSAL

Ano: 2020

Parâmetr TEMP (Temperatura do Ar) °C

Realizar representatividade N

6 - ALTO TIETE													
Local de amostragem	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média do Período
Parque D.Pedro II	23,5	22,2	22,1	20,6	18,2	19,7	18,9	18,0	22,3	21,7	21,0	22,9	20,9
São Caetano do Sul	23,6	21,9	21,8	20,4	18,0	19,6	18,8	17,8	21,9	21,6	20,8	23,0	20,8
Pinheiros	23,9	22,5	22,4	20,8	17,9	19,3	18,7	18,1	22,3	29,3	--	--	21,5
Carapicuíba	22,8	21,7	21,7	20,0	17,5	18,9	18,3	17,5	22,3	21,4	20,6	22,5	20,4
Guarulhos-Paço	22,8	21,5	21,7	19,9	17,5	19,1	18,2	17,4	21,9	21,5	20,6	22,5	20,4
Capão Redondo	22,6	21,6	20,7	19,6	17,0	18,7	17,7	16,9	20,9	20,8	19,8	22,5	19,9
Marg.Tietê-Pte	23,7	22,5	22,1	20,6	18,2	19,8	19,0	17,9	22,5	22,2	21,4	23,5	21,1
Guarulhos-Pimentas	22,7	21,6	21,3	19,8	17,4	19,0	18,0	17,2	21,7	21,4	20,5	22,3	20,2
Pico do Jaraguá	20,4	20,4	20,1	17,4	15,5	17,7	16,9	15,3	19,3	19,7	19,2	19,9	18,5



# Sistema de Informação de Qualidade do Ar

## RELATÓRIO - MÉDIA MENSAL

Ano: 2018

Parâmetr VV (Velocidade do Vento) m/s

Realizar representatividade N

6 - ALTO TIETE													
Local de amostragem	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média do Período
Santana	1,2	1,5	1,0	1,2	1,2	0,9	0,9	1,3	1,4	1,4	1,5	1,3	1,2
Parque D.Pedro II	1,5	1,5	1,3	1,3	1,4	1,1	1,0	1,5	1,6	1,5	1,6	1,5	1,4
Mooca	1,1	1,2	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,1
São Caetano do Sul	1,8	1,8	1,6	1,5	1,5	1,3	1,3	1,6	1,8	1,8	2,0	1,7	1,6
Pinheiros	1,8	1,9	1,5	1,6	1,8	1,4	1,2	1,9	2,0	2,0	2,2	1,9	1,8
S.André-Capuava	1,5	1,6	1,3	1,5	1,6	1,4	1,5	1,6	1,7	1,7	1,9	1,6	1,6
Osasco	2,0	2,2	1,8	1,9	1,9	1,6	1,6	2,0	2,1	2,2	2,4	2,1	2,0
S.André-Paço Municipal	1,4	1,4	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	1,1	--	--	--	--	1,2
Interlagos	3,0	3,1	2,5	2,6	2,6	2,4	2,2	2,8	2,9	3,0	3,4	2,9	2,8
Carapicuíba	2,5	2,8	2,2	2,3	2,4	2,1	2,0	2,6	2,7	2,8	3,0	2,6	2,5
Guarulhos-Paço	1,8	1,7	1,4	1,4	1,5	1,4	1,3	1,8	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6
Capão Redondo	1,8	1,9	1,4	1,5	1,5	1,3	1,1	1,6	1,8	1,9	2,3	2,0	1,7
Marg.Tietê-Pte	2,2	2,3	1,9	2,0	2,0	1,7	1,6	2,1	2,3	2,3	2,5	2,3	2,1
S.Bernardo-Centro	1,9	1,9	1,7	1,7	1,7	1,5	1,5	1,8	1,9	1,9	2,1	2,0	1,8
Guarulhos-Pimentas	2,0	1,9	1,8	2,0	2,0	1,5	1,5	2,0	2,1	2,1	2,3	1,9	1,9
Pico do Jaraguá	1,4	1,3	1,2	1,1	1,2	1,3	1,1	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3
Mogi das Cruzes	1,7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1,7



# Sistema de Informação de Qualidade do Ar

## RELATÓRIO - MÉDIA MENSAL

Ano: 2019

Parâmetr VV (Velocidade do Vento) m/s

Realizar representatividade N

6 - ALTO TIETE													
Local de amostragem	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média do Período
Santana	1,1	1,0	1,1	1,0	1,0	0,8	1,0	1,5	1,5	1,6	1,6	1,3	1,2
Parque D.Pedro II	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,4	1,4	1,4	1,6	1,5	1,3
Mooca	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	1,2	1,3	1,3	1,3	1,0	1,0
São Caetano do Sul	1,7	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,4	1,7	1,7	1,9	1,9	1,8	1,6
Pinheiros	1,7	1,7	1,7	1,5	1,5	1,3	1,4	2,0	1,9	1,9	2,2	1,9	1,7
S.André-Capuava	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	1,5	1,8	1,9	1,9	1,8	1,5	1,5
Osasco	1,8	1,9	1,9	1,7	1,7	1,5	1,7	2,1	2,1	2,3	2,4	2,1	1,9
Interlagos	2,5	2,8	2,6	2,3	2,4	2,3	2,4	3,1	3,0	3,1	3,3	2,9	2,7
Carapicuíba	2,3	2,3	2,5	2,2	2,2	1,9	2,2	2,8	2,8	2,9	3,0	2,6	2,5
Guarulhos-Paço	1,7	1,8	1,6	1,5	1,6	1,4	1,5	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,7
Capão Redondo	1,7	1,9	2,0	1,6	1,7	1,4	1,6	2,3	2,2	2,5	2,7	2,2	2,0
Marg.Tietê-Pte	2,0	2,1	2,0	1,8	1,8	1,6	1,8	2,2	2,1	2,2	2,4	2,2	2,0
S.Bernardo-Centro	1,7	1,9	1,8	1,6	1,6	1,5	1,5	1,9	1,8	2,0	2,1	2,0	1,8
Guarulhos-Pimentas	1,7	--	--	--	1,8	1,5	1,6	2,1	2,1	2,1	2,4	2,1	1,9
Pico do Jaraguá	1,2	1,2	1,2	1,1	0,9	1,2	1,3	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3	1,2



# Sistema de Informação de Qualidade do Ar

## RELATÓRIO - MÉDIA MENSAL

Ano: 2020

Parâmetr VV (Velocidade do Vento) m/s

Realizar representatividade N

6 - ALTO TIETE													
Local de amostragem	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média do Período
Santana	1,2	1,2	1,5	1,3	1,0	0,8	1,1	1,2	1,4	1,4	1,4	1,3	1,2
Parque D.Pedro II	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3	1,2	1,3	1,2	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3
Mooca	1,1	1,0	1,1	1,0	0,9	0,8	1,0	0,9	1,1	1,2	1,0	1,0	1,0
São Caetano do Sul	1,8	1,7	1,7	1,6	1,5	1,4	1,6	1,5	1,7	1,7	1,8	1,8	1,6
Pinheiros	1,8	1,7	1,9	1,7	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,9	1,9	1,9	1,7
S.André-Capuava	1,4	1,4	1,5	1,4	1,4	1,5	1,6	1,6	1,5	1,7	1,6	1,5	1,5
Osasco	2,1	2,0	2,2	2,0	1,8	1,6	1,8	1,8	2,1	2,2	2,2	2,1	2,0
Interlagos	3,0	2,9	2,9	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6	2,8	3,0	3,0	3,0	2,8
Carapicuíba	2,6	2,5	2,7	2,5	2,4	2,2	2,3	2,4	2,6	2,8	2,7	2,6	2,5
Guarulhos-Paço	1,9	1,7	1,7	1,7	1,9	1,7	1,8	1,5	1,8	1,8	1,8	1,9	1,8
Capão Redondo	2,2	2,1	2,3	2,6	2,1	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,0	2,5	2,4
Marg.Tietê-Pte	2,2	2,0	2,2	2,0	2,0	1,8	2,0	1,9	2,1	2,3	2,2	2,2	2,1
S.Bernardo-Centro	2,0	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6	1,7	1,6	1,8	1,9	2,0	2,0	1,8
Guarulhos-Pimentas	2,0	2,0	2,2	2,0	1,8	1,7	1,9	1,9	2,0	2,2	2,2	2,2	2,0
Pico do Jaraguá	1,3	1,2	1,2	1,2	1,4	1,3	1,3	1,3	1,4	1,3	1,2	6,9	1,7



# Sistema de Informação de Qualidade do Ar

## RELATÓRIO - MÉDIA MENSAL

Ano: 2018

Parâmetr RADG (Radiação Solar Global) W/m2

Realizar representatividade N

6 - ALTO TIETE													
Local de amostragem	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média do Período
Parque D.Pedro II	194	204	185	181	153	113	149	141	179	150	189	241	173
Interlagos	--	--	--	196	164	112	150	141	181	139	195	265	171
Carapicuíba	179	192	179	174	149	104	140	132	168	146	181	222	164
Guarulhos-Paço	202	197	187	173	144	99	138	151	--	--	225	231	175
Capão Redondo	160	178	176	179	159	108	144	134	173	133	133	146	152
Marg.Tietê-Pte	204	228	194	182	168	117	154	143	186	163	203	259	184
S.Bernardo-Centro	197	191	171	170	143	98	125	124	155	137	176	246	161
Guarulhos-Pimentas	181	172	170	171	132	91	118	124	176	110	--	--	144



# Sistema de Informação de Qualidade do Ar

## RELATÓRIO - MÉDIA MENSAL

Ano: 2019

Parâmetr RADG (Radiação Solar Global) W/m2

Realizar representatividade N

6 - ALTO TIETE													
Local de amostragem	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média do Período
Parque D.Pedro II	254	194	188	169	141	143	161	159	152	221	192	208	182
Interlagos	263	206	187	169	140	146	160	156	164	225	197	229	187
Carapicuíba	234	181	182	162	121	135	144	148	142	209	179	189	169
Guarulhos-Paço	239	191	185	158	124	118	128	135	142	207	177	204	167
Capão Redondo	150	171	178	182	129	145	159	150	138	216	163	141	160
Marg.Tietê-Pte	261	206	201	176	145	152	162	157	152	228	205	226	189
S.Bernardo-Centro	255	194	173	148	118	124	138	136	134	200	181	210	168



# Sistema de Informação de Qualidade do Ar

## RELATÓRIO - MÉDIA MENSAL

Ano: 2020

Parâmetr RADG (Radiação Solar Global) W/m2

Realizar representatividade N

6 - ALTO TIETE													
Local de amostragem	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média do Período
Parque D.Pedro II	198	159	215	194	163	129	159	170	189	192	237	197	183
Interlagos	223	170	240	198	159	122	153	168	189	205	246	226	192
Carapicuíba	190	158	208	184	148	112	139	156	189	189	217	188	173
Guarulhos-Paço	195	161	203	167	134	105	120	145	177	191	224	202	169
Capão Redondo	152	148	216	195	159	127	148	154	180	186	170	146	165
Marg.Tietê-Pte	212	170	229	196	166	133	156	165	196	225	253	217	193
S.Bernardo-Centro	202	161	197	168	142	110	133	147	166	186	224	199	170



# Sistema de Informação de Qualidade do Ar

## RELATÓRIO - MÉDIA MENSAL

Ano: 2018

Parâmetr PRESS (Pressão Atmosférica) hPa

Realizar representatividade N

6 - ALTO TIETE													
Local de amostragem	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média do Período
Parque D.Pedro II	922,9	923,1	922,6	926,6	927,6	928,3	928,2	928,4	924,8	923,9	923,8	923,0	925,3
Carapicuíba	913,2	913,4	913,1	917,1	917,9	918,5	918,5	918,5	915,1	914,2	914,1	913,7	915,6
Guarulhos-Paço	925,3	925,4	925,0	929,0	929,9	930,5	930,4	930,4	927,0	926,0	925,8	925,4	927,5
Capão Redondo	920,9	921,1	920,6	924,5	925,4	926,0	926,0	926,0	922,6	921,7	921,5	921,1	923,1
Marg.Tietê-Pte	923,8	924,0	923,6	927,7	928,5	929,1	929,1	929,3	925,8	924,9	924,7	924,2	926,2
S.Bernardo-Centro	923,9	924,1	923,6	927,6	928,4	929,0	929,0	929,1	925,1	924,7	924,7	925,1	926,2
Guarulhos-Pimentas	918,4	918,3	917,1	923,3	923,0	923,6	923,7	923,8	920,3	919,4	919,3	918,9	920,8



# Sistema de Informação de Qualidade do Ar

## RELATÓRIO - MÉDIA MENSAL

Ano: 2019

Parâmetr PRESS (Pressão Atmosférica) hPa

Realizar representatividade N

6 - ALTO TIETE													
Local de amostragem	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média do Período
Parque D.Pedro II	924,5	922,6	924,6	924,1	925,2	928,7	928,5	930,2	926,7	924,0	922,8	922,6	925,4
Carapicuíba	915,1	913,3	915,4	914,7	915,7	919,7	918,7	920,6	917,1	915,0	913,5	913,5	916,0
Guarulhos-Paço	926,7	925,0	927,2	926,5	927,6	931,2	930,5	932,3	928,7	926,6	925,1	924,9	927,7
Capão Redondo	922,4	920,6	922,8	922,1	923,1	926,7	926,2	927,9	924,7	922,3	920,4	920,5	923,3
Marg.Tietê-Pte	925,6	923,8	925,8	925,3	926,3	930,1	929,5	931,2	927,5	925,3	923,8	923,5	926,5
S.Bernardo-Centro	926,5	923,7	925,7	925,0	926,0	929,6	929,1	930,9	927,3	924,7	923,9	923,6	926,3
Guarulhos-Pimentas	920,2	918,5	920,3	919,7	920,7	924,4	924,1	925,6	922,0	919,9	918,4	918,2	921,0



# Sistema de Informação de Qualidade do Ar

## RELATÓRIO - MÉDIA MENSAL

Ano: 2020

Parâmetr PRESS (Pressão Atmosférica) hPa

Realizar representatividade N

6 - ALTO TIETE													
Local de amostragem	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média do Período
Parque D.Pedro II	921,6	923,3	924,8	926,2	926,9	927,7	927,8	928,6	926,2	924,1	923,7	922,4	925,3
Interlagos	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	920,6	920,6
Carapicuíba	912,7	914,4	915,6	916,8	917,4	918,1	918,2	919,0	916,6	914,3	914,4	913,2	915,9
Guarulhos-Paço	924,1	925,8	927,1	928,3	928,9	929,7	929,8	930,6	928,3	925,8	926,0	924,7	927,4
Capão Redondo	919,6	921,3	922,7	923,9	924,4	925,2	925,2	926,1	923,9	921,3	922,0	920,3	923,0
Marg.Tietê-Pte	922,7	924,5	925,9	927,1	927,8	928,5	928,6	929,5	927,1	924,6	924,7	923,3	926,2
S.Bernardo-Centro	922,7	925,0	925,8	927,1	927,6	928,4	928,6	929,5	927,4	924,8	925,1	923,5	926,3
Guarulhos-Pimentas	917,3	918,9	920,3	921,7	922,4	923,3	923,2	924,1	921,8	919,2	919,4	918,0	920,8

CÁLCULO DAS MÉDIAS DOS PARÂMETROS METEROLÓGICOS UTILIZADOS NO PROGRAMA TANKS 4.09D

**Quadro 25** – Valores das temperaturas médias máximas

<b>Mês</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>Média mensal (°C)</b>	<b>Média mensal (°F)</b>
<b>Janeiro</b>	28,4	32,2	28,4	29,7	85,4
<b>Fevereiro</b>	27,6	28,5	26,8	27,6	81,7
<b>Março</b>	29,9	28,3	27,6	28,6	83,5
<b>Abril</b>	27,3	27,9	26	27,1	80,7
<b>Mai</b>	25,1	25,8	23,6	24,8	76,7
<b>Junho</b>	23,8	24,6	24,1	24,2	75,5
<b>Julho</b>	25,1	23,3	24,2	24,2	75,6
<b>Agosto</b>	22,5	23,7	23,6	23,3	73,9
<b>Setembro</b>	25,8	25,7	29,1	26,9	80,4
<b>Outubro</b>	25,1	28,8	28,2	27,4	81,3
<b>Novembro</b>	26,5	27,2	27,3	27,0	80,6
<b>Dezembro</b>	30,1	28,3	28,9	29,1	84,4
<b>Média anual</b>	26,4	27,0	26,5	26,6	79,9

Fonte: Dados CETESB - Elaboração própria (2021).

**Quadro 26** – Valores das temperaturas mínimas médias

<b>Mês</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>Média mensal (°C)</b>	<b>Média mensal (°F)</b>
<b>Janeiro</b>	20,20	21,9	20,1	20,7	69,3
<b>Fevereiro</b>	19,80	20,3	19,7	19,9	67,9
<b>Março</b>	21,00	20,1	18,8	20,0	67,9
<b>Abril</b>	18,60	19,6	17	18,4	65,1
<b>Mai</b>	16,30	17,9	14	16,1	60,9
<b>Junho</b>	15,70	16,0	16,3	16,0	60,8
<b>Julho</b>	14,70	13,3	14,9	14,3	57,7
<b>Agosto</b>	14,30	14,4	14,1	14,2	57,7
<b>Setembro</b>	16,30	16,8	18,1	17,1	62,7
<b>Outubro</b>	17,60	18,7	18,1	18,1	64,6
<b>Novembro</b>	18,30	18,7	17,5	18,2	64,7
<b>Dezembro</b>	20,10	19,8	20,2	20,0	68,0
<b>Média anual</b>	17,80	18,1	17,4	17,8	64,0

Fonte: Dados CETESB - Elaboração própria (2021).

**Quadro 27** – Valores das temperaturas médias médias.

<b>Mês</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>Média mensal (°C)</b>	<b>Média mensal (°F)</b>
<b>Janeiro</b>	23,40	25,9	23,7	24,3	75,8
<b>Fevereiro</b>	23,00	23,8	22,5	23,1	73,6
<b>Março</b>	24,30	23,4	22,1	23,3	73,9
<b>Abril</b>	22,00	23,0	20,6	21,9	71,4
<b>Mai</b>	19,90	21,2	18,2	19,8	67,6
<b>Junho</b>	19,20	19,7	19,8	19,6	67,2
<b>Julho</b>	19,10	17,6	19	18,6	65,4
<b>Agosto</b>	17,80	18,3	17,9	18,0	64,4
<b>Setembro</b>	19,70	20,6	22,5	20,9	69,7
<b>Outubro</b>	20,60	22,8	22,2	21,9	71,4
<b>Novembro</b>	21,60	22,0	21,4	21,7	71,0
<b>Dezembro</b>	24,20	23,3	23,5	23,7	74,6
<b>Média anual</b>	21,20	21,8	21,1	21,4	70,5

Fonte: Dados CETESB - Elaboração própria (2021).

**Quadro 28** – Valores das velocidades médias dos ventos.

<b>Mês</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>Média mensal (m/s)</b>	<b>Média mensal (mph)</b>
<b>Janeiro</b>	2,2	2,0	2,2	2,1	4,8
<b>Fevereiro</b>	2,3	2,1	2,0	2,1	4,8
<b>Março</b>	1,9	2,0	2,2	2,0	4,6
<b>Abril</b>	2,0	1,8	2,0	1,9	4,3
<b>Mai</b>	2,0	1,8	2,0	1,9	4,3
<b>Junho</b>	1,7	1,6	1,8	1,7	3,8
<b>Julho</b>	1,6	1,8	2,0	1,8	4,0
<b>Agosto</b>	2,1	2,2	1,9	2,1	4,6
<b>Setembro</b>	2,3	2,1	2,1	2,2	4,9
<b>Outubro</b>	2,3	2,2	2,3	2,3	5,1
<b>Novembro</b>	2,5	2,4	2,2	2,4	5,3
<b>Dezembro</b>	2,3	2,2	2,2	2,2	5,0
<b>Média anual</b>	2,1	2,0	2,1	2,1	4,6

Fonte: Dados CETESB - Elaboração própria (2021).

**Quadro 29** - Valores médios de Radiação solar

<b>Mês</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>Média mensal (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Média mensal (BTU/ft*ft*dia)</b>
<b>Janeiro</b>	204	261	212	225,7	1716,9
<b>Fevereiro</b>	228	206	170	201,3	1531,7
<b>Março</b>	194	201	229	208,0	1582,5
<b>Abril</b>	182	176	196	184,7	1404,9
<b>Mai</b>	168	145	166	159,7	1214,7
<b>Junho</b>	117	152	133	134,0	1019,5
<b>Julho</b>	154	162	156	157,3	1197,0
<b>Agosto</b>	143	157	165	155,0	1179,2
<b>Setembro</b>	186	152	196	178,0	1354,2
<b>Outubro</b>	163	228	225	205,3	1562,2
<b>Novembro</b>	203	205	253	220,3	1676,3
<b>Dezembro</b>	259	226	217	234,0	1780,2
<b>Média anual</b>	184	189	193	188,7	1435,4

Fonte: Dados CETESB - Elaboração própria (2021)

**Quadro 30** - Valores médios de pressão atmosférica.

<b>Mês</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>Média mensal (hPa)</b>	<b>Média mensal (psi)</b>
<b>Janeiro</b>	923,8	925,6	922,7	924,0	13,4
<b>Fevereiro</b>	924,0	923,8	924,5	924,1	13,4
<b>Março</b>	923,6	925,8	925,9	925,1	13,4
<b>Abril</b>	927,7	925,3	927,1	926,7	13,4
<b>Mai</b>	928,5	926,3	927,8	927,5	13,5
<b>Junho</b>	929,1	930,1	928,5	929,2	13,5
<b>Julho</b>	929,1	929,5	928,6	929,1	13,5
<b>Agosto</b>	929,3	931,2	929,5	930,0	13,5
<b>Setembro</b>	925,8	927,5	927,1	926,8	13,4
<b>Outubro</b>	924,9	925,3	924,6	924,9	13,4
<b>Novembro</b>	924,7	923,8	924,7	924,4	13,4
<b>Dezembro</b>	924,2	923,5	923,3	923,7	13,4
<b>Média anual</b>	926,2	926,5	926,2	926,3	13,4

Fonte: Dados CETESB - Elaboração própria (2021).

## PLANILHA DE SAÍDA DO PROGRAMA TANKS 4.09d

**TANKS 4.0.9d**  
**Emissions Report - Detail Format**  
**Tank Identification and Physical Characteristics**

**Identification**

User Identification:	Tanque JJ
City:	São Paulo
State:	SP
Company:	TCC
Type of Tank:	Horizontal Tank
Description:	

**Tank Dimensions**

Shell Length (ft):	17,32
Diameter (ft):	6,27
Volume (gallons):	3.962,58
Turnovers:	52,00
Net Throughput(gal/yr):	206.054,20
Is Tank Heated (y/n):	N
Is Tank Underground (y/n):	N

**Paint Characteristics**

Shell Color/Shade:	White/White
Shell Condition	Good

**Breather Vent Settings**

Vacuum Settings (psig):	-0,03
Pressure Settings (psig)	0,03

Meteorological Data used in Emissions Calculations: São Paulo, SP (Avg Atmospheric Pressure = 13 psia)

**TANKS 4.0.9d**  
**Emissions Report - Detail Format**  
**Liquid Contents of Storage Tank**

**Tanque JJ - Horizontal Tank**  
**São Paulo, SP**

Mixture/Component	Month	Daily Liquid Surf. Temperature (deg F)			Liquid Bulk Temp (deg F)	Vapor Pressure (psia)			Vapor Mol. Weight.	Liquid Mass Fract.	Vapor Mass Fract.
		Avg.	Min.	Max.		Avg.	Min.	Max.			
Distillate fuel oil no. 2	All	72.44	67.87	77.01	70.52	0.0097	0.0085	0.0111	130,0000		

**TANKS 4.0.9d**  
**Emissions Report - Detail Format**  
**Detail Calculations (AP-42)**

**Tanque JJ - Horizontal Tank**  
**São Paulo, SP**

Annual Emission Calculations	
Standing Losses (lb):	0,8262
Vapor Space Volume (cu ft):	340,2874
Vapor Density (lb/cu ft):	0,0002
Vapor Space Expansion Factor:	0,0301
Vented Vapor Saturation Factor:	0,9984
Tank Vapor Space Volume:	
Vapor Space Volume (cu ft):	340,2874
Tank Diameter (ft):	6,2664
Effective Diameter (ft):	11,7594
Vapor Space Outage (ft):	3,1332
Tank Shell Length (ft):	17,3228
Vapor Density	
Vapor Density (lb/cu ft):	0,0002
Vapor Molecular Weight (lb/lb-mole):	130,0000
Vapor Pressure at Daily Average Liquid Surface Temperature (psia):	0,0097
Daily Avg. Liquid Surface Temp. (deg. R):	532,1089
Daily Average Ambient Temp. (deg. F):	70,5000
Ideal Gas Constant R (psia cuft / (lb-mol-deg R)):	10,731
Liquid Bulk Temperature (deg. R):	530,1900
Tank Paint Solar Absorptance (Shell):	0,1700
Daily Total Solar Insulation Factor (Btu/sqft day):	1.435,4000
Vapor Space Expansion Factor	
Vapor Space Expansion Factor:	0,0301
Daily Vapor Temperature Range (deg. R):	18,2805
Daily Vapor Pressure Range (psia):	0,0026
Breather Vent Press. Setting Range (psia):	0,0600
Vapor Pressure at Daily Average Liquid Surface Temperature (psia):	0,0097
Vapor Pressure at Daily Minimum Liquid Surface Temperature (psia):	0,0085
Vapor Pressure at Daily Maximum Liquid Surface Temperature (psia):	0,0111
Daily Avg. Liquid Surface Temp. (deg R):	532,1089
Daily Min. Liquid Surface Temp. (deg R):	527,5388
Daily Max. Liquid Surface Temp. (deg R):	536,6791
Daily Ambient Temp. Range (deg. R):	15,9000
Vented Vapor Saturation Factor	
Vented Vapor Saturation Factor:	0,9984
Vapor Pressure at Daily Average Liquid Surface Temperature (psia):	0,0097
Vapor Space Outage (ft):	3,1332
Working Losses (lb):	
Working Losses (lb):	4,6153
Vapor Molecular Weight (lb/lb-mole):	130,0000
Vapor Pressure at Daily Average Liquid Surface Temperature (psia):	0,0097
Annual Net Throughput (gal/yr.):	206.054,2016
Annual Turnovers:	52,0000
Turnover Factor:	0,7436
Tank Diameter (ft):	6,2664
Working Loss Product Factor:	1,0000
Total Losses (lb):	5,4414

**TANKS 4.0.9d**  
**Emissions Report - Detail Format**  
**Individual Tank Emission Totals**

**Emissions Report for: Annual**

**Tanque JJ - Horizontal Tank**  
**São Paulo, SP**

Components	Losses(lbs)		
	Working Loss	Breathing Loss	Total Emissions
Distillate fuel oil no. 2	4,62	0,83	5,44