UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE QUÍMICA E BIOTECNOLOGIA
GRADUAÇÃO EM QUÍMICA TECNOLÓGICA E INDUSTRIAL

MARIA NEUDSVÂNIA DA SILVA ALVES DOS SANTOS

PLANO DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR COMO FERRAMENTA PARA A GESTÃO AMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE IMPACTO SOCIOAMBIENTAL APLICADO A UMA INDÚSTRIA CIMENTEIRA

MACEIÓ - AL

2024

MARIA NEUDSVÂNIA DA SILVA ALVES DOS SANTOS

PLANO DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR COMO FERRAMENTA PARA A GESTÃO AMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE IMPACTO SOCIOAMBIENTAL APLICADO A UMA INDÚSTRIA CIMENTEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Química e Biotecnologia da Universidade Federal de Alagoas como pré-requisito para a obtenção do Título de Bacharela em Química Tecnológica e Industrial

Orientador: Prof. Dr. José Edmundo Accioly de Souza

MACEIÓ - AL

2024

Catalogação na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

S237p Santos, Maria Neudsvânia da Silva Alves dos.
Plano de monitoramento da qualidade do ar como ferramenta para a gestão ambiental e avaliação de impacto socioambiental aplicado a uma indústria cimenteira / Maria Neudsvânia da Silva Alves dos Santos. – Maceió, 2024.
67 f. : il.

Orientador: José Edmundo Accioly de Souza.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Química Tecnológica e Industrial) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Química e Biotecnologia. Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 65-67.

1. Poluição ambiental. 2. Qualidade do ar. 3. Monitoramento ambiental. I. Título.

CDU: 666.9:504.06

FOLHA DE APROVAÇÃO

MARIA NEUDSVÂNIA DA SILVA ALVES DOS SANTOS

PLANO DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR COMO FERRAMENTA PARA A GESTÃO AMBIENTAL E AVALIAÇÃO DE IMPACTO SOCIOAMBIENTAL APLICADO A UMA INDÚSTRIA CIMENTEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Química e Biotecnologia da Universidade Federal de Alagoas como pré-requisito para a obtenção do Título de Bacharela em Química Tecnológica e Industrial

Banca Examinadora:

gov.br
Documento assinado digitalmente
JOSE EDMUNDO ACCIOLY DE SOUZA
Data: 06/02/2024 07:46:17-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Orientador: Prof. Dr. José Edmundo Accioly de Souza
(Universidade Federal de Alagoas)

gov.br
Documento assinado digitalmente
EDSON DE SOUZA BENTO
Data: 07/02/2024 09:47:10-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Examinador Interno: Prof. Dr. Edson de Souza Bento
(Universidade Federal de Alagoas)

gov.br
Documento assinado digitalmente
JULIANA CRISTINA PEREIRA LIMA PAULINO
Data: 06/02/2024 08:45:16-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Examinador Externo: Drª. Juliana Cristina Pereira Lima Paulino

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, que me concedeu a fé, coragem e sabedoria para que meus objetivos fossem alcançados.

Aos meus pais, Maria Geovânia e Neustênio Alves, que ensinaram que através da Educação é possível conquistar meu espaço, e ainda, por nunca permitir que aos filhos, faltassem o essencial da família: O amor ao próximo.

Aos meus irmãos queridos e amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei a este trabalho, em especial à amiga: Dayane Souza.

Ao meu namorado, que desde o ensino médio, apoia e sonha comigo.

À empresa Ambimet Monitoramentos Ambientais, que permitiu o conhecimento objeto deste trabalho, em especial ao meu antigo chefe: Elton José.

A esta universidade que possibilitou durante a formação que os estudos fossem conduzidos através de bolsa auxilio, laboratório de pesquisa e projetos de extensão.

O meu sincero, Muito Obrigada

Dedico este trabalho à minha família e amigos!

RESUMO

O deslocamento e o destino de poluentes ambientais são aspectos a serem considerados na determinação de seus impactos. As substâncias classificadas como poluentes, quase sempre se originam na atmosfera e tem capacidade de se deslocar pelo ar, solo e água. Aquelas que têm tendência de serem transportadas pela atmosfera, são consideradas voláteis, incluindo as que se encontram no estado gasoso nas condições ambientes normais, como Óxido Nítrico e Monóxido de Carbono, além de Compostos Orgânicos Voláteis e Semivoláteis.

Como ciência voltada para o estudo de toda a matéria, a química desempenha um importante papel na compreensão e preservação do meio ambiente, e a prática científica de uma química mais segura e voltada ao meio ambiente é chamada de química verde. Um dos desdobramentos da química verde, dá-se ao estudo da poluição em diversas esferas do ambiente, tendo uma atenção especial ao destino e o transporte químicos na atmosfera.

Com o desenvolvimento industrial, surge a necessidade de avaliar os poluentes atmosféricos de maneira mais detalhada e os processos que estes poluentes percorrem, em uma atividade conjunta com a gestão ambiental. Tendo em vista que grande parte dos processos químicos industriais descartam poluentes para a atmosfera, apresenta-se neste trabalho, um documento modelo de Plano de monitoramento da qualidade do ar como ferramenta para a gestão ambiental e avaliação de impacto socioambiental aplicado a uma indústria cimenteira.

Palavras-Chaves: Poluentes ambientais, Qualidade do Ar, Monitoramentos

ABSTRACT

The displacement and destination of environmental pollutants are aspects to be considered when determining their impacts. Substances considered pollutants almost always originate in the atmosphere and have the ability to travel through the air, soil and water. Those that tend to be transported by the atmosphere are considered volatile, including those that are in the gaseous state under normal ambient conditions, such as Nitric Oxide and Carbon Monoxide, in addition to Volatile and Semivolatile Organic Compounds.

As a science focused on the study of all matter, chemistry plays an important role in understanding and preserving the environment, and the scientific practice of safer, more environmentally friendly chemistry is called green chemistry. One of the developments of green chemistry is the study of pollution in different spheres of the environment, paying special attention to the fate and transport of chemicals in the atmosphere.

With industrial development, there is a need to evaluate atmospheric pollutants in more detail and the processes that these pollutants go through, in a joint activity with environmental management. Considering that most industrial chemical processes release pollutants into the atmosphere, this work presents a model document for an air quality monitoring plan as a tool for environmental management and socio-environmental impact assessment applied to a cement industry.

Keywords: Environmental pollutants, Air Quality, Monitoring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Regiões de deposição para partículas atmosféricas no sistema respiratório de acordo com o diâmetro aerodinâmico 23
Figura 2 - Coletor Isocinético de poluentes atmosféricos (ID: CIPA-M5M) 26
Figura 3 - AGV MP10 e MP2,5 27
Figura 4 - Mapa das unidades Votorantim Cimentos 44
Figura 5 - Localização do empreendimento de estudo. 47
Figura 6 - Localização do empreendimento de estudo aproximada 47
Figura 7 - Ponto de coleta de uma chaminé na Industria de cimento. 48
Figura 8 - Possíveis Fontes Identificadas por visualização satélite 52
Figura 9 - Pilhas de matéria prima por visualização satélite 52
Figura 10 - Obtenção de matéria prima 53
Figura 11 - Armazenamento de insumos 53
Figura 12 - Característica do ponto de amostragem 55
Figura 13 - Mapa das Estações Meteorológicas Nacionais 58
Figura 14 - Aproximação da estação meteorológica mais próxima da Votorantim Cimentos - Unidade Laranjeiras 59
Figura 15 - Região de interesse para instalação de Equipamentos da Qualidade do ar 60
Figura 16 - histograma direcional de ventos 61
Figura 17 - Rosa dos Ventos 62
Figura 18 - Rosa dos Ventos - Exportada para Google Earth 63
Figura 19 - Indicação de ponto controle da Qualidade do Ar. 63
Figura 20 - Região para instalação de Equipamentos para a Qualidade do Ar 64

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Número Indústrias Extrativistas e de Transformação 17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das substâncias poluentes 22
Tabela 2 - Tipos de Fontes de Emissão 24
Tabela 3 - Limites de Emissão por tipo de processo industrial 29
Tabela 4 – Metodologias de amostragem e análises 32
Tabela 5 - Normas Regulamentadoras 33
Tabela 6 - Histórico da Qualidade do Ar no Brasil 36
Tabela 7 - Coordenadas de localização 45
Tabela 8 - Dados para inventário de Emissões 51
Tabela 9 - Dados Técnicos 54
Tabela 10 - Fontes de Emissão e cronograma de amostragem 56
Tabela 11 - Fontes de emissão 65
Tabela 12 - Limites de emissão de poluentes atmosféricos provenientes de fornos rotativos de produção de clínquer utilizados para atividades de coprocessamento de resíduos para a produção de cimento. 66
Tabela 13 - Métodos de abatimento de poluentes 68
Tabela 14 - Anexo III da resolução CONAMA 491/2018 70
Tabela 15 - Níveis de Qualidade do Ar à nível populacional. 70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT - Agência Brasileira de Normas Técnicas
- AGV – Amostrador de Grandes Volumes
  CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
- CIPA – Coletor Isocinético de Poluentes Atmosféricos
- CNI - Confederação Nacional das Indústrias
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
- EEA - European Environment Agency
- EPA - Environmental Protection Agency
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
- MMA – Ministério do Meio Ambiente
- NBR – Norma Brasileira
- OMS - Organização Mundial da Saúde
- PMQA - Plano de Monitoramento da Qualidade do Ar
- PNMA - Política Nacional do Meio Ambiente
- SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente
- SNIC - Sindicato Nacional da Indústria de Cimento
- USEPA - U.S. Environmental Protection Agency

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 13

2. OBJETIVOS 15

2.1 Objetivo Geral 15

2.2 Objetivo Específico 15

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 16

3.1 Poluição atmosférica 16

3.2 Poluentes atmosféricos 16

3.2.1 Material Particulado (MP) 18

3.2.2 Óxidos de nitrogênio (NOx) 18

3.2.3 Ozônio (O_3) 19

3.2.4 Dióxido de enxofre (SO_2) 19

3.2.5 Monóxido de carbono (CO) 20

3.2.6 Fumaça (FMC) 20

3.2.7 Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) 20

3.2.8 Chumbo 20

3.3 Poluição atmosférica e seus efeitos 21

3.4 Fontes de poluição do ar 24

3.5 Gestão Ambiental e Impacto Socioambiental 25

3.6 Monitoramentos e Análises Ambientais 25

3.6.1 Monitoramento de Emissões Atmosféricas 25

3.6.2 Monitoramento da Qualidade do Ar Ambiente 27

3.7 Inventário de Fontes de Emissão 28

3.8 Legislação Aplicável 29

3.9 Sistema de Abatimento de Poluentes Particulados 30

3.10 Metodologias de amostragem em emissões atmosféricas 31

3.11 Metodologias de amostragem em qualidade do ar ambiente. 33

4. METODOLOGIA 35

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES 36

5.1 Plano de Monitoramento da Qualidade do Ar (PMQAR) 36

5.2 Etapas do Processo de Produção de Cimento 39

5.3 Impactos Ambientais na Industria Cimenteira 41

6. PLANO DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR: VOTORANTIM CIMENTOS – UNIDADE LARANJEIRAS 42

6.1 Justificativa 44

6.2 Objetivo 44

6.3 Descrição do empreendimento 44

6.4 Localização do Empreendimento e Área de Influência 47

6.5 Poluentes emitidos no processo de fabricação de cimento 48

6.5.1 Formação de Óxidos de Nitrogênio (NOx) 49

6.5.2 Formação de Óxidos de Enxofre (SOx) e Emissão de Material Particulado. 49

6.6 Equipamentos materiais utilizados 50

6.7 Frequência das amostragens 50

6.8 Inventário de fontes de emissão 50

6.9 Dados técnicos das fontes pontuais 54

6.10 Cronograma de amostragem e parâmetros a serem avaliados 56

6.11 Definição de pontos de coleta para a qualidade do ar ambiente 57

6.11.1 Ventos 61

6.12 Instalação de equipamentos para avaliação da qualidade do ar 65

6.13 Legislação aplicável 65

6.14 Métodos de controle das emissões atmosféricas e da qualidade do ar ambiente no empreendimento avaliado. 68

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS 71

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 72

1. INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica tem se tornado um fator de risco para a saúde humana, especialmente nos centros mais industrializados. Com o avanço tecnológico, as indústrias em seus diferentes segmentos passaram a utilizar recursos naturais como matéria prima.

No entanto, nas conversões dos insumos ao produto final, os processos industriais passam por etapas de transformações químicas, gerando subprodutos que podem voltar ao processo produtivo e materiais que não são utilizados ou até não controlados, como materiais sólidos destinados a aterros e incineradores e efluentes gasosos, sendo este de difícil reaproveitamento e logo descartados ao ar ambiente.

No tocante aos processos industriais, a busca pela melhoria e minimização dos impactos ambientais, parte de uma boa gestão ambiental e definição de ações para tornar a utilização dos recursos naturais de forma controlada para promover a sustentabilidade.

É papel da Gestão Ambiental incluir atividades de planejamento, processos e recursos para desenvolver, implementar, atingir, analisar criticamente e manter a política ambiental, para que as empresas minimizem os efeitos negativos no ambiente por suas atividades.

No Brasil, as questões ambientais foram transformadas em arcabouço legal por meio da instituição da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), em 1981, que estrutura o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), que abriga o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), sob a Lei Federal nº 6.938/81.

As emissões Atmosféricas de efluentes gasosos, representam o lançamento na atmosfera de substâncias na forma particulada, gasosa ou aerossóis que são lançadas predominantemente por ações antrópicas e capazes de alterar o ambiente, e quando não controlados, afetam o bem estar populacional. É de papel dos órgãos ambientais a avaliação e fiscalização dos empreendimentos de potencial emissão de gases para a atmosfera para atendimento aos limites permitidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.

Têm-se como direcionamentos para o monitoramento da Qualidade do Ar Ambiental: Avaliar a exposição humana a contaminantes atmosféricos, identificar áreas de preocupação onde as concentrações de poluentes podem exceder os limites regulatórios, avaliar a eficácia de estratégias de controle da poluição e até planejamento urbano. Sendo o objetivo principal, a avaliação das possíveis fontes de lançamento de efluentes gasosos e após os resultados das análises químicas, compará-los aos valores permitidos segundo a legislação aplicável, e desta forma, avaliar os impactos ambientais e na saúde pública, desencadeados por estes contaminantes, fornecendo informações para a regulamentação e a tomada de decisão sobre as emissões e as fontes de poluição.

Para as Indústrias Químicas e de Transformação, propõe-se que o monitoramento da Qualidade do Ar, seja realizado a partir de uma proposta de plano de Monitoramento da Qualidade do Ar (PMQAr) como ferramenta para a gestão ambiental, desta forma, deve-se avaliar o processo

produtivo do segmento a ser monitorado e as possíveis regiões de maiores impactos. No entanto, o plano de monitoramento, consiste em conhecer o processo produtivo e monitorar a poluição decorrente dos processos industriais e consequente avaliação de impactos socioambientais em função dos diferentes poluentes lançados.

A qualidade do ar tem se tornado um tema prioritário do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e está inserido no âmbito da Agenda Nacional de Qualidade Ambiental Urbana, com o objetivo de controlar a poluição atmosférica de forma a garantir o desenvolvimento socioeconômico de forma equilibrada e ambientalmente sustentável, incluindo o controle das fontes, situações meteorológicas de dispersão desfavoráveis ou ainda a desconcentração das fontes para reduzir as emissões e os impactos destes poluentes. (SALLES, 2021)

É importante salientar que a qualidade do ar é diretamente influenciada pela distribuição e intensidade das emissões de poluentes atmosféricos, pela topografia, pela ocupação do solo e pelas condições meteorológicas. Deste modo, o conhecimento dos níveis de concentração de poluentes no ar, por meio de redes de monitoramento, e dos fatores que influenciam a dispersão destes poluentes, possibilita a gestão adequada da qualidade do ar. (SALLES, 2021)

No âmbito Industrial, o monitoramento da Qualidade do Ar no Brasil, é comumente utilizado para determinar as concentrações de gases como Dióxido de Enxofre (SO_2), Dióxido de Nitrogênio (NO_2), Ozônio (O_3), Fumaça, Monóxido de Carbono (CO) e partículas sólidas (PTS, PM10 e PM2,5), todos estão diretamente relacionados com a atuação das indústrias químicas e de transformação.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Apresentar um modelo de Plano de Monitoramento da Qualidade do ar aplicado a uma Indústria de cimentos, como forma de demostrar os principais tópicos acerca dos monitoramentos ambientais.

2.2 Objetivo Específico

- Fornecer informações sobre o Plano de Monitoramento da Qualidade do Ar como ferramenta na gestão do sistema ambiental da indústria, exemplificado através dos processos de uma fábrica de cimento;
- Apresentar as legislações e guiar gestores químicos ambientais na atuação frente aos monitoramentos ambientais da Qualidade do Ar;
- Demostrar os métodos aplicáveis aos monitoramentos em diferentes processos industriais
- Alertar, através de dados, sobre o grau de exposição da população aos poluentes atmosféricos, considerando critérios de saúde pública.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Poluição atmosférica

A atmosfera é uma mistura de gases cujas concentrações são relativamente constantes, mas algumas concentrações variam diariamente, sazonalmente ou sob a influência das atividades humanas.

O ar atmosférico é composto por 78,1% (em volume) de nitrogênio, 21,0% de oxigênio, 0,9% de argônio e 0,04% de dióxido de carbono, com 1 a 3% de vapor de água em volume. Além de uma vasta variedade em nível traço de outros gases, equivalendo a valores abaixo de 0,002%, que incluem Neônio, Hélio, Metano, Criptônio, Óxido Nitroso, Hidrogênio, Xenônio, Dióxido de Enxofre, Ozônio, Dióxido de Nitrogênio, Amônia e Monóxido de Carbono. (MANAHAN, 2013)

De acordo com a Resolução CONAMA n° 491, de 19 de novembro de 2018, que dispõe sobre padrões de qualidade do ar, considera-se como 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."

Partindo da classificação dos poluentes atmosféricos, encontra-se na literatura, a classificação em poluentes primários e secundários, sendo que mais de 90% dos problemas de contaminação do ar são causados pelos primários, segundo a CETESB em 2020.

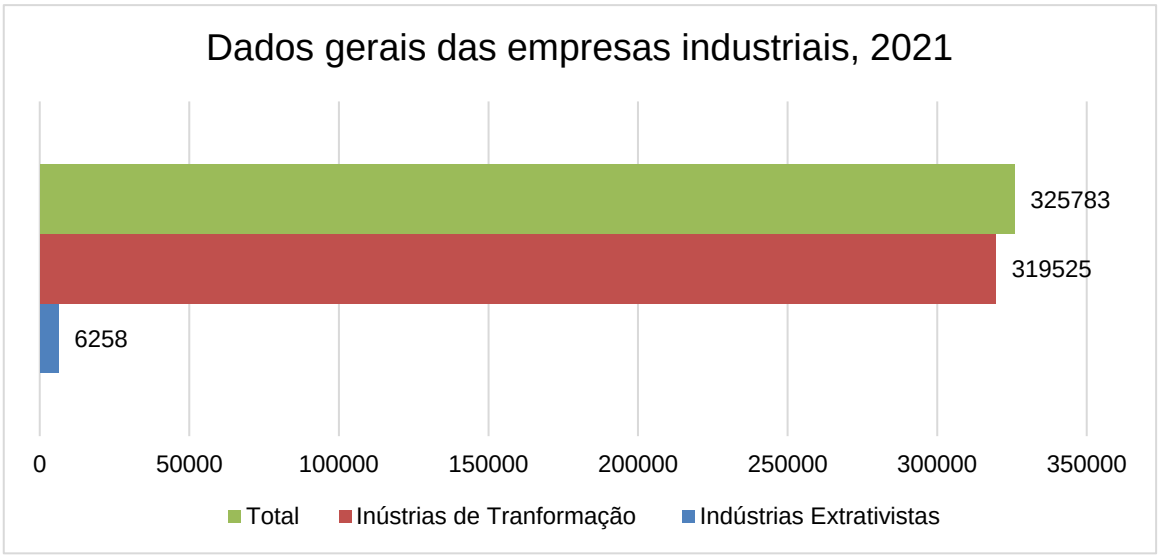
Os poluentes primários são aqueles emitidos diretamente da fonte de emissão ao ambiente como, por exemplo, os gases emitidos pelos veículos automotores (monóxido de carbono, fuligem, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, hidrocarbonetos, entre outros), enquanto que os secundários são resultados das reações químicas entre os poluentes primários, ou pelas reações dos poluentes primários com as substâncias presentes na atmosfera (MMA, 2020).

É importante ressaltar que a má gestão da poluição do ar ocasiona problemas ambientais e de saúde pública, sendo importante alertar sobre o grau de exposição da população aos poluentes atmosféricos.

3.2 Poluentes atmosféricos

O Brasil possui 325.783 unidades industriais, subdivididas em indústrias extrativistas e indústrias de transformação, possuem respectivamente 6.258 e 319.525 unidades operantes no país, conforme as Estatísticas do PIA - Empresa - Pesquisa Industrial Anual, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE com dados referentes ao ano de 2021.

Gráfico 1 - Número Indústrias Extrativistas e de Transformação



Fonte: IBGE, 2021

As atividades industriais no Brasil possuem participação de 23,9% do Produto Interno Bruto, sendo, 12,9% das indústrias de transformação, estas voltadas para o ramo de metalurgia, química, petrolífera e siderurgia, segundo a Confederação Nacional das Indústrias - CNI para o primeiro trimestre de 2023. Essas atividades, sem dispositivos de controle, podem ser danosas ao meio ambiente.

No ramo das indústrias cimenteiras, segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Cimento – SNIC, 82 municípios, em 23 estados Brasileiros, possuem fábricas de cimento, controladas por 23 grupos e representaram, para o ano de 2022, a produção de 63,5 milhões de toneladas do produto.

É importante salientar que a industrialização de grandes centros, vários períodos de altas concentrações de poluentes emitidos pelas indústrias, associados a condições meteorológicas desfavoráveis, mostraram na prática os efeitos dos poluentes sobre a saúde humana (MARTINS, 2008).

Os principais poluentes emitidos, em sua maioria pelas indústrias de transformação, são subprodutos do processo produtivo ou subproduto das reações químicas do meio em que são lançados. São definidos como Material Particulado (MP), Óxidos de Enxofre (SO_x), Óxidos de Nitrogênio (NO_x) e Gases de Combustão: Monóxido de Carbono (CO) e Dióxido de Carbono (CO_2).

Sabe-se que os poluentes são classificados conforme sua disposição ao ambiente: Poluentes primários e Poluentes secundários. Um exemplo de poluente secundário ocorre na formação do ácido sulfúrico (H_2SO_4), gerado pela oxidação do SO_2, assim como o poluente NO_2 é produzido pela oxidação do NO. O Dióxido de Enxofre, é um dos produtos da reação da queima de produtos sulfurados, como o carvão com alto teor de enxofre, em que parte é convertido em ácido sulfúrico, agente responsável pela chuva ácida.

Os óxidos de carbono, enxofre e nitrogênio, são importantes na composição da atmosfera, no entanto, em níveis elevados são considerados poluentes, como o Dióxido de Carbono (CO_2), que apesar de estar diretamente relacionado com o crescimento das espécies vegetais, com o aumento da concentração acarreta em um aquecimento da atmosfera. É importante citar que a presença de poluente monóxido de carbono (CO), é uma grave ameaça a saúde pública, pelo impedimento do transporte de oxigênio pelo corpo humano.

Os compostos de nitrogênio, ocasionados pela oxidação do nitrogênio, NO e NO_2, identificados como NOx, são os poluentes mais perigosos. Estes tendem a entrar na atmosfera em forma de NO, que logo pode ser convertido em NO_2 via processos fotoquímicos. Outras reações resultam na formação de sais de nitrato corrosivos ou ácido nítrico, HNO_3. (MANAHAN, 2013)

A Resolução Conama n° 491/2018, que revoga Resolução Conama nº 03/1990, define poluente atmosférico e elenca os principais poluentes atmosféricos à nível de solo, que indicam como referência para qualidade do ar: Material Particulado (PTS, MP_{10} e $MP_{2,5}$), Dióxido de Enxofre (SO_2), Dióxido de Nitrogênio (NO_2), Ozônio (O_3) e Monóxido de Carbono (CO).

São apresentados nos itens seguintes as principais características desses poluentes.

3.2.1 Material Particulado (MP)

Material Particulado (MP) é um poluente constituído de poeiras, fumaças, fuligens, névoas ácidas, fragmentos metálicos e de carvão, dentre outros, e todo tipo de material que se mantém suspenso na atmosfera. O material particulado pode ser classificado como Partículas Totais em Suspensão (PTS): aquelas cujo diâmetro é menor ou igual a 100 µm; Partículas Inaláveis Grossas (MP10): aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 10 µm. e Partículas Inaláveis Finas (MP2,5): possuem diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5 µm. (Isabella Mendes, 2020)

3.2.2 Óxidos de nitrogênio (NOx)

As principais fontes de NOx são antropogênicas, dentre elas, a queima de combustível fóssil através de atividades industriais, geração de energia por usinas termelétricas (óleo, gás, carvão), incineração e Indústrias Cimenteiras. (FEPAM, 2020)

Em grandes cidades, os veículos geralmente são os principais responsáveis pela emissão dos óxidos de nitrogênio (CETESB, 2020)

Os óxidos de nitrogênio gasosos, são produzidos por duas reações diferentes sempre que um combustível é queimado na presença de ar com uma chama quente. Parte do Óxido Nitroso produzido a partir da oxidação de átomos de nitrogênio, contidos em combustíveis, é chamado de NO combustível, enquanto àquele produzido pela oxidação do nitrogênio atmosférico, nas combustões em alta temperatura, é chamado de NO térmico, de forma que quanto maior a temperatura, mais NO é produzido. (BAIRD, 2011, pag. 121)

Chama quente

$$N_2 + O_2 \longrightarrow 2\,NO$$

3.2.3 Ozônio (O_3)

O ozônio é formado através de três átomos de oxigênio e é um gás oxidante reativo produzido naturalmente em grande proporção na atmosfera terrestre. Ele tem distintos comportamentos na atmosfera, dependendo da altitude em que se encontra. (SEINFELD; PANDIS, 1997).

Em muitas áreas urbanas, ocorrem episódios de poluição do ar em que é produzido o Ozônio, resultado das reações entre os poluentes induzidos pela luz. Níveis elevados de Ozônio, em baixas altitudes no ar que respiramos, ocorre o chamado *Smog fotoquímico*. Os reagentes presentes no *Smog fotoquímico* são Óxido Nítrico (NO) e hidrocarbonetos oriundos da queima incompleta de combustíveis nos motores de combustão interna e usinas termelétricas. É importante salientar que em diferentes indústrias como em usinas termelétricas, ou em processo de evaporação de solventes, ocorre a liberação de Compostos Orgânicos Voláteis. (BAIRD, 2011)

A luz solar aumenta a concentração de radicais livres que participam do processo de formação do smog, e tem como produto da reação: Ozônio, ácido nítrico e compostos orgânicos parcialmente oxidados.

$$COVs + NO + O_2 + \text{luz solar} \longrightarrow \text{Mistura de } O_3, HNO_3 \text{ e Compostos Orgânicos.}^{1}$$

3.2.4 Dióxido de enxofre (SO_2)

Gás incolor com forte odor pungente, irritante quando em contato com superfícies úmidas, pois se transforma em trióxido de enxofre (SO_3) e passa rapidamente à ácido sulfúrico (H_2SO_4), que é bastante solúvel em água.

O dióxido de enxofre tem origem tanto natural, como antropogênica. Na natureza, a substância é liberada para a atmosfera por gases vulcânicos; dentre as fontes geradas pelo homem, destacam-se as atividades industriais que processam materiais contendo enxofre, como na fabricação de fertilizantes, na fundição de alumínio e aço, na produção de ácido sulfúrico e papel, bem como nas termelétricas. O SO_2 está também presente na emissão veicular como resultado da queima de combustíveis fósseis. (CETESB, 2021)

O SO_2 presente na atmosfera pode levar a formação de chuva ácida e é precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis (MP_{10}). Os sulfatos incorporados aos aerossóis são associados à acidificação de corpos d'água, redução da visibilidade, corrosão de edificações, monumentos, estruturas metálicas e condutores elétricos (CETESB, 2021

O termo "chuva ácida" abrange a neblina ácida e a neve ácida, ambos também correspondem à precipitação atmosférica de quantidades substanciais de ácidos. A acidez ocorre pela presença de Dióxido de Carbono atmosférico dissolvido, que forma o Ácido Carbônico (H_2CO_3), que após dissociação, gera íons H+ (Íon Hidrogênio).

Os dois ácidos predominantes na chuva ácida, são o ácido Sulfúrico (H_2SO_4) e Ácido nítrico (HNO_3). É importante ressaltar que a chuva ácida se precipita segundo a direção dos ventos, e muitas vezes longe da fonte geradora, ou dos poluentes primários. Desta forma, os ácidos fortes podem ser gerados durante o transporte de massas de ar contendo Dióxido de Enxofre e Óxidos de Nitrogênio.

3.2.5 Monóxido de carbono (CO)

O monóxido de carbono é um gás inodoro, incolor e extremamente tóxico. É utilizado como agente redutor no processamento de minérios e na obtenção do hidrogênio a partir da água e como matéria-prima para a produção de ácido acético, plásticos, metanol e formiatos (CETESB, 2022)

3.2.6 Fumaça (FMC)

Está associada ao material particulado suspenso na atmosfera proveniente dos processos de combustão. O método de determinação da fumaça é baseado na medida de refletância da luz que incide na poeira (coletada em um filtro), o que confere a este parâmetro a característica de estar diretamente relacionado ao teor de fuligem na atmosfera. (CETESB, 2022)

3.2.7 Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)

São gases e vapores resultantes da queima incompleta e evaporação de combustíveis e de outros produtos orgânicos, sendo emitidos pelos veículos, pelas indústrias, pelos processos de estocagem e transferência de combustível e pelas indústrias de pinturas. Muitos desses compostos, participam ativamente das reações de formação do ozônio.

Dentre os compostos orgânicos voláteis presentes nas atmosferas urbanas estão os compostos aromáticos monocíclicos, em particular: benzeno, tolueno, etil-benzeno e xilenos (CETESB, 2022)

3.2.8 Chumbo

O chumbo é encontrado em maior quantidade em locais específicos como próximo a fundições de chumbo e indústrias de fabricação de baterias chumbo-ácido e também pode ser gerado através da queima de combustíveis fósseis. A contaminação do meio ambiente com chumbo pode decorrer, ainda, de acidentes e da destinação inadequada de resíduos. Essa substância é capaz de persistir no solo e no fundo de rios durante várias décadas e traz como consequência a acumulação de chumbo ao longo das cadeias alimentares. (CEVS, 2021)

3.3 Poluição atmosférica e seus efeitos

Em função da quantidade de substâncias e a dificuldade de estabelecer uma classificação, os poluentes foram divididos em primários, que possui a característica de ser emitido diretamente da fonte geradora, e secundários que são aqueles que após a emissão da fonte geradora, sofre modificação através de reação química entre os poluentes primários e os componentes naturais da atmosfera (CETESB, 2021).

As substâncias poluentes podem ser classificadas conforme a tabela abaixo

Tabela 1 - Classificação das substâncias poluentes

Compostos de Enxofre	Compostos de Nitrogênio	Compostos Orgânicos	Monóxido de Carbono	Compostos Halogenados	Metais Pesados	Material Particulado	Oxidantes Fotoquímicos
SO_2	NO	Hidrocarbonetos Álcoois	CO	HCl	Pb	Mistura de compostos no estado sólido e Líquido	O_3
SO_3	NO_2	Aldeídos		HF	Cd		Formaldeído
Compostos de Enxofre Reduzidos	NH_3	Cetonas		Cloretos	As		Acroleína
(H_2S, Mercaptanas, Dissulfeto de carbono, entre outros)	HNO_3	Ácidos Orgânicos		Fluoretos	Ni		PAN poli (5-amino 1-naftol)
Sulfatos	Nitratos	-		-	Entre outros		Entre outros

Fonte: CETESB, 2021, adaptado pelo autor.

Os efeitos de toxicidade dos gases poluentes e do material particulado inalável são bem conhecidos na literatura. Através da respiração, os poluentes atingem as vias respiratórias, das narinas aos alvéolos pulmonares, promovendo inúmeros processos de inflamação, que acabam por afetar e danificar o sistema respiratório (USEPA, 2001).

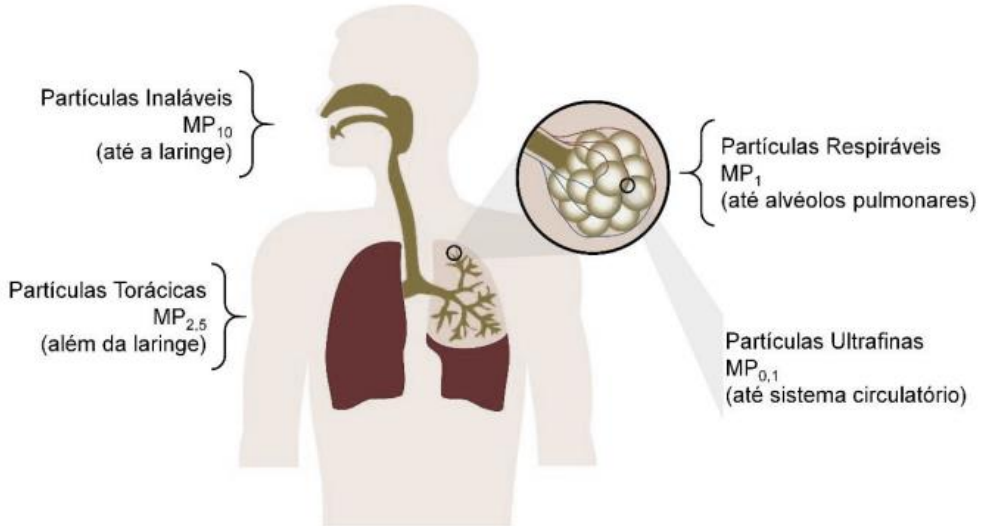
Os efeitos adversos da poluição na saúde são mais visíveis em crianças, idosos e em pessoas que sofrem de doenças respiratórias e cardiovasculares. A estas pessoas, os poluentes levam a um agravamento do quadro de saúde, promovendo infecções mais graves como bronquites, pneumonias, asma, câncer, e o próprio agravamento de outras doenças (IBAMA, 2013).

A poluição atmosférica se dá pelo processo de emissão de poluentes pela fonte geradora, seguido de reações químicas e finalizado após as substâncias poluentes serem lançadas ou geradas no meio e dispersas na atmosfera até chegar aos seres receptores, que incluem a população próxima a região, a fauna e a flora.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), os principais poluentes atmosféricos utilizados como indicadores da qualidade do ar são os Gases Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Enxofre (SO_2), Dióxido de Nitrogênio (NO_2) e Ozônio (O_3) e o material particulado $MP_{2,5}$ e MP_{10}, e estes poluentes são recebidos direta ou indiretamente pelos seres vivos.

A figura abaixo demonstra a relação dos poluentes atmosféricos no sistema respiratório humano, nota-se que quanto menor a partícula, mais perigoso torna-se o poluente, pelo poder de penetração, desta forma, o diâmetro da partícula é fundamental em análises e estudos, pois quanto menor, mais facilmente poderá se depositar no trato respiratório, e, dependendo da gravidade, podem ocasionar doenças em seres humanos, muitas vezes letais (FRIEDLANDER, 2000).

Figura 1 - Regiões de deposição para partículas atmosféricas no sistema respiratório de acordo com o diâmetro aerodinâmico



Fonte: Brito, G. F. S.; Sodré, F. F.; Almeida, F. V, 2018

Paulo Saldiva, médico patologista, professor de medicina da USP, indica que ocorrem mortes devido à inalação dos gases e à exposição a partículas finas que penetram profundamente nos pulmões e no sistema cardiovascular podendo desencadear problemas no sistema nervoso, sistema respiratório e cardiovasculares. (BRUNO, 2018).

BRUNO (2018) cita que outro gás poluente é o 1,3-butadieno (CH2 = CH–CH=CH2), é um importante produto químico industrial usado como um monômero na produção de borracha sintética e é conhecido como agente tóxico, no ar, tendo em vista a evidência de que causa câncer, como leucemia e linfoma, bem como afetar a reprodução humana.

3.4 Fontes de poluição do ar

Os poluentes são emitidos por fontes móveis e fontes fixas, sendo originados de fontes naturais e antropogênicas. A primeira é definida como as que se originam de veículos automotores, aviões e embarcações e aqueles provenientes de fontes fixas são lançados de um ponto fixo específico, como um equipamento, processo natural ou artificial, indústrias, usinas termelétricas. Além disso, as fontes fixas se dividem entre difusas e pontuais.

As fontes difusas são como aquelas em que as emissões não são controladas e as pontuais aquelas que saem de um ponto específico dentro das usinas, com controle e direcionamento de fluxo, Exemplo: Chaminés. (OLIVEIRA; BERETTA, 2014)

Tabela 2 - Tipos de Fontes de Emissão

Fontes de Poluição	**Fontes Móveis**	**Fontes Fixas**
	Todos os tipos de veículos com emissões ao longo do percurso.	Chaminés, Pilhas de material seco e Vias públicas pavimentadas ou não.
Processos Atmosféricos	Físicos: Diluição e transporte pela ação dos ventos, remoção pela ação da chuva e deposição seca.	Químicos: Reação direta entre os poluentes e reação fotoquímicas
Receptores	Ambientais: Pessoas, fauna e flora, edifícios e monumentos.	

Fonte: CETESB, 2021. Adaptado pelo autor.

3.5 Gestão Ambiental e Impacto Socioambiental

A Gestão Ambiental, objetiva a identificação, avaliação e controle dos impactos ambientais oriundos de toda a operação de uma organização. Envolve, planejar e executar estratégias para minimizar impactos ambientais. Partindo da ideia de que o ambiental não está dissociado das atividades humanas, é ainda, papel da Gestão ambiental, trabalhar para que os impactos socioambientais sejam minimizados.

O impacto socioambiental é a alteração de condições do meio ambiente em consequência de atividades humanas. Ele pode apresentar efeitos na saúde, na qualidade de vida, na economia, na segurança e no bem-estar da população em geral, em especial em grupos mais vulneráveis como crianças e adolescentes.

A redução da biodiversidade de plantas e animais, a contaminação do ar e da água, a redução da fertilidade e a erosão do solo e o esgotamento dos mananciais são exemplos de impacto socioambiental. Esses fenômenos são prejudiciais ao meio ambiente como um todo, incluindo animais e plantas, mas também afetam os seres humanos do ponto de vista social, já que interferem no modo de vida em sociedade. (Instituto Alana, 2023)

3.6 Monitoramentos e Análises Ambientais

Os monitoramentos ambientais podem ser encontrados em diversos ambientes, na água, no solo e no ar. Todos estes ambientes são afetados de forma natural ou pelas ações do homem em função das ocupações dos setores industriais.

Para o controle da poluição, algumas atitudes podem ser adotadas, medir estes potenciais poluentes através de monitoramentos da qualidade do ar ambiente e emissões atmosféricas levam para o empreendimento medidas a serem tomadas de forma a prevenir maiores concentrações de poluentes e levar eficiência ao processo.

Bons métodos analíticos, aplicáveis em análises automáticas e monitoramento contínuo, são essenciais no estudo e na diminuição da poluição do ar. A atmosfera, é considerada difícil de analisar, tendo em vista que deve ser considerado o meio, como tempo, localização, temperatura, umidade, e pontos de coleta adequados, especialmente em altitudes elevadas.

3.6.1 Monitoramento de Emissões Atmosféricas

Nos diversos setores industriais, é comum avistar chaminés, dutos de exaustão, caldeiras, aparatos que direcionam os gases produtos de reações do processo para a atmosfera, muitas destas emissões podem estar em fluxo de emissão descontrolado e emitindo acima dos níveis permitidos em legislação.

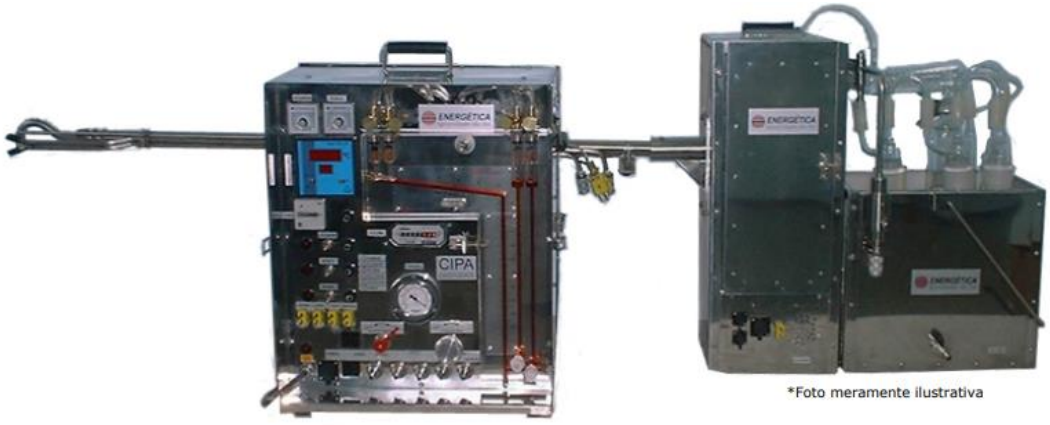
As emissões podem variar com o tipo de processo produtivo e para quantificá-los, a metodologia mais difundida e aprovada tecnicamente pelos órgãos regulamentadores Brasileiros é o

teste isocinético, desta forma, as emissões atmosféricas em dutos e chaminés são avaliadas conforme a coleta isocinética de poluentes atmosféricos.

Os principais poluentes atmosféricos provenientes das indústrias são: Material Particulado (MP), Óxidos de Enxofre (SOx), Óxidos de Nitrogênio (NOx), Metais, Dioxina e Furanos, Ácido Clorídrico (HCl), Ácido Fluorídrico (HF), Flúor (F); Cloro (Cl^-), Cianetos (CN^-), Compostos Orgânicos Voláteis (VOC), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO_2) e Oxigênio (O_2), estes poluentes são monitorados através do equipamento Coletor isocinético de poluentes atmosféricos (CIPA).

A Figura 2 mostra o equipamento CIPA, utilizado no monitoramento de emissões atmosféricas.

Figura 2 - Coletor Isocinético de poluentes atmosféricos (ID: CIPA-M5M)



Fonte: Energética, 2021

Para cada tipo poluente a ser monitorado, existe um método de ensaio aplicado, desta forma, o equipamento CIPA consiste em um instrumento que permite ao operador, monitorar velocidades, temperaturas, pressões e vazões visando a manter amostragem isocinética dos gases, mas com o objetivo de realizar diferentes ensaios dos parâmetros de interesse.

Na amostragem, o gás entra pela boquilha a uma velocidade igual à velocidade do gás que se aproxima. Durante a amostragem, parâmetros como velocidade e temperatura dos gases são constantemente monitorados, e a vazão periodicamente ajustada de modo que a velocidade na boquilha se iguala à velocidade dos gases e mistura de partículas na chaminé. (MRV Serviços, 2021).

A legislação Brasileira, dispõe sobre padrões de lançamento permitidos emitidos por fontes fixas, dos quais cita-se a Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006, Resolução nº 436, de 22 de dezembro de 2011, em que os limites são fixados por poluente e por tipologia de fonte conforme estabelecido nos anexos desta Resolução e Resolução CONAMA nº 499, de 06 de outubro

de 2020, que dispõe sobre o licenciamento da atividade de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer.

É importante salientar que as legislações citadas, são comumente cobradas pelos diferentes Órgãos ambientais em todo território nacional, mas ainda podendo ser cobrado das indústrias, limites mais restritivos segundo legislações estaduais, municipais ou para obtenção de licenças ambientais.

3.6.2 Monitoramento da Qualidade do Ar Ambiente

Nos diferentes processos Industriais, podem existir emissões de partículas no ambiente, que ao ser emitido pelo empreendimento geram elevadas concentrações de poluentes, como materiais particulados. Estes poluentes são quantificados em termos de massa de poluente por volume de ar. Ao comparar com a Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018, legislação atual, que define padrões de qualidade do ar intermediários (PI) e o padrão de qualidade do ar final (PF) é possível verificar o nível de poluição no ponto de monitoramento.

Os PIs (PI-1, PI-2, PI-3) são padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas e o PF são os valores guias definidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 2005 (CONAMA Nº 491/2018).

Segundo a legislação, os parâmetros analisados no monitoramento da qualidade do ar, são: Ozônio (O_3), Monóxido de Carbono (CO), Partículas Inaláveis ou Material Particulado MP_{10} e $MP_{2,5}$, Partículas totais em suspensão (PTS), fumaça, Dióxido de Nitrogênio (SO_2). Todos estes parâmetros são analisados considerando à nível de solo, onde existe população habitada.

Um dos métodos de amostragem, ocorre através do equipamento AGV MP 10 e MP 2,5.

A Figura 3, demostra modelos de equipamentos utilizados para amostragem de Material particulado, Partículas totais em suspensão e Gases SO_2 e NO_2.

Figura 3 - AGV MP10 e MP2,5

Fonte: Energética, 2021

Os equipamentos, possuem como princípio a compactação de partículas retidas em um filtro (Normalmente de fibra de vidro) por um período de 24h, em que o ar é aspirado para dentro do sistema através de uma bomba e absorção de gases em soluções descritas como “soluções absorvedoras” que são borbulhadas no sistema.

3.7 Inventário de Fontes de Emissão

O inventário de emissões consiste em uma ferramenta de estimativa de emissões atmosféricas, como uma listagem atualizada das fontes ou grupo de fontes localizadas em uma delimitação de área para um determinado intervalo de tempo. Faz-se necessário o conhecimento de cada fonte de emissão, de forma a determinar quais e a quantidade de poluentes que são lançados na atmosfera. Desta forma, o inventário de emissões atmosféricas torna-se base para os programas de gerenciamento da qualidade do ar.

É de interesse do inventário de fontes de emissão possuir as seguintes informações:

- Área geográfica coberta pelo inventário;
- O intervalo de tempo considerado para a estimativa, isto é, anual, mensal, horário, etc;
- A descrição das categorias de fontes abrangidas;
- Procedimentos usados para a coleta de dados;
- Fonte dos dados coletados;
- Identificação dos métodos usados para o cálculo das emissões;
- Documentação completa de todas as considerações realizadas;
- Identificação das fontes de emissão não incluídas no inventário;
- Lista de referências.

A Agência de Proteção Ambiental americana (EPA), define a ferramenta Inventário de Emissões Atmosféricas como sendo uma listagem atualizada e abrangente das emissões atmosféricas causadas por fontes ou grupo de fontes que estão localizadas numa área geográfica específica para um intervalo de tempo definido. Um inventário de emissões envolve, portanto, a investigação de cada fonte ou grupo de fontes, dentro de uma área para determinar a quantidade e a qualidade dos poluentes de vários tipos que estão sendo lançados na atmosfera.

Segundo a *European Environment Agency - EEA* (2002), o inventário de emissões atmosféricas é a base essencial para todos os programas de gerenciamento da qualidade do ar. Esta ferramenta pode ser usada com vários propósitos, mas frequentemente é desenvolvida para atender às requisições regulamentadas pelas agências ambientais.

Um inventário de emissões pode ser usado para avaliar o status da qualidade do ar de uma região e suas relações com os padrões de qualidade do ar; avaliar a efetividade dos programas de controle de poluição do ar e servir de base para a implementação de mudanças necessárias nestes programas.

- Fontes Pontuais: são fontes estacionárias de emissão que lançam poluentes para a atmosfera. A estimativa das emissões é realizada para cada fonte individualmente com a utilização de dados de capacidade e produção e condições de operação. Algumas metodologias consideram as fontes estacionárias as fontes que emitem uma quantidade de poluentes acima de um patamar pré-definido.
- Fontes áreas: são geralmente fontes menores que as primarias, cujas emissões individuais não as qualificam como fontes pontuais. Usualmente representam um grande número de atividades que individualmente lançam pequenas quantidades de poluentes para a atmosfera mais que coletivamente passam a ter emissões significativas. (PIRES, 2005)
- Fontes Lineares: compreendem as fontes móveis cujas emissões originárias do transporte em rodovias, ferrovias, navegação e transporte aéreo são estimadas ao longo das trajetórias das vias percorridas. (CETESB, 2022)

3.8 Legislação Aplicável

Atualmente, as leis que regem os limites permitidos segundo a resolução CONAMA são aplicadas por tipo de processo, considerando a potência térmica e o tipo de combustível utilizado, em fontes fixas.

As resoluções CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006 e Resolução CONAMA nº 436 de 22 de dezembro de 2011, estão separadas em anexos, que se estendem em anexos do I ao XIII. O que difere as resoluções, são as diferenças nos limites máximos permitidos, que se tornou mais restritivo na publicação da Resolução CONAMA 436/2011 e o ano de instalação das fontes.

A tabela abaixo, indica os anexos dispostos nas normativas.

Tabela 3 - Limites de Emissão por tipo de processo industrial

Anexo	Título
Anexo I	Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de óleo combustível
Anexo II	Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de gás natural
Anexo III	Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de bagaço de cana-de-açúcar
Anexo IV	Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de derivados da madeira
Anexo V	Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de turbinas a gás para geração de energia elétrica

Anexo VI	Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de refinarias de petróleo
Anexo VII	Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de fabricação de celulose
Anexo VIII	Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de fusão secundária de chumbo
Anexo IX	Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos da indústria de alumínio primário
Anexo X	Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de fornos de fusão de vidro
Anexo XI	Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes da indústria do cimento Portland
Anexo XII	Limites de emissão para poluentes atmosféricos gerados na produção de fertilizantes, ácido fosfórico, ácido sulfúrico e ácido nítrico
Anexo XIII	Limites de emissão para poluentes atmosféricos gerados nas indústrias siderúrgicas integradas e semi-integradas e usinas de pelotização de minério de ferro

Fonte, Resolução CONAMA 382/2006 e Resolução CONAMA 436/2011, adaptado pela autora.

Segundo a Resolução CONAMA nº 499, de 6 de outubro de 2020, Resolução CONAMA 382, de 26 de dezembro de 2006 e Resolução CONAMA nº 436 de 22 de dezembro de 2011, definem limites de emissão respectivamente para o licenciamento da atividade de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer, Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas e 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.

3.9 Sistema de Abatimento de Poluentes Particulados

A remoção de material particulado das emissões de gases é um dos meios comumente encontrados nas Industrias, para o controle da poluição atmosférica. Estes meios de controle foram projetados em termos de efetividade, complexidade e custos e a seleção do equipamento utilizado deve ser levado em consideração o volume de partículas presentes, natureza das partículas (tamanho) e sistema de lavagem de gás utilizado. (FERNANDES, 2002, Pag. 181)

Segundo Fernandes, autor do livro “Emissões Atmosféricas”, os principais sistemas encontrados são:

1- Sedimentação: As câmaras de deposição atmosférica são empregadas para remover partículas de correntes gasosas pela ação da gravidade. Essas câmaras ocupam muito espaço físico e baixa eficiência de coleta para partículas pequenas.

2- Filtração de Partículas: Também conhecidos como Filtro de Mangas, são constituídos de tecido, que retêm o material particulado. Esses filtros são utilizados para recolher a poeira em sacos de coleta, chamados de coletores de poeiras industriais. Este dispositivo permite coletar partículas menores, aproximadamente 0,01 µm de diâmetro, com alta eficiência em reter partículas até 5 µm de diâmetro.
3- Lavadores de gases: Os lavadores são equipamentos que utilizam, como princípio básico de funcionamento, a absorção das partículas presentes em um fluxo gasoso, por um meio líquido, mediante contato forçado, ou impactação inercial, a qual pode se dar de diferentes maneiras, variando de um tipo de lavador para outro. O líquido, após o contato com o gás, carrega as partículas para um sistema de tratamento de efluentes líquidos, onde a parte sólida é separada da líquida, que retorna ao equipamento, para reiniciar o processo de lavagem do fluxo gasoso, enquanto a fase sólida é retida e enviada para uma destinação adequada.
4- Precipitadores Eletrostáticos: O princípio de funcionamento dos precipitadores eletrostáticos baseia-se na ionização das partículas presentes no fluxo gasoso, de forma que ao atravessarem um campo elétrico criado entre dois eletrodos metálicos, elas sejam atraídas para estes eletrodos, onde se descarregam e caem na tremonha de coleta ou ficam aderidas ao eletrodo e são retiradas posteriormente, por meio de uma forte vibração ou impacto na placa de coleta (rapping).

3.10 Metodologias de amostragem em emissões atmosféricas

A NBR 10700 de julho de 1989, dispõe sobre o planejamento de amostragem em dutos e chaminés, fixando as condições exigíveis para a amostragem.

A amostragem em fontes estacionárias constitui uma atividade complexa, envolvendo a necessidade de informações preliminares, mencionadas abaixo.

a) Características do ciclo operacional;
b) Matérias-primas utilizadas e suas características gerais;
c) Tipo de combustível utilizado;
d) Produto;
e) Características do fluxo gasoso;
f) Geometria do duto ou chaminé; e sua localização;
g) Verificação, in loco, das dimensões internas reais do duto ou chaminé
h) Determinação da quantidade dos furos para amostragem e suas localizações
i) Definição da equipe de trabalho.

Para a execução dos trabalhos, o local de amostragem deve apresentar a seguinte infraestrutura básica:

a) Plataforma de amostragem;
b) Escada de acesso à plataforma;
c) Dispositivos de levantamento do trem de amostragem e acessórios;
d) Fontes de energia elétrica (110/2,2OV - 2.5OOW);
e) Proteção dos equipamentos e da equipe contra condições adversas.

As metodologias de amostragem e ensaio dos parâmetros monitorados, seguem as seguintes normas regulamentadoras quando aplicáveis. A CETESB e o EPA mantêm disponíveis para consulta, assim como demais normas, a depender da aplicação do processo.

Tabela 4 – Metodologias de amostragem e análises

Código	Título
L9221	Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação dos Pontos de Amostragem – Procedimento
L9222	Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação da Velocidade e Vazão dos Gases – Método de Ensaio
L9223	Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação da Massa Molecular Seca e do Excesso de Ar do Fluxo Gasoso – Método de Ensaio.
L9224	Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação da Umidade dos Efluentes – Método de Ensaio
L9225	Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação de Material Particulado – Método de Ensaio
L9226	Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação do Dióxido de Enxofre – Método de Ensaio
L9227	Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação de Enxofre Reduzido Total (ERT) – Método de Ensaio
L9228	Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação de Dióxido de Enxofre e de Névoas de Ácido Sulfúrico e Trióxido de Enxofre – Método de Ensaio
L9229	Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação de Óxidos de Nitrogênio – Método de Ensaio
L9230	Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação de Amônia e seus Compostos – Método de Ensaio

L9231	Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação de Cloro Livre e Ácido Clorídrico – Método De Ensaio
L9232	Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Amostragem de Efluentes para a Determinação de Compostos Orgânicos Semivoláteis – Método de Ensaio
L9233	Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação do Sulfeto de Hidrogênio – Método de Ensaio
L9234	Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação de Chumbo Inorgânico – Método de Ensaio
L9240	Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Acompanhamento de Amostragem – Procedimento
Método 29	Emissões de Metais de Fontes Estacionárias
EPA CTM 30	Determinação das Emissões de Óxidos De Nitrogênio, Monóxido de Carbono e Oxigênio de Motores, Caldeiras e Aquecedores de Processo a Gás Natural Usando Analisadores Portáteis

Fonte: CETESB e EPA, adaptado pelo autor, 2023

3.11 Metodologias de amostragem em qualidade do ar ambiente.

O monitoramento de Qualidade do Ar Ambiente, tem por finalidade obter concentrações de poluentes atmosféricos em determinada região de influência de um empreendimento, atendendo os padrões da resolução CONAMA 491/2018. As metodologias aplicadas são descritas pelas normas ABNT (Agência Brasileira de Normas Técnicas)

A qualidade do Ar Ambiente, é avaliada a nível de solo. É de conhecimento que os lançamentos de partículas através de fontes pontuais como Dutos e Chaminés, queima de combustível fósseis como a combustão em carros e trajeto de veículos são responsáveis pela modificação da qualidade do ar a nível do solo e desta forma, o monitoramento da Qualidade do Ar Ambiente, torna-se indispensável.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, indica em uma das normas regulamentadoras os métodos de amostragem para alguns parâmetros avaliados na qualidade do ar ambiental.

Tabela 5 - Normas Regulamentadoras

Código	Título
NBR 9547	Material Particulado em Suspensão no Ar Ambiente – Determinação da Concentração Total pelo Método do Amostrador ABNT- Associação de Grande Volume

NBR 12979	Atmosfera - Determinação da Concentração de Dióxido de Enxofre, pelo Método do Peróxido de Hidrogênio
NBR 13412	Material Particulado em Suspensão na Atmosfera – Determinação da Concentração de Partículas Inaláveis pelo Método do Amostrador de Grande Volume Acoplado a um Separador Inercial de Partículas.
Lewis Publishers - Método indofenol	Determinação de Amônia na Atmosfera
US EPA – EQN 1277.026.	Método do Arsenito de Sódio para a Determinação de Dióxido de Nitrogênio na Atmosfera

Fonte: Elaborada pela autora, 2023

Considerando os custos elevados para instalação e a complexidade técnica na operação e manutenção de uma rede de monitoramento da qualidade do ar, em locais nos quais não há monitoramento, a experiência nacional indica que o Material Particulado (MP) é o parâmetro prioritário a ser monitorado. (CETESB, 2021)

4. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram realizadas pesquisas bibliográficas através dos estudos em artigos científicos, livros e teses. O material foi consultado em bases de dados como repositórios de universidades, Periódico Capes e Google Acadêmico e Sibi – Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alagoas.

O levantamento Industrial e dados técnicos foram obtidos através da Confederação Nacional das Indústrias – CNI, SNIC – Sindicato Nacional da Indústria de Cimento, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – EPA e Empresa Ambimet Monitoramentos Ambientais.

As pesquisas ocorreram no período de agosto de 2022 a novembro de 2023 e filtradas através das seguintes palavras chaves: Monitoramento Ambiental, Qualidade do Ar e Plano de Monitoramento Ambiental, e os dados estatísticos com referência aos dados mais atuais, após o ano de 2020.

Este trabalho, apresentado como um Plano de Monitoramento, consiste em demostrar resultados qualitativos, para fornecer informações pertinentes aos Monitoramentos Ambientais para composição da pasta ambiental de empresas, exemplificado, através de uma usina de cimento com o intuito de guiar gestores químicos e ambientais nas tomadas de decisão quanto a Qualidade do Ar.

Para redigir o Plano de Monitoramento, foram necessários a utilização de Software de elaboração das rosas dos ventos, busca de dados meteorológicos e imagens aéreas, estudo das normas e legislações e conhecimento do processo produtivo, em foco neste trabalho.

Os dados para elaboração da rosa dos ventos foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, através dos mapas das estações de monitoramento, considerando a estação meteorológica mais próxima do empreendimento avaliado, [A409] ARACAJU - SE. As imagens das rosas dos ventos foram obtidas através do software *WRPLOT View - Lakes Environmental*, utilizando como dados de entrada, os dados horários de Velocidade dos ventos (m/s), Direção dos ventos (grau) e Precipitação (mm).

As informações técnicas foram obtidas, através da experiencia no setor de elaboração de Planos de Monitoramento e Emissão de Relatórios Técnicos obtidos do estágio curricular obrigatório e contrato de trabalho, totalizando 2 anos na área de Qualidade do Ar ambiental.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Plano de Monitoramento da Qualidade do Ar (PMQAR)

O plano de Monitoramento da Qualidade do Ar é um documento com o objetivo de indicar as possíveis fontes de emissão, através de um inventário de emissões de gases poluentes, Indicação dos poluentes emitidos através do processo avaliado, localização dos pontos a serem monitorados, orientação sobre os métodos e equipamentos necessários para monitoramento da qualidade do ar e a frequência de amostragens.

Por sua vez, as definições dos poluentes a serem monitorados são norteadas pelos seus limites de concentrações estabelecidos pela resolução CONAMA 491/2018, podendo ser PTS, PM_{10}, $PM_{2,5}$, NO_2, SO_2 ou CO ou pelas resoluções Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006, Resolução nº 436, de 22 de dezembro de 2011 e Resolução CONAMA nº 499, de 06 de outubro de 2020 para os processos de emissões através de fontes pontuais.

A visão para a Qualidade do Ar, tem se tornando cada vez mais explorada, A tabela 6 demonstra o histórico da qualidade do ar no Brasil, segundo Elton José da Silva, Mestre em Gestão Ambiental, de maneira adaptada.

Tabela 6 - Histórico da Qualidade do Ar no Brasil

Legislação/Decreto	Disposição
Lei nº 3.688, de 3 de outubro de 1941	Lei das Contravenções Penais
Lei nº 1.413, de 14 de agosto de 1975	Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais.
Portaria do Ministério do Interior de nº 231, de 27 de abril de 1976	Estabelece padrões de qualidade do ar
Lei nº 6.803, de 02 de julho de 1980	Dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição, e dá outras providências.
A Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, 05 de outubro	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.
Resolução CONAMA nº 5, de 15 de junho de 1989	Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR
Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990	Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR.
Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990	Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências
Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006	Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas.
Resolução 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.
Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018	Dispõe sobre padrões de qualidade do ar.
Guia técnico para o monitoramento e avaliação da qualidade do ar, 2019	O presente guia visa estabelecer as diretrizes e orientar a atuação dos órgãos ambientais em relação às ações de monitoramento da qualidade do ar. Também visa a atender à Resolução Conama nº 491/2018
Resolução CONAMA nº 499, de 06 de outubro de 2020	Dispõe sobre o licenciamento da atividade de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer.

Fonte: Adaptado pelo autor, 2023

O objetivo do Plano de Monitoramento, consiste em guiar gestores do setor de Saúde, Segurança e Meio Ambiente na tomada de decisão acerca da Qualidade do Ar ambiental e os impactos nos processos e para o meio ambiente, utilizando como exemplo, processos e emissão de poluentes emitidos por indústrias de fabricação de cimento.

Para a escolha do tipo de processo, para o Plano de Monitoramento que será demonstrado, leva-se em consideração que as Industrias Cimenteiras, possuem grandes impactos econômicos no país e cujo consumo se encontra em ascensão devido ao avanço na construção civil.

O modelo de plano de monitoramento se dá nos 6 principais tópicos:

- Identificação do empreendimento, por localização geográfica;
- Avaliação dos processos de produção;
- Inventário de Emissões (Identificação das possíveis fontes de emissão)
- Definição de Pontos de Instalação de Equipamentos para a Qualidade do Ar.
- Orientação sobre os métodos e equipamentos necessários para monitoramento da qualidade do ar e frequência de amostragens.
- Comparativo com a legislação para tomada de decisão.

No entanto, são objetivos básicos do monitoramento da qualidade do ar nas indústrias, que visam ao atendimento da legislação vigente: Verificar o grau de exposição da população aos poluentes atmosféricos, considerando critérios de saúde pública e acompanhar a eficácia dos programas de controle e assim aplicar aos programas ambientais e avaliação de processos.

As estratégias adotadas para atingir tais objetivos, incluem:

- Verificar a área de influência durante o planejamento, tais como reclamações da população, tamanho da frota de veículos e estimativas de emissões de fontes fixas.
- Alocar instrumentos com o objetivo de determinar as concentrações mais altas de poluentes esperadas para a área de estudo, com a premissa de que o restante da população dessa área estará exposta a um ar com qualidade melhor do que a verificada no local de maior concentração;
- Determinar a área de maior impacto de determinada fonte ou grupo de fontes, independentemente de a área possuir ou não núcleos populacionais; (MMA, 2019)

5.2 Etapas do Processo de Produção de Cimento

O clínquer, principal constituinte do cimento, é produzido por transformação térmica a elevada temperatura em fornos rotativos, a partir de uma mistura de material rochoso contendo aproximadamente 80% de carbonato de cálcio ($CaCO_3$), 15% de dióxido de silício (SiO_2), 3% de óxido de alumínio (Al_2O_3) e quantidades menores de outros constituintes, como o ferro, o enxofre, etc. Estes materiais são normalmente extraídos em pedreiras de calcário, ou margas, localizadas nas proximidades dos fornos de produção do clínquer.

Existem basicamente dois tipos de processos de produção de clínquer, o processo por via úmida, e processo por via seca. No processo por via úmida, a carga do forno rotativo é uma pasta com, aproximadamente, 40% de água; no processo por via seca, a carga é seca ou com baixíssima porcentagem de água. O processo por via úmida tem sido pouco utilizado nos dias atuais, devido ao maior consumo energético necessário para a evaporação da umidade na matéria-prima.

No entanto, ambos os processos, passam pelas seguintes operações unitárias: etapa de moagem, mistura e aquecimento das matérias-primas – calcário, argila e outros materiais contendo silício, alumínio e óxidos de ferro – a aproximadamente 1450 °C para formar clínquer, que é, então, resfriado rapidamente e misturado ao gesso para formar o cimento.

Etapas para obtenção do cimento:

- Extração do calcário e argila: Processo de exploração de pedreiras para obtenção da matéria prima. Os ingredientes brutos principais que são necessários para a produção de cimento são: calcário (cálcio), areia e argila (silício, alumínio, ferro).
- Britagem: Tem como objetivo reduzir o material à condição de grãos de tamanho
- Moagem, Dosagem e Mistura: Os ingredientes brutos triturados são preparados para serem colocados no forno, combinando-os com aditivos e moendo-os para garantir uma mistura fina e homogênea. Nos processos de produção mais comuns, o cimento é composto por 80% de calcário e 20% de argila.
- Pré-Aquecimento da Matéria-Prima: Nessa etapa de pré-aquecimento da matéria-prima, a esta é adicionada em uma câmara de pré-aquecimento, que consiste em uma série de ciclones industriais que utilizam os gases quentes produzidos no forno, para reduzir o consumo de energia e tornar o processo de fabricação de cimento bem mais sustentável. Nesta etapa as matérias-primas são transformadas em óxidos para serem queimadas no forno.
- Forno: Principal etapa do processo de produção do cimento, pois é nela que é produzido o clínquer, cimento na sua forma básica de fabricação. O clínquer é produzido a partir da mistura bruta por meio de uma série de reações químicas entre compostos de cálcio e dióxido de silício. No forno correm as seguintes etapas: Evaporação de água livre, evolução da água combinada nos componentes argilosos, calcinação do carbonato de cálcio ($CaCO_3$) a óxido de cálcio (CaO), reação de CaO com sílica para formar silicato dicálcico, reação do CaO com os constituintes contendo alumínio e ferro forma a fase líquida, formação dos nódulos de clínquer,

evaporação de constituintes voláteis (por exemplo, sódio, potássio, cloretos e sulfatos) e a reação do excesso de CaO com o silicato dicálcico forma o silicato tricálcico.

Condições apresentadas no forno em função da temperatura:

- 100°C: Evaporação de água livre
- 100°C - 430°C: Desidratação e formação de óxidos de silício, alumínio e ferro
- 900°C - 982°C: CO_2 é liberado e CaO é produzido por calcinação
- 1510°C: Clínquer de cimento é formado

- Resfriamento e moagem final:

  Após sair do forno, o clínquer produzido é rapidamente resfriado de 2.000°C a uma temperatura entre 100°C-200°C pela passagem de ar sobre ele. Nesta fase, diversos aditivos são combinados com o clínquer a ser moído para produzir o produto final, o cimento.

  O gesso moído adicionado ao clínquer regula o tempo de presa e confere a propriedade mais importante do cimento, a resistência à compressão. O gesso também é usado para evita a aglomeração e revestimento do pó na superfície das esferas e paredes do moinho.

  O calor produzido pelo clínquer circula de volta ao forno para economizar energia. A última etapa da fabricação do cimento é o processo de moagem final. Na fábrica de cimento, existem tambores rotativos equipados com esferas de aço. O clínquer, depois de resfriado, é transferido para esses tambores rotativos e moído em um pó tão fino que cada quilo contém cerca de 150 bilhões de grãos. Este pó é o produto final, o cimento. (Pedro Coelho, 2023)
- Embalagem e envio:

  Nessa etapa final do processo, o cimento é transportado de moinhos para os silos onde será embalado em sacos de 20-50 kg.

Durante os processos apresentados, ocorrem emissões de Material Particulado em todas as etapas do processo e demais parâmetros durante o aquecimento da matéria prima no Forno de Clinquer. No entanto, para o tipo de processo aplicado, é de extrema importância a avaliação periódica da Qualidade do Ar, dos parâmetros Material Particulado, Dióxido de Enxofre e Óxidos de Nitrogênio nas regiões circundantes do empreendimento, estes parâmetros são comumente avaliados para este tipo de processo.

5.3 Impactos Ambientais na Industria Cimenteira

O impacto das indústrias cimenteiras na qualidade do ar local e regional é um tema que tem sido amplamente estudado a nível nacional e internacional. Os principais poluentes atmosféricos que são emitidos por esta atividade industrial são as Partículas Totais em Suspensão (PTS), os Óxidos de Nitrogênio (NOx), Dióxido de Enxofre (SO_2) e o Dióxido de Carbono (CO_2) (Josa et al., 2004).

A indústria do cimento tem elevado potencial poluidor. Há fontes de poluição em todas as etapas do processo – moagem e homogeneização das matérias-primas; clinquerização no forno rotativo; resfriamento do clínquer; moagem do clínquer; adições e produção de cimento, ensacamento e expedição; pontos de transferência de materiais.

As plantas de fabricação de cimento estão entre as maiores fontes de emissão de poluentes atmosféricos perigosos, dos quais se destacam dioxinas e metais tóxicos, como mercúrio, chumbo, cádmio, arsênio, antimônio e cromo; produtos de combustão incompleta e os ácidos halogenados. Os metais pesados contidos nas matérias-primas e combustíveis, mesmo em concentrações muito peque nas, devido à sua volatilidade e ao comportamento físico-químico de seus compostos, podem ser emi tidos na forma de particulado ou de vapor, pelas chaminés das fábricas (MAURY e BLUMENSCHEIN, 2012, pag. 80)

De acordo com JOSA et al. (2004), as emissões de NOx, devem-se sobretudo à queima de combustíveis fósseis durante a produção de clínquer e do consumo de energia durante todo o processo de produção. As emissões de NOx não resultam assim das reações químicas que ocorrem durante o processo produtivo, mas sim da queima de combustíveis fósseis.

O enxofre está presente na maioria dos combustíveis fósseis, não obstante é no carvão que se concentra mais, pelo que a sua queima constitui a maior fonte antropogênica individual de SO_2 (Vallero, 2008). Esta fonte contribui com cerca de 50% das emissões globais anuais, seguindo-se as fontes resultantes da combustão dos derivados de petróleo, que contribuem com cerca de 25 a 30% (SECIL, 2006).

Diversos estudos evidenciam que o transporte de longa distância do SO_2 ocorre na troposfera. Quando em trânsito, as quantidades de SO_2 são convertidas em sulfato, que se deposita na superfície da terra por processos secos ou úmidos, muito longe das respectivas fontes de emissão. Por sua vez, a deposição do sulfato desempenha um papel extremamente importante na deposição ácida que contribui para a diminuição do pH das águas interiores e altera a composição de alguns solos. Este efeito afeta a capacidade de sobrevivência de muitas plantas e espécies aquáticas (Vallero, 2008).

No ar, as vias de contaminação ocorrem pela inalação ou contato com a pele, por material particulado, NOx, SOx, Dioxinas e Furanos e metais; no solo, por Inalação, ingestão ou contato dérmico com solos e poeiras contaminados: material particulado, metais pesados, dioxinas e furanos; Na água, Ingestão ou contato dérmico com corpos d’água contaminados, metais pesados, dioxinas e furanos e consequentemente na cadeia alimentar com a Ingestão de alimentos contaminados, dioxinas, furanos e metais pesados.

6. PLANO DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR: VOTORANTIM CIMENTOS – UNIDADE LARANJEIRAS

Maceió - AL

28 de novembro de 2023

VOTORANTIM cimentos	**PMQAR**	Identificação: PMQAR
		Revisão: 00
Título:	**Plano de Monitoramento da Qualidade do Ar**	

REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO
0.0	28/11/2023	Emissão Inicial

6.1 Justificativa

Este Plano de Monitoramento de Qualidade do Ar, consiste em um modelo, elaborado através da necessidade de avaliar os processos químicos e geradores de poluentes atmosféricos, para o controle e mitigação de impactos de poluentes atmosféricos, considerando um funcionamento contínuo da Votorantim Cimentos – Unidade Laranjeiras.

A princípio foi delimitada uma área para estudo da possível dispersão dos poluentes, contemplando dentro desta as maiores concentrações encontradas como dados de saída. Esta região é considerada a zona de maior representatividade para o estudo.

O Plano de Monitoramento da Qualidade do Ar apresentado, consiste em um estudo direcionado, utilizando a Unidade de Produção de Cimento, situado em Laranjeiras – SE. Os dados apresentam-se como um estudo qualitativo, considerando a localização Geográfica, e dados disponíveis na literatura. Desta forma, nenhum dado, consiste em dados oficiais do empreendimento, tento em vista o sigilo das informações.

6.2 Objetivo

Objetiva, o monitoramento ambiental, avaliar as emissões através das fontes geradoras e que possuem maiores representatividade nas emissões atmosféricas que podem acarretar em atendimento as exigências fiscalizadoras, comprometimento com o sistema ambiental e avaliação dos impactos socioambientais para a Gestão da Qualidade do Ar na indústria avaliada.

6.3 Descrição do empreendimento

A Votorantim Cimentos é a 7º maior companhia do setor Cimenteiro em capacidade instalada no mundo e está há mais de 80 anos operando, com início em 1936, com a unidade Santa Helena, no município de Votorantim, no Estado de São Paulo.

A imagem abaixo ilustra as localizações das unidades distribuídas pelo Brasil.

Figura 4 - Mapa das unidades Votorantim Cimentos

Fonte: Votorantim Cimentos, 2021

Tabela 7 - Coordenadas de localização

Local	Unidade	Latitude	Longitude	UTM
Rondônia	Porto Velho	9027525.87 m S	415483.23 m E	20 L
Amazonas	Manaus	9654892.59 m S	175033.74 m E	21 M
Macapá	Macapá	3604.39 m N	487061.98 m E	22 N
Pará	Belém	9851646.20 m S	795309.25 m E	22 M
Pará	Primavera	9891475.06 m S	264384.81 m E	23 M
Tocantins	Xambioá	9288185.31 m S	784525.80 m E	22 M
Maranhão	Imperatriz	9389154.37 m S	226204.82 m E	23 M
Piauí	Teresina	9435654.58 m S	747328.59 m E	23 M
Ceará	Pecém	9596164.56 m S	516164.29 m E	24 M
Pernambuco	Petrolina (CD)	8960995.17 m S	330904.13 m E	24 L
Bahia	Luis Eduardo Magalhães (CD)	8661121.80 m S	411990.75 m E	23 L
Maranhão	São Luís	9708514.58 m S	576722.16 m E	23 M
Pernambuco	Poty Paulista	9129164.88 m S	295845.52 m E	25 M
Pernambuco	Caruaru (CD)	9081302.86 m S	828587.31 m E	24 L
Alagoas	Maceió (CD)	8941045.68 m S	196493.99 m E	25 L
Sergipe	Barra dos Coqueiros	8802305.43 m S	725696.76 m E	24 L
Sergipe	Laranjeiras	8802915.49 m S	700562.61 m E	24 L
Bahia	Camaçari	8601772.12 m S	570476.03 m E	24 L
Bahia	Feira de Santana (CD)	8642171.85 m S	502649.01 m E	24 L
Mato Grosso	Cuiabá	8304398.51 m S	592375.77 m E	21 L
Mato Grosso	Nobres	8381127.31 m S	579521.84 m E	21 L

Mato Grosso do Sul	Corumbá	7898692.17 m S	434363.27 m E	21 K
Mato Grosso do Sul	Campo Grande (CD)	7724525.00 m S	751428.00 m E	21 K
Brasília	Sobradinho	8274739.53 m S	191729.04 m E	23 L
Goiânia	Aparecida de Goiânia	8141738.34 m S	684803.21 m E	22 K
Goiás	Edealina	8091469.27 m S	629022.60 m E	22 K
Minas Gerais	Paracatu	8096867.57 m S	300007.38 m E	23 K
Minas Gerais	Uberlândia (CD)	7912742.23 m S	785060.46 m E	22 K
Minas Gerais	Uberaba (CD)	7814555.43 m S	197962.93 m E	23 K
Minas Gerais	Campo Grande – Agregados	7929585.82 m S	506059.24 m E	23 K
Minas Gerais	Itaú de Minas	7703331.76 m S	316379.19 m E	23 K
Minas Gerais	Três Corações	7603968.54 m S	467143.09 m E	23 K
Rio de Janeiro	Cantagalo	7574387.09 m S	782873.90 m E	23 K
Rio de Janeiro	São Gonçalo (CD)	7479549.03 m S	706198.59 m E	23 K
Rio de Janeiro	Rio de Janeiro (CD)	7476308.27 m S	675823.03 m E	23 K
Rio de Janeiro	Jacarepaguá	7462102.74 m S	666915.64 m E	23 K
Rio de Janeiro	Santa Cruz	7466520.24 m S	631009.17 m E	23 K
Rio de Janeiro	Volta Redonda	7511727.96 m S	597354.70 m E	23 K
Rio Grande do Sul	Unidade Pinheiro Machado	6510714.49 m S	257025.05 m E	22 J
Rio Grande do Sul	Unidade Esteio	6698485.03 m S	483061.80 m E	22 J
Rio Grande do Sul	Unidade Caxias do Sul (CD)	6770636.37 m S	475582.85 m E	

Fonte: Votorantim Cimentos, 2021

6.4 Localização do Empreendimento e Área de Influência

O empreendimento para aplicação deste plano modelo está localizado no município de Laranjeiras, no estado de Sergipe, mais precisamente nas coordenadas latitude 8802915.49 m S e Longitude 700562.61 m E, 24 L UTM. A figura abaixo indica a localização do empreendimento.

Figura 5 - Localização do empreendimento de estudo.

Imagem: Google Earth, 2022

Figura 6 - Localização do empreendimento de estudo aproximada

Imagem: Google Earth, 2023

6.5 Poluentes emitidos no processo de fabricação de cimento

O sistema de produção de cimento necessita de uma grande quantidade de energia térmica para a queima de combustíveis fósseis, sendo os principais utilizados nas Indústrias o carvão mineral, óleo combustível e o gás natural. A utilização destes combustíveis, podem apresentar altas taxas de emissões de NOx e SOx, nos gases de exaustão dos fornos rotativos sob determinadas condições, desta forma, o grau dessas emissões depende do tipo de combustível utilizado e do processo produtivo.

As altas temperaturas necessárias ao processo de produção do clínquer favorecem a formação de NOx. Por sua vez, as emissões de SOx estão associadas à presença de enxofre nas matérias-primas e no combustível utilizado no processo de queima. As emissões de SOx nos fornos para produção de clínquer na indústria do cimento consistem principalmente de SO_2.

As emissões de dióxido de enxofre (SO_2) em uma indústria de cimentos, são gerados pela combustão de combustíveis fósseis, que possui enxofre em sua composição, sendo utilizado para a produção de clínquer, também são gerados pelas reações químicas decorrente do forno de clínquer (coque usado na queima), e por último a combustão de enxofre durante a produção de energia que é consumida ao longo de todo processo produtivo (ARAÚJO, 2008).

Além das emissões de Óxidos de Enxofre (SOx), ocorrem as emissões de Óxidos de Nitrogênio (NOx), e da perceptível emissão de material particulado durante o processo. A imagem abaixo, demonstra a característica do produto formado:

Figura 7 - Ponto de coleta de uma chaminé na Industria de cimento.

Fonte: Ambimet, 2023

A imagem acima apresenta três estágios na abertura em um ponto de coleta. Nota-se que na Imagem, Item I: O ponto de coleta encontra-se fechado, Item II: Ocorre a emissão de um pó fino após abertura do ponto de acesso, e no Item III: Material incrustrado nas paredes internas da chaminé.

6.5.1 Formação de Óxidos de Nitrogênio (NOx)

O óxido de nitrogênio é formado durante a combustão, onde ocorre a formação de NO térmico, a partir da reação entre o nitrogênio atmosférico e o oxigênio atômico, em temperaturas acima de 1500 ºC, bem como, a partir do nitrogênio contido no combustível (NO_{comb}), o qual pode ocorrer mesmo em temperaturas relativamente baixas.

O NO térmico é a principal rota do mecanismo de formação das emissões de NO_x na fabricação do cimento, devido às altas temperaturas envolvidas na queima ou nas etapas de formação do clínquer, juntamente com a atmosfera oxidante no forno, contribuindo assim para a formação de grande quantidade de NO_x. (SIGNORETTI E SILVA, 2006)

Segundo o EPA (2000), nas zonas de baixa temperatura do forno, ocorre a oxidação do NO em NO_2, contudo, o NO_2 normalmente aparece em porcentagens menores que 10% do NOx emitido por um sistema de exaustão de um forno rotativo.

Altas temperaturas e alta concentração de O_2 são fatores que favorecem a formação do NO térmico e prevenir estes fatores é basicamente a melhor tecnologia de controle. Entre os fatores que influenciam a formação do NO do combustível estão: a geometria do queimador, técnicas de contato entre o combustível e o ar, altas taxas de misturas, concentração de nitrogênio no combustível, ritmo de volatilização e queima do combustível e temperatura da fase gasosa. (Signoretti e Silva, 2006)

Segundo os autores acima citados, os fatores que determinam à concentração de NO nos gases de combustão do forno de produção de clínquer são: a temperatura de chama, o tipo de chama, a relação de excesso de ar na combustão e o tempo de residência do gás e do material na zona de queima em altas temperaturas.

6.5.2 Formação de Óxidos de Enxofre (SOx) e Emissão de Material Particulado.

O enxofre é absorvido em grande parte pelos materiais dentro do processo, e sai do sistema como um componente do clínquer, como emissão de material particulado do resfriador de clínquer, material particulado do forno ou como emissão de material particulado pela chaminé do forno. Parte do enxofre é retido dentro do sistema na forma de incrustações ou como parte de um ciclo volátil.

A quantidade de enxofre introduzida é usualmente absorvida dentro da faixa de 50 a 90% da quantidade inicial. Na combustão, praticamente todo o enxofre presente no combustível será oxidado a SO_2. (Signoretti e Silva, 2006)

A formação desses óxidos nesse processo deve-se à presença de sulfatos e de sulfetos no material usado na pasta, e também devido ao uso de combustíveis com altos teores de enxofre.

6.6 Equipamentos materiais utilizados

São utilizados para realização dos monitoramentos em Emissões Atmosféricas (Teste Isocinético) os itens abaixo:

- Sistema Completo para Coleta Isocinética de Poluentes Atmosféricos
- Analisador de gases
- Barômetro
- Balança e pesos padrões
- Notebook
- Filtro de fibra de vidro ou Quartzo
- Soluções absorvedoras (Para cada parâmetro a ser avaliado)
- Sílica Gel.

São utilizados para o monitoramento de Qualidade do Ar Ambiente:

- AGV PTS
- AGV PM10 e PM2,5
- HIVOL
- Filtro de fibra de vidro
- Solução absorvedora de SO_2 - Peróxido de hidrogênio 0,3%
- Solução absorvedora de NO_2 - 0,1% de arsenito de sódio

6.7 Frequência das amostragens

O órgão ambiental competente de cada região definirá os critérios de periodicidade de amostragens visando o tipo de processo seja por medidas preventivas ou para obtenção de certificações ambientais.

6.8 Inventário de fontes de emissão

As fontes de emissão definidas nos processos são Pontuais, Lineares e Volumétricas, antropogênicas e de emissão contínua, todas estão localizadas dentro do empreendimento.

A tabela abaixo apresenta as características das fontes que devem ser consideradas neste estudo, os dados devem ser obtidos através do conhecimento da planta industrial ou de relatórios de monitoramentos passados.

As fontes identificadas para o processo estão descritas na tabela abaixo:

Tabela 8 - Dados para inventário de Emissões

Fontes Identificadas	Tipo de Fonte	Tipo de Monitoramento	Quantidade de fontes	Altitude (m)	Altura (m)	Diâmetro (m)	Velocidade (m/s)	Temperatura (K)	Coordenadas Geográficas	
									Latitude	Longitude
Chaminé do Forno	Pontual	Teste Isocinético	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
Chaminé do Moinho de Cimento	Pontual	Teste Isocinético	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
Chaminé do Moinho de Coque	Pontual	Teste Isocinético	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
Chaminé da Ensacadeira	Pontual	Teste Isocinético	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
Chaminé do Resfriador	Pontual	Teste Isocinético	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
Dutos	Pontual	Teste Isocinético	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
Vias pavimentadas	Lineares	Qualidade do Ar Ambiente	N.A	(*)	N.A	N.A	N.A	N.A	(*)	(*)
Vias não pavimentadas	Lineares	Qualidade do Ar Ambiente	N.A	(*)	N.A	N.A	N.A	N.A	(*)	(*)
Pilhas	Volumétrica	Qualidade do Ar Ambiente	(*)	(*)	N.A	N.A	N.A	N.A	(*)	(*)

N.A = Não se aplica ao tipo de processo.

(*) Dados obtidos através de informações internas/ operacional ou do projetista da planta industrial.

Nota: Os dados devem ser obtidos através da planta industrial da unidade, ou através de histórico de relatórios, as fontes apontadas, são definidas considerando que a unidade industrial, possui apenas um tipo de fonte apontado.

Figura 8 - Possíveis Fontes Identificadas por visualização satélite

Imagem: Google Earth, 2023

Figura 9 - Pilhas de matéria prima por visualização satélite

Imagem: Google Earth, 2023

Figura 10 - Obtenção de matéria prima

Imagem: Google Earth, 2023

Figura 11 - Armazenamento de insumos

Imagem: Google Earth, 2023

6.9 Dados técnicos das fontes pontuais

As informações apresentadas abaixo devem ser obtidas a fim de obter as condições das coletas, conforme indica a Norma regulamentadora.

Tabela 9 - Dados Técnicos

Fonte	Diâmetro da Chaminé	Altura da Chaminé	Distancia a Montante	Distancia a Jusante	Formato (Circular ou Quadrada)	Acesso ao Ponto (Escada ou PTA)
Chaminé do Forno	(*)	(*)	> 2 Ø	> 0,5 Ø	(*)	(*)
Chaminé do Moinho de Cimento	(*)	(*)	> 2 Ø	> 0,5 Ø	(*)	(*)
Chaminé do Moinho de Coque	(*)	(*)	> 2 Ø	> 0,5 Ø	(*)	(*)
Chaminé da Ensacadeira	(*)	(*)	> 2 Ø	> 0,5 Ø	(*)	(*)
Chaminé do Resfriador	(*)	(*)	> 2 Ø	> 0,5 Ø	(*)	(*)

(*) Os dados são obtidos através do dimensionamento do projetista ou através das medições, durante a amostragem, as informações são essenciais para e equipe coletora identificar a altura de abertura de ponto de coleta, quando este, não estiver disponível na fonte emissora do empreendimento.

Nota: A fim de representação, considerou-se que a unidade industrial, possui pelo menos um tipo de fonte para cada etapa do processo produtivo.

Para chaminés e dutos de seção circular, deve-se definir uma seção transversal que fique pelo menos 8 diâmetros internos a jusante (A) e a pelo menos 2 diâmetros internos a montante (B) de qualquer distúrbio do fluxo, seja este causado por curva, expansão, contração, entrada ou desvio. Caso isto seja impraticável, deve-se selecionar uma seção transversal que esteja pelo menos 2 diâmetros internos a jusante e 0,5 diâmetro interno a montante de qualquer distúrbio do fluxo**.** (CETESB, 1990)

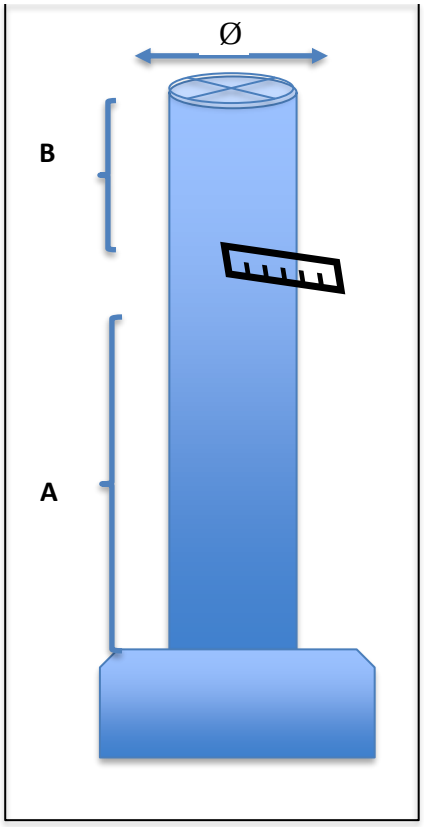
A imagem abaixo demostra as características do ponto de amostragem a definir.

Figura 12 - Característica do ponto de amostragem

Diâmetro Ø = 1 m

Jusante (A): 8 Ø

Montante (B): 2 Ø



6.10 Cronograma de amostragem e parâmetros a serem avaliados

Tabela 10 - Fontes de Emissão e cronograma de amostragem

Estimativa de Dias	Fonte	Parâmetros avaliados	Tempo aproximado por coleta (*)
10 dias	Forno	Material Particulado	2 h(***)
		Dióxido de Enxofre	1 h
		Ácido Clorídrico	2 h
		Ácido Fluorídrico	1 h
		Ácido Cianídrico	1 h
		Amônia	1 h
		Dioxinas e Furanos	1h30min
		BTEX	40 min
		VOC\THC	40 min
		Metais	1 h
		Gases de Combustão (CO_2, CO e NO_2)	5 min
1 dia	Moinho de Cimento	Material Particulado e gases de Combustão	1 h
1 dia	Moinho de Coque		1 h
1 dia	Ensacadeira		1 h
1 dia	Resfriador		1 h

1 dia	Secador		1 h
2 dias	Ponto a ser avaliado pela localidade e direcionamento de ventos	PTS, PM10, PM2,5, SO_2, NO_2, Fumaça, Ozônio e CO	24 h

(*) São realizadas 3 coletas por parâmetro avaliado nas fontes de emissão pontuais (Dutos e Chaminés)

(**) Parâmetros avaliados conforme Resolução CONAMA 499/2020

(***) Tempo considerado para fornos, nas demais fontes, realiza-se o monitoramento em 1h.

6.11 Definição de pontos de coleta para a qualidade do ar ambiente

Os poluentes atmosféricos são emitidos por uma grande variedade de fontes de poluição, sendo posteriormente transportados e dispersados pela ação do vento na atmosfera. Por esse fato, a concentração dos poluentes na atmosfera varia no tempo e no espaço. De acordo com Elkamel et al. (2007), tais condições obrigam a que seja realizada uma seleção criteriosa dos locais a monitorizar, de modo a que possam fornecer informações representativas do real estado da qualidade do ar.

Para o monitoramento da Qualidade do Ar Ambiente, sugere-se, que os pontos sejam alocados considerando a população próxima ao empreendimento, o direcionamento dos ventos na região, o nível de reclamações da população, ou ainda o interesse do empreendimento para avaliação dos impactos ocasionados pelo empreendimento.

A localização dos pontos de monitoramento, em relação às fontes de emissão mais relevantes deve ser verificada. Para as fontes móveis, destaca-se a relação com vias de grande tráfego, por serem os veículos importantes fontes de emissão e também por emitirem poluentes na zona respiratória

Já para a maioria das fontes fixas deve ser considerado o fato de que as emissões são realizadas por meio de chaminés, cuja altura é distante da zona de respiração, assim as plumas se dispersam e os maiores impactos podem ser observados a distâncias consideráveis do ponto de emissão, a depender das condições meteorológicas.

Ainda na ótica das emissões das fontes móveis, é recomendável observar não só a influência da topografia e meteorologia locais, mas também as características e a disposição das edificações (geometria urbana) para definir o melhor posicionamento dos pontos de coleta.

O empreendimento, apresenta a leste regiões habitadas, e pode ser utilizado como região de interesse para a avaliação da qualidade do ar.

Um segundo método de avaliação ocorre pelo estudo de ventos, associado ou não a um recurso auxiliar de estudo de dispersão de poluentes atmosféricos, consistindo em um software de monitoramento, os quais são inseridos dados das fontes inventariadas, dados meteorológicos, de relevo, entre outros. Um dos *Softwares* utilizados para este tipo de estudo é o *Aermod View*, modelo de simulação de dispersão de poluentes atmosféricos regulados pelo *USEPA*, modelo em estado estacionário que pode ser aplicado em diversas áreas, desde rurais até as industriais, podendo contemplar múltiplas fontes como pontuais, área, linha e volume, sendo capaz de caracterizar a camada limite atmosférica (USEPA, 2004).

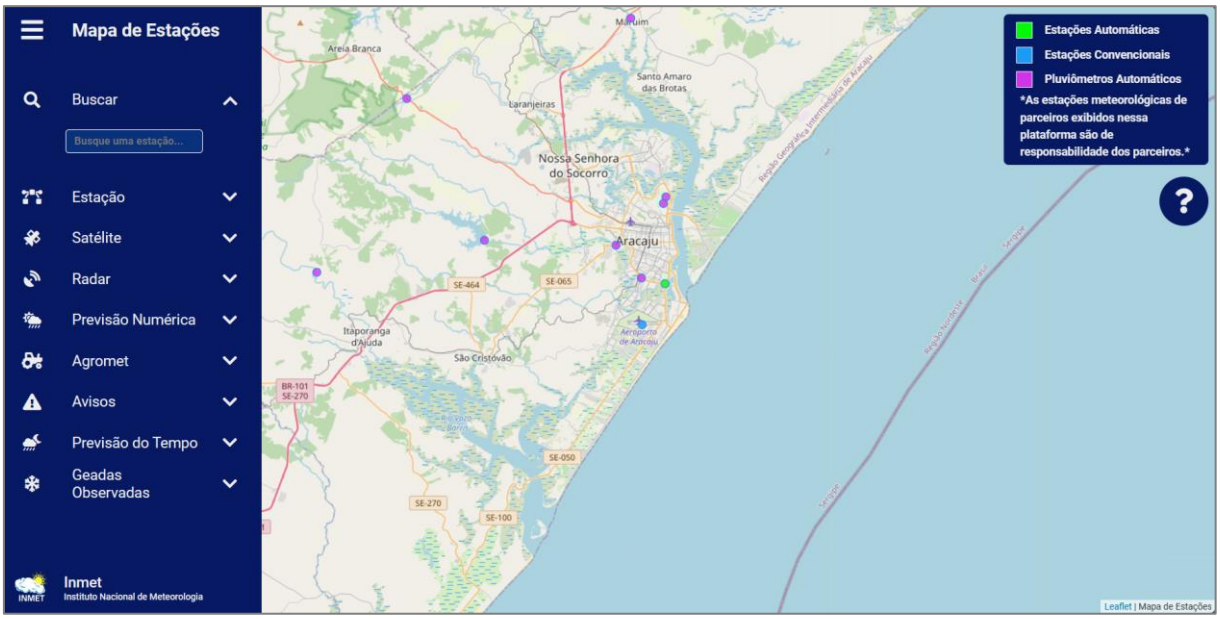
O estudo de ventos, traz a estimativa de intensidade e direção do vento em uma determinada região, através de estações meteorológicas, disponíveis seja por instalações próprias da Indústria ou não.

O Instituto Nacional de Meteorologia, concede informações acerca das estações de monitoramento existentes, através de um Banco de Dados meteorológicos.

Figura 13 - Mapa das Estações Meteorológicas Nacionais

Fonte: Inmet, 2023

Figura 14 - Aproximação da estação meteorológica mais próxima da Votorantim Cimentos - Unidade Laranjeiras



Fonte: Inmet, 2023

A figura abaixo, indica sugestões de regiões para instalação de equipamentos. Para uma melhor indicação dos pontos de Qualidade do ar, faz-se necessário o estudo de dispersão de poluentes atmosféricos, modelo matemático com o objetivo de identificar os pontos de maiores concentrações considerando as fontes de poluição do empreendimento.

Figura 15 - Região de interesse para instalação de Equipamentos da Qualidade do ar

Fonte: Google Earth, 2022

A figura abaixo, indica o direcionamento de ventos, através dos dados da estação [A409] ARACAJU - SE, considerando o primeiro semestre de 2023 como estudo.

6.11.1 Ventos

Para elaboração da rosa dos ventos (Figura 17) foram consideradas 5.064h, referentes aos 6 meses de dados coletados das variáveis: direção e velocidade do vento.

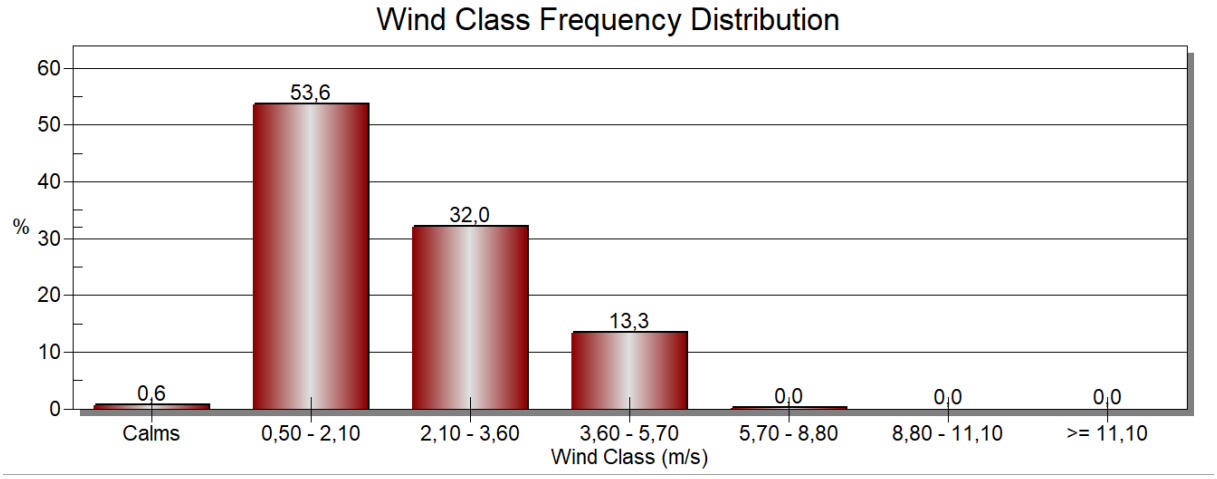
Os dados foram obtidos através da estação meteorológica mais próxima do empreendimento, nos casos em que o local de estudo não possui estação própria.

O software de avaliação solicita como dados de entrada: Ano, Mês, Dia, Hora, Direção dos ventos, Velocidade dos Ventos (m/s) e Precipitação horária (mm). Após a inserção de dados, é possível gerar as imagens demostradas abaixo.

Observa-se na figura 16 que a quantidade de tempo em percentagem que o vento soprou em uma determinada direção é visualizada através do tamanho de cada barra gráfica, e a direção está identificada pela posição da barra. Cada faixa de velocidade está representada por uma cor diferente.

A figura abaixo apresenta a frequência de direção de ventos na região,

Figura 16 - histograma direcional de ventos

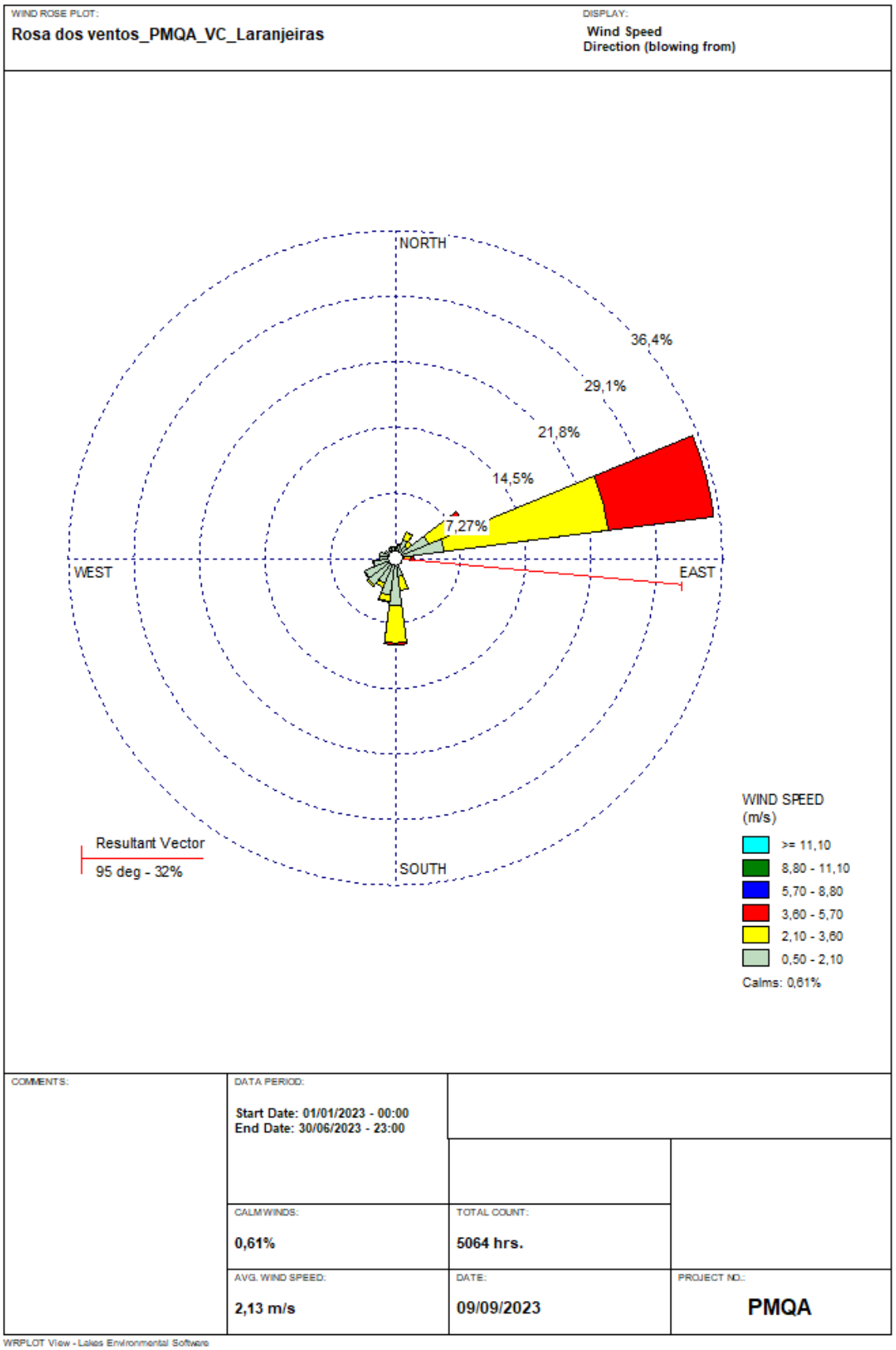


Fonte: *WRPLOT View*, 2022

Nota-se que os ventos sopram 53,6% do tempo avaliado numa faixa de 0,50 a 2,10 m/s, e apenas em 0,6% ventos considerados calmos, este resultado torna-se favorável para a dispersão dos poluentes emitidos pelo empreendimento.

É importante salientar que os dados, não levam em consideração as construções dos empreendimentos próximos que poderiam afetar na direção dos ventos.

Figura 17 - Rosa dos Ventos

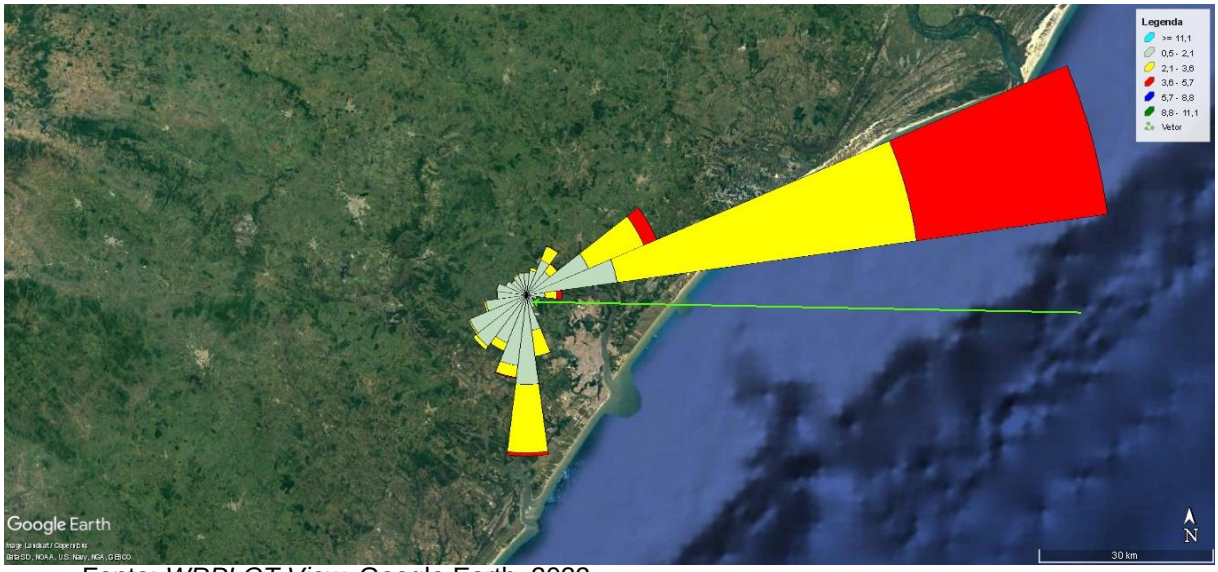


Fonte: *WRPLOT View*, 2022

A Rosa dos ventos apresentada, demonstra o vetor resultante de ventos na região, desconsiderando as construções próximas ao empreendimento.

É possível observar que os ventos direcionam predominantemente no sentido Leste - Oeste, conforme demonstrado no vetor resultante destacado em verde.

Figura 18 - Rosa dos Ventos - Exportada para Google Earth

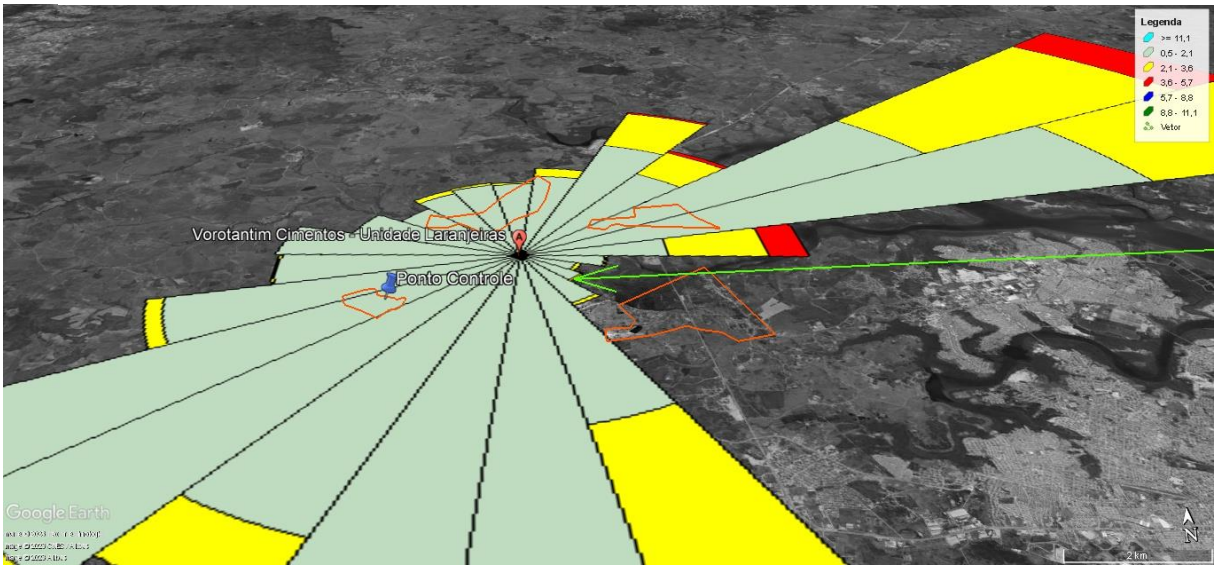


Fonte: *WRPLOT View*, Google Earth, 2022

Para a definição das instalações de pontos para o Monitoramento da Qualidade do Ar, considera-se o vetor resultante direcional de ventos.

A imagem abaixo demonstra a indicação de possível ponto de instalação para a qualidade do ar, considerando população próxima e ventos direcionais, tendo em vista que os poluentes tendem a dispersar após lançamento pela indústria na direção Oeste do empreendimento de estudo.

Figura 19 - Indicação de ponto controle da Qualidade do Ar.



Fonte: *WRPLOT View*, Google Earth, 2022

Figura 20 - Região para instalação de Equipamentos para a Qualidade do Ar

Fonte: *WRPLOT View*, Google Earth, 2022

6.12 Instalação de equipamentos para avaliação da qualidade do ar

Na instalação de equipamentos devem ser considerados as especificações:

- Garantia de metodologia confiável e válida segundo as solicitações ambientais
- Segurança dos equipamentos, a fim de não ocorrer furtos ou interrupções no ensaio.
- Estabelecer um sistema de energia contínua, em função do tempo de amostragem necessário para validação do método.
- Os equipamentos devem ser instalados na área externa à Unidade Industrial, por se tratar de Qualidade do Ar externo, tendo em vista que áreas internas são de caráter de saúde ocupacional.

6.13 Legislação aplicável

Segundo as Resoluções CONAMA 382, de 26 de dezembro de 2006 e 436, de 22 de dezembro de 2011, ANEXO XI - Limites de emissão para poluente atmosféricos provenientes da indústria do cimento Portland.

Os anexos apresentados para fontes fixas de produção de cimento são:

Tabela 11 - Fontes de emissão

	CONAMA 382/2006		CONAMA 436/2011	
Tipo de Processo	**Material Particulado (mg/Nm^3)**	**Óxidos de Nitrogênio - Expresso como NO_2 (mg/Nm^3)**	**Material Particulado (mg/Nm^3)**	**Óxidos de Nitrogênio - Expresso como NO_2 (mg/Nm^3)**
Forno de Clínquer com coprocessamento (*)	50 (1)	650	50 (1)	1000
Forno de Clínquer sem coprocessamento (*)	50 (1)	650	50 (1)	800
Resfriadores	50	N.A	50	N.A
Moinhos de Cimento	50	N.A	50	N.A
Secadores de Escória e de Areia	50 (2)	N.A	50 (2)	N.A
Ensacadeiras	50	N.A	50	N.A

(*) A Resolução CONAMA/MMA nº 499, de 6 de outubro de 2020, estabelece valores específicos para demais parâmetros que devem ser periodicamente monitorados.

Nota: Os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm^3, em base seca e com o teor de oxigênio definido para cada fonte.
(1) teor de oxigênio - 11%
(2) teor de oxigênio - 18%
(3) teor de oxigênio - 10%
N.A = Não se aplica

Uma Indústria de cimento, possui em seus processos a obtenção do produto final através da queima do clínquer, matéria prima principal, ao final do produto, a maior parte do rejeito se dá em forma de material particulado e gases atmosféricos.

O sistema de forno, apresenta a maior parte dos poluentes emitidos, sendo os parâmetros definidos conforme a resolução CONAMA 499/2020.

Tabela 12 - Limites de emissão de poluentes atmosféricos provenientes de fornos rotativos de produção de clínquer utilizados para atividades de coprocessamento de resíduos para a produção de cimento.

Poluentes	Limites Máximo de Emissão
Material Particulado	50 mg/Nm^3 corrigido a 11% O_2
HCl	10 mg/Nm^3 corrigido a 10% O_2
HF	5 mg/Nm^3 corrigido a 7% O_2
THC	39 mg/Nm^3 corrigido a 7% O_2
Mercúrio	0,05 mg/Nm^3 corrigido a 7% O_2
Chumbo	0,35 mg/Nm^3 corrigido a 7% O_2
Cádmio	0,10 mg/Nm^3 corrigido a 7% O_2
Tálio	0,10 mg/Nm^3 corrigido a 7% O_2
(As + Be + Co + Ni + Se + Te)	1,4 mg/Nm^3 corrigido a 7% O_2
(As + Be + Co + Cr + Cu + Mn + Ni + Pb + Sb + Se + Sn + Te + Zi)	7,0 mg/Nm^3 corrigido a 7% O_2
NO_2	800 mg/Nm_3 corrigido a 10% O_2

SO_2	280 mg/Nm^3 corrigido a 11% de O_2, exceto quando o enxofre for proveniente da matéria-prima. Nesses casos, o limite máximo se baseará no valor de SOx calculado da seguinte forma: - Para um teor de até 0,2% de SO_3 na farinha: 400 mg/Nm³, expresso como SO_2; - Para um teor entre 0,2% e 0,4% de SO3 na farinha, conforme a fórmula abaixo: 400 /Nm³+ (%SO_3 -0,2).4000 mg/Nm³, expresso como SO_2; - Para um teor acima de 0,4% de SO_3 na farinha: 1.200 mg/Nm³, expresso como SO_2
Dioxinas e Furanos	0,1 ng/Nm³ corrigido a 10% O_2

Fonte: CONAMA 499/2020, adaptado pelo autor

A dispersão destes poluentes, estão diretamente relacionados a fenômenos meteorológicos e desta forma, os gases poluentes tendem a ser dispersos na atmosfera, diminuindo a concentração a nível de solo, no entanto, em condições meteorológicas desfavoráveis, acarreta em uma deposição precoce de poluentes.

Desta forma, indústrias tendem a realizar sistema de gestão ambiental e da qualidade do ar, a fim de monitorar o nível de poluentes emitidos por suas fontes geradoras.

6.14 Métodos de controle das emissões atmosféricas e da qualidade do ar ambiente no empreendimento avaliado.

De modo geral existem dois métodos básicos pelos quais se pode controlar a emissão de poluentes atmosféricos nos processos industriais. Estas técnicas são divididas em dois grupos: Métodos indiretos, tais como modificação do processo e/ou equipamento e Métodos diretos ou técnicas de tratamento.

As medidas de controle para a redução da emissão de poeiras fugitivas nas áreas de mineração e na área industrial, podem ser realizadas através:

- Abatimento dos particulados por aspersão de água e o enclausuramento das áreas de estocagem e beneficiamento de materiais;
- Instalação de sistemas exaustores e de filtros coletores de pós, além da pavimentação e da varrição das vias de circulação de veículos;

  Instalação de equipamentos de controle de poluição para o controle da emissão de gases de combustão, vapores de sais metálicos ou outras substâncias perigosas originadas no processo de clinquerização.

Tabela 13 - Métodos de abatimento de poluentes

Métodos Indiretos	
Impedir à geração do poluente:	Substituição de matérias primas e reagentes Mudanças de processos ou operação
Diminuir a quantidade de poluentes gerados:	Operar os equipamentos dentro da capacidade nominal Boa operação e manutenção de equipamentos produtivos Adequado armazenamento de materiais pulverulentos Mudança de comportamentos (educação ambiental) Mudança de processos, equipamentos e operações Mudança de combustíveis
Diluição através de chaminés elevadas:	Condições Meteorológicas: direção e velocidade dos ventos temperatura estabilidade atmosférica aspectos topográficos
Localização seletiva Fonte/Receptor (planejamento territorial)	Estudo de Dispersão de Poluentes Atmosféricos
Métodos Diretos	
Equipamentos de controle de material particulado:	Sedimentação, Filtração de Partículas, Lavadores de gases, Precipitadores Eletrostáticos.

Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

Segundo a resolução CONAMA 491/2018, os órgãos ambientais estaduais e distrital deverão elaborar, com base nos níveis de atenção, de alerta e de emergência, um Plano para Episódios Críticos de Poluição do Ar, a ser submetido à autoridade competente do estado ou do Distrito Federal, visando medidas preventivas com o objetivo de evitar graves e iminentes riscos à saúde da população, de acordo com os poluentes e concentrações, constantes no Anexo III da resolução:

Tabela 14 - Anexo III da resolução CONAMA 491/2018

Nível	Poluentes e concentrações					
	SO_2	Material Particulado		CO	O_3	NO_2
		MP10	MP2,5			
	µg/m³ (média de 24h)			ppm (média de 8h)	µg/m³ (média de 8h)	µg/m³ (média de 1h)
Atenção	800	250	125	15	200	1130
Alerta	1600	420	210	30	400	2260
Emergência	2100	500	250	40	600	3000

Fonte: CONAMA, 2018

Nota: Valores limites sob critério de Atenção, Alerta e Emergência.

Partindo da tabela como referência, a tabela abaixo apresenta uma alternativa de acompanhamento de resultados dos monitoramentos para o quadro de gestão ambiental da empresa, avaliando os níveis de Qualidade do Ar a nível populacional.

Tabela 15 - Níveis de Qualidade do Ar à nível populacional.

Identificação do Relatório	Datas dos Monitoramentos	Localização do Ponto de Coleta	Parâmetro Avaliado	Resultados (*) (µg/m³)	Níveis de Atenção/Alerta/Emergência	Assinatura do conferente responsável
-	XX/XX/XXXX	-	PM10	250	Atenção	
-	XX/XX/XXXX	-	PM2,5	240	Emergência	
-	XX/XX/XXXX	-	NO_2	2300	Emergência	
-	XX/XX/XXXX	-	CO (ppm)	18	Alerta	
-	XX/XX/XXXX	-	O_3	150	Atenção	
-	XX/XX/XXXX	-	SO_2	900	Alerta	

(*) Resultados ilustrativos.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O plano de monitoramento da Qualidade do ar, consiste no estudo do empreendimento do processo produtivo, passando pela transformação da matéria até o descarte dos efluentes gasosos.

Torná-lo ativo dentro da gestão de processos, possibilita a melhor tomada de decisões, e avaliação de possíveis melhorias internas. Através dele, é possível conhecer o processo produtivo, as fontes inventariadas com localização geográfica da fonte, dados meteorológicos disponíveis, definição de pontos de coletas, escolha de parâmetros para o monitoramento e controle de dados dos resultados, estes quando disponíveis. E sob níveis de alerta, atenção e emergência, possibilita a gestão de empresas, a tomadas de decisões direcionadas.

Através dos processos estudados, foi possível conhecer os principais poluentes emitidos em uma Indústria de Cimentos.

Sabe-se que a dispersão não efetiva de poluentes e a falta de projetos de mitigação e abatimento de poluentes, reflete diretamente na qualidade de vida populacional, assim como ocasiona um desequilíbrio ambiental, desta forma, a sugestão de ponto de monitoramento fora definida sob uma ótica socioambiental, verificando a influência dos processos de dispersão de poluentes e os impactos que os mesmos acarretam sobre a população vizinha.

O Plano de monitoramento, consiste em um documento instrumento para a melhoria continua dos processos, identificação de fontes geradoras de poluentes e fonte de informações necessárias para a avaliação dos impactos socioambientais.

É imprescindível, a atuação da gestão ambiental com um olhar voltado para os impactos sociais, de modo a manter uma relação harmônica com a população próxima aos empreendimentos industriais.

Diante o exposto, insta salientar a atuação dos órgãos ambientais fiscalizadores, de modo a manter-se atualizados sobre as legislações vigentes e a necessidade de treinamentos periódicos para a garantia de uma fiscalização efetiva.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVARES JUNIOR, Olímpio de Melo; LACAVA, Carlos Ibsen Vianna; FERNANDES, Paulo Sérgio. Emissões Atmosféricas. Brasília: SENAI/DNI, 2002.

ARAUJO, Rui. Monitorização da Qualidade do Ar na Envolvente de Indústrias Cimenteiras - Caso de Estudo da Fábrica SECIL-Outão, 2008. Disponível em https://core.ac.uk/download/pdf/303709178.pdf. Acesso em: 9 out. 2023.

BAIRD, Colin; CANN, Michael. Química Ambiental. Tradução de Marco Tadeu Grassi et al. 4. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BAIRD, Colin; CANN, Michael. Química Ambiental. Tradução: Marco Tadeu Grassi. Márcia Matiko Kondo; Maria Cristina Canela e Felix José Nonnenmacher. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2011

BRITO, Gabriel; SODRÉ, Fernando; ALMEIDA, Fernanda. O IMPACTO DO MATERIAL PARTICULADO NA QUALIDADE DO AR. Revista Virtual de Química, BRASÍLIA, ano 2018, v. 10, ed. 5, 13 nov. 2018. Disponível em: https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/2633. Acesso em: 9 out. 2023.

BRUNO, Felin. Qual o impacto da poluição do ar na saúde?. WRI Brasil, [s. l.], 27 jul. 2018. Disponível em: https://www.wribrasil.org.br/noticias/qual-o-impacto-da-poluicao-do-ar-na-saude?gclid=CjwKCAjw1MajBhAcEiwAagW9MSbDPTF3qtXMSMP9_rmQtbH5nFuAR2jzD4RDGQxsuzwsYcdJqEL3ThoCJVcQAvD_BwE&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=clima. Acesso em: 9 out. 2023.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Ficha de Informação Toxicológica: Dióxido de enxofre. São Paulo, 2021. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2020/07/Dio%CC%81xido-de-enxofre.pdf. Acesso em: 9 out. 2023.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Ficha de Informação Toxicológica: Monóxido de Carbono. São Paulo, 2021. Disponível em:

https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/02/Monoxido-de-Carbono.pdf. Acesso em: 9 out. 2023.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Normas Técnicas Vigentes. São Paulo, 2021. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/normas-tecnicas-cetesb/normas-tecnicas-vigentes. Acesso em: 9 out. 2023.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Qualidade do Ar: Poluentes. São Paulo, 2021. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/. Acesso em: 9 out. 2023.

COELHO, Pedro, ENGENHARIA QUIMICA SANTOS SSP (Brasil). Processo de produção do cimento – Etapas da Fabricação, 11 fevereiro 2023. Disponível em: https://www.engquimicasantossp.com.br/2023/02/processo-de-producao-do-cimento-etapas.html/. Acesso em: 9 out. 2023.

EPA – U.S ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY . Air Emission Measurement Center (EMC). EUA, 2020. Disponível em: https://www.epa.gov/emc/method-29-metals-emissions-stationary-sourcesAcesso em: 9 out. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Industrial Anual – Empresa: Dados gerais das empresas industriais. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9042-pesquisa-industrial anual.html?=&t=destaques. Acesso em: 07. out.2023.

INSTITUTO ALANA (Brasil). Impacto socioambiental. Impacto socioambiental, São Paulo, 20 maio 2021. Disponível em: https://alana.org.br/glossario/impacto-socioambiental/. Acesso em: 9 out. 2023.

LAKES ENVIRONMENTAL SOFTWARE. SOFTWARE SOLUTIONS: WRPLOT VIEW. In: SOFTWARE SOLUTIONS: WRPLOT VIEW, 21 mar. 2018. Disponível em: https://www.weblakes.com/software/freeware/wrplot-view/. Acesso em: 9 out. 2023.

MAURY, Maria Beatriz; BLUMENSCHEIN, Raquel Naves. Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. Sustentabilidade em Debate, Brasília, ano 2012, v. 3, n. 1, p. 75-96, 4 jun. 2012. Disponível em: https://repositorio.unb.br/handle/10482/12110. Acesso em: 22 nov. 2023.

PORTAL DA INDÚSTRIA. Perfil da Industria Brasileira: Industria Total e Industria de Transformação, São Paulo, 2023, Disponível em: https://industriabrasileira.portaldaindustria.com.br/grafico/total/producao/#/industria-total, Acesso em 10 set. 2023.

RESOLUÇÃO CONAMA 382/2007 (Brasil). 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. São Paulo, 02 jan..2007. Disponível em: http://www.ipaam.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/Conama-382-Poluentes-atmosfericos.pdf/. Acesso em: 9 out. 2023.

RESOLUÇÃO CONAMA 436/2011 (Brasil). 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. São Paulo, 26 dez..2011. Disponível em: http://www.ipaam.am.gov.br/legislacao-online/conama-436-11-limites-maximos-de-emissoes-de-poluentes-do-ar/. Acesso em: 9 out. 2023.

RESOLUÇÃO CONAMA 491/2018 (Brasil). Dispõe sobre padrões de qualidade do Ar, São Paulo, 21 nov. 2018. Disponível em: https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=369516. Acesso em: 9 out. 2023.

SIGNORETTI, Valdir Tesche; SILVA, Rogério José. FORMAÇÃO DE NOX EM FORNOS ROTATIVOS DE PRODUÇÃO DE CLÍNQUER DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, ITAJUBÁ, 5 dez. 2006. Disponível em: https://www.abcm.org.br/anais/encit/2006/arquivos/Combustion%20and%20Fuels/CIT06-0402.pdf. Acesso em: 2 nov. 2023.

SILVA, Elton. MONITORAMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE ENXOFRE NO PERÍODO DE 12 MESES NO POVOADO MACHADO NO MUNICÍPIO DE LARANJEIRAS/SE. 2021. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Tecnologias Ambientais.) - INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOA, Marechal Deodoro, 2021. Disponível em: https://www2.ifal.edu.br/ppgtec/tccs/arquivos/arquivos-tccs-2021/tcc-elton-jose.pdf. Acesso em: 9 out. 2023.

SINDICATO NACIONAL DA INDUSTRIA DE CIMENTO. Dados do setor, São Paulo, 2022, Disponível em: http://snic.org.br/numeros-do-setor.php, Acesso em 02 nov. 2023.