



Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Escola Politécnica & Escola de Química  
Programa de Engenharia Ambiental

# ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL DA QUALIDADE DO AR DE UMA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA INSERIDA NA CIDADE DE VOLTA REDONDA

Náthaly Lacerda Tonon e Rocha

Rio de Janeiro

2017



UFRJ

Náthaly Lacerda Tonon e Rocha

ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL DA QUALIDADE DO AR DE UMA  
INDÚSTRIA SIDERÚRGICA INSERIDA NA CIDADE DE VOLTA  
REDONDA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Claudinei de Souza Guimarães, D. Sc.

Rio de Janeiro

2017

## FICHA CATALOGRÁFICA

Rocha, Náthaly Lacerda Tonon e.

Estudo de impacto ambiental da qualidade do ar de uma indústria siderúrgica inserida na cidade de Volta Redonda / Náthaly Lacerda Tonon e Rocha.

134 : 24

Dissertação (mestrado) – Universidade federal do Rio de Janeiro, Escola politécnica e escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2017.

Orientador: Claudinei de Souza Guimarães

1. Estudo de Impacto ambiental. 2. Qualidade do ar. 3. Indústria siderúrgica. 4. Volta Redonda. I. Guimarães, Claudinei. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica e Escola de Química. III. Estudo de impacto ambiental da qualidade do ar de uma indústria siderúrgica inserida na cidade de Volta Redonda.



UFRJ

ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL DA QUALIDADE DO AR DE UMA  
INDÚSTRIA SIDERÚRGICA INSERIDA NA CIDADE DE VOLTA  
REDONDA.

Náthaly Lacerda Tonon e Rocha

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Engenharia Ambiental, Escola  
Politécnica & Escola de Química, da  
Universidade Federal do Rio de Janeiro,  
como parte dos requisitos necessários à  
obtenção do título de Mestre em Engenharia  
Ambiental.

Aprovada pela Banca:

---

Prof. Dr. Claudinei de Souza Guimarães (UFRJ)  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Estevão Freire (UFRJ)

---

Prof. Dr. Eduardo Gonçalves Serra (UFRJ)

---

Prof. Dra. Michelle Gonçalves Mothe (UFRJ)

## Dedicatória

Dedico esta dissertação a minha família por investirem e confiarem em mim para a realização deste trabalho e para conclusão de mais uma etapa da minha vida.

## Agradecimentos

"Quase tudo é possível quando se tem dedicação e habilidade. Grandes trabalhos são realizados não pela força, mas pela perseverança." Diego Lima.

## RESUMO

ROCHA, Náthaly. Título: Estudo de impacto ambiental da qualidade do ar de uma indústria siderúrgica inserida na cidade de Volta Redonda. Rio de Janeiro, 2017. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

Para o desenvolvimento de atividades econômicas, que implicam na utilização de recursos ambientais, a legislação brasileira impõe aos empreendedores a apresentação de estudos sobre os impactos ao meio ambiente e população causados pelos negócios que desejam operar. Essa exigência destina-se a aferir a viabilidade ambiental do empreendimento, servindo para prevenir e diminuir possíveis danos ao meio ambiente. Neste sentido, um dos principais documentos obrigatórios é o Estudo de Impacto Ambiental (EIA), relatório técnico que avalia as consequências ambientais decorrentes de uma determinada atividade ou empreendimento. O presente trabalho tem como objetivo propor um modelo de Estudo de Impacto Ambiental para uma usina siderúrgica, empreendimento de grande potencial poluidor, inserida no centro da cidade Volta Redonda em relação à qualidade e poluição atmosférica para o setor de Metalurgia. Durante o estudo foi possível identificar, a partir da análise do monitoramento da qualidade do ar da cidade, as fontes potencialmente poluidoras, os poluentes que ultrapassaram os limites previstos na legislação e planejar as possíveis medidas mitigatórias que podem ser adotadas pela indústria siderúrgica e pelo município. Quando comparadas as legislações brasileira, europeia e norte americana torna-se evidente a necessidade de uma completa revisão e atualização da legislação brasileira, frente aos limites estabelecidos, assim como em relação aos poluentes monitorados. Observa-se também, que o licenciamento ambiental é de extrema importância, mesmo contendo falhas que permitem situações de contaminação, haja vista a importância da indústria instalada no local, evidenciando que as questões ambientais, também estão relacionadas com as sociais e políticas, dessa forma, o EIA, se torna um atendimento burocrático onde os resultados carecem de credibilidade face interesses dos envolvidos, e não é direcionado somente para o sentido técnico, criterioso e restrito para o meio ambiente e a sociedade.

**Palavras Chaves:** Estudo de Impacto ambiental, Qualidade do ar, Indústria siderúrgica, Volta Redonda.

## ABSTRACT

ROCHA, Náthaly. Title: Environmental impact study of the air quality of a steel industry in the city of Volta Redonda. Rio de Janeiro, 2017. Dissertation (Masters) - Environmental Engineering Program, Polytechnic School and School of Chemistry, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – 2017.

For the development of economic activities, which involve the use of environmental resources, Brazilian law requires entrepreneurs to present studies on the impacts on the environment and population caused by the businesses that wish to operate. This requirement is intended to assess the environmental viability of the enterprise, serving to prevent and reduce possible damages to the environment. In this sense, one of the main mandatory documents is the Environmental Impact Study (EIS), a technical report that evaluates the environmental consequences of a given activity or enterprise. The present work aims to propose a model of Environmental Impact Study for a steel industry, an enterprise with great pollution potential, inserted in the center of the Volta Redonda city in relation to the quality and atmospheric pollution for the Metallurgy sector. During the study, it was possible to identify, from the analysis of the city's air quality monitoring, potentially polluting sources, pollutants that exceeded the limits foreseen in the legislation and to plan the possible mitigating measures that can be adopted by the steel industry and by the municipality. When comparing the Brazilian, European and North American legislations, becomes evident the need for a complete revision and updating of the Brazilian legislation, in front of the established limits, as well as in relation to the pollutants monitored. It is also observed that environmental licensing is extremely important, even if it contains flaws that allow contamination situations, given the importance of the industry installed in the area, showing that environmental issues are also related to social and political issues, in this way, the EIS, becomes a bureaucratic service where the results are lack of credibility with the interests of those involved, and is not only directed to the technical sense, judicious and restricted to the environment and society.

**Keywords:** Environmental Impact Study, Air Quality, Steel Industry, Volta Redonda.



## SUMÁRIO

1	Introdução	16
2	Objetivos	17
2.1	Objetivo geral	17
2.2	Objetivos específicos	17
3	Composição da atmosfera terrestre	18
4	Poluição atmosférica e os seus poluentes	20
4.1	Material Particulado (MP)	21
4.2	Óxidos de Nitrogênio (NO <sub>x</sub> )	24
4.3	Óxidos de Enxofre (SO <sub>x</sub> )	27
4.4	Monóxido de Carbono (CO)	28
4.5	Ozônio (O <sub>3</sub> )	30
5	Meteorologia	31
6	Legislações ambientais relacionadas à qualidade do ar	33
6.1	Resolução CONAMA 03/90	33
6.2	Índice de Qualidade do Ar (IQA)	34
6.3	Padrões de qualidade do ar adotados nos Estados Unidos da América	36
6.4	Padrões de qualidade do ar adotados na União Europeia	37
7	Monitoramento da qualidade do ar	40
7.1	Estações de monitoramento	41
7.1.1	Estações automáticas	42
7.1.2	Estações semiautomáticas	45
8	A indústria no ambiente e na sociedade	47
8.1	A siderurgia (Processos do setor de Metalurgia)	47
8.2	Equipamentos de controle típicos utilizados em uma siderurgia	49
8.3	Resoluções relacionadas à siderurgia	56
8.3.1	Resolução CONAMA 382/2006	56
8.3.2	Resolução CONAMA 436/2011	57
9	Licenciamento Ambiental e Estudo de Impacto Ambiental	60
9.1	Regulamentação	60
10	Metodologia	69
11	Estudo de impacto ambiental para a qualidade do ar do setor de metalurgia de uma indústria siderúrgica inserida na cidade de Volta Redonda	70
11.1	Área de influência	70
11.2	Diagnóstico Ambiental	73
11.2.1	Histórico da área de estudo	73
11.2.2	Meio Físico da área de estudo	74
11.2.3	Meio Biótico da área de estudo	77
11.2.4	Meio socioeconômico da área de estudo	78
11.3	Importância e impactos da siderurgia em Volta Redonda	80

11.4	Detalhamento dos processos, emissões atmosféricas e sistemas de controle das unidades da área de metalurgia (coqueria, sinterização, alto forno e aciaria).....	82
11.4.1	Coqueria.....	82
11.4.2	Sinterização.....	91
11.4.3	Alto Forno.....	99
11.4.4	Aciaria.....	107
11.5	Plano de monitoramento.....	114
12	Avaliação e comparação do monitoramento da qualidade do ar no município de Volta Redonda (com as legislações e sua possível correlação com as emissões siderúrgicas).....	114
12.1	Resultados.....	116
12.2	Avaliação para o monitoramento das Partículas Totais em Suspensão (PTS).....	116
12.2.1	Exposição de curto período.....	116
12.2.2	Exposição de longo período.....	117
12.3	Avaliação para o monitoramento do Material Particulado (MP <sub>10</sub> ).....	118
12.3.1	Exposição de curto período.....	118
12.3.2	Exposição de longo período.....	119
12.4	Avaliação para o monitoramento do Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> ).....	120
12.4.1	Exposição de curto período.....	120
12.4.2	Exposição de longo período.....	121
12.5	Avaliação para o monitoramento do Dióxido de Nitrogênio(NO <sub>2</sub> ).....	122
12.5.1	Exposição de curto período.....	122
12.5.2	Exposição de longo período.....	123
12.6	Avaliação para o monitoramento do Monóxido de Carbono (CO).....	124
12.6.1	Exposição de curto período.....	124
12.7	Avaliação para o monitoramento do Ozônio (O <sub>3</sub> ).....	125
12.7.1	Exposição de curto período.....	125
13	Considerações finais.....	126
	Referencias bibliográficas.....	129

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Estações automáticas de monitoramento da qualidade e meteorologia do ar INEA.....	42
<b>Figura 2:</b> Equipamentos de quantificação de poluentes atmosféricos contidos nas estações automáticas e monitoramento da qualidade e meteorologia do ar do INEA a) Equipamento de quantificação de poluentes presentes no ar, b) equipamento de quantificação de NO <sub>x</sub> , c) sistema de aquisição dos dados de qualidade do ar monitorados.....	43
<b>Figura 3:</b> Sensores meteorológicos ambientais contidos nas estações automáticas de monitoramento do ar do INEA. a) Sensor de direção e velocidade de vento, b) sensor de temperatura e umidade relativa, c) sensor de radiação.....	43
<b>Figura 4:</b> Amostradores AGV das estações semiautomáticas de monitoramento da qualidade e meteorologia do ar do INEA. a) PTS, b) PM <sub>10</sub> ou PM <sub>2,5</sub> .....	46
<b>Figura 5:</b> Diagrama de blocos simplificado das etapas para a realização do Licenciamento Ambiental.....	61
<b>Figura 6:</b> Área de influencia indireta: Região do Médio Paraíba do Sul.....	71
<b>Figura 7:</b> Área de influência direta: Área dentro do raio de 20 km em torno da cidade de Volta Redonda.....	72
<b>Figura 8:</b> Área diretamente afetada: Cidade de Volta Redonda.....	72
<b>Figura 9:</b> Rosa dos ventos da estação VR-Belmonte.....	75
<b>Figura 10:</b> Macrolocalização do município de Volta Redonda no estado do Rio de Janeiro.....	79
<b>Figura 11:</b> Fluxograma geral do processo de Sinterização.....	94
<b>Figura 12:</b> Rosa dos ventos e mapa de localização das estações de monitoramento.....	116
<b>Figura 13:</b> Gráfico de máximas concentrações médias diárias do poluente Partículas Totais em Suspensão (PTS).....	117
<b>Figura 14:</b> Gráfico de concentrações médias anuais do poluente Partículas Totais em Suspensão (PTS).....	117
<b>Figura 15:</b> Gráfico de máximas concentrações médias diárias para o poluente Material Particulado (MP <sub>10</sub> ).....	119
<b>Figura 16:</b> Gráfico das concentrações anuais para o poluente Partículas Inaláveis (MP <sub>10</sub> ).....	119

<b>Figura 17:</b> Gráfico de máximas concentrações médias diárias para o poluente Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> ).....	121
<b>Figura 18:</b> Gráfico de concentrações médias anuais para o poluente Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> ).....	122
<b>Figura 19:</b> Gráfico das máximas concentrações horárias para o poluente Dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> ).....	122
<b>Figura 20:</b> Gráfico das concentrações médias anuais para o poluente dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> ).....	123
<b>Figura 21:</b> Gráfico das máximas concentrações horárias para o poluente Monóxido de Carbono (CO).....	124
<b>Figura 22:</b> Gráfico das máximas concentrações médias de 8 horas para o poluente Monóxido de carbono (CO).....	125
<b>Figura 23:</b> Gráfico de máximas concentrações horárias para o poluente Ozônio (O <sub>3</sub> ).....	126

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 01:</b> Padrões de qualidade do ar – Legislação CONAMA 03/90.....	34
<b>Quadro 02:</b> Estrutura do índice de qualidade do ar.....	35
<b>Quadro 03:</b> Qualidade do ar e efeitos à saúde.....	36
<b>Quadro 04:</b> Padrões nacionais de qualidade do ar em vigor nos EUA.....	37
<b>Quadro 05:</b> Padrões europeus de qualidade do ar.....	39
<b>Quadro 06:</b> Estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar e meteorologia em 2014 – Estações privadas.....	44
<b>Quadro 07:</b> Parâmetros de qualidade do ar monitorados pelas estações de monitoramento e métodos de detecção.....	44
<b>Quadro 08:</b> Parâmetros meteorológicos e instrumentos de medição.....	44
<b>Quadro 09:</b> Abreviaturas e o ângulo dos principais pontos cardeais.....	45
<b>Quadro 10:</b> Estações semiautomáticas de monitoramento de qualidade do ar em 2014 – Estações privadas.....	46
<b>Quadro 11:</b> Parâmetros de qualidade do ar para estações semiautomáticas de monitoramento e métodos de detecção.....	47
<b>Quadro 12:</b> Partículas e poeiras emitidas em usinas siderúrgicas e recursos usados para captá-las.....	55
<b>Quadro 13:</b> Limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos gerados em indústrias siderúrgicas integradas e semi-integradas.....	57
<b>Quadro 14:</b> Limites de emissão para poluentes atmosféricos gerados nas indústrias siderúrgicas integradas e semi-integradas e usinas de pelletização de minério de ferro.....	59
<b>Quadro 15:</b> Limites de emissão estabelecidos para cada parâmetro das fontes da siderurgia conforme prazos (em anos).....	60
<b>Quadro 16:</b> Emissões da coqueria.....	86
<b>Quadro 17:</b> Poluentes e sistemas de controle da coqueria .....	86
<b>Quadro 18:</b> Emissões da sinterização.....	96
<b>Quadro 19:</b> Poluentes e sistema de controle da sinterização.....	96
<b>Quadro 20:</b> Poluentes e sistema de controle do alto forno.....	105
<b>Quadro 21:</b> Poluentes e sistema de controle da aciaria.....	112

**LISTA DE SIGLAS**

AGV - Amostradores de Grande Volume  
BTX - Benzeno, Tolueno e Xileno  
CCA - Clean Air Act (Ato de Ar Limpo)  
CF - Constituição Federal  
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente  
COV - Compostos Orgânicos Voláteis  
CSN - Companhia Siderúrgica Nacional  
DZ - Diretriz  
EIA - Estudo de Impacto Ambiental  
EPA - Agencia de Proteção Ambiental Americana  
FMC - Fumaça  
EUA - Estados Unidos da América  
GAC - Gás de Aciaria  
GAF - Gás de Alto Forno  
GCO - Gás de Coqueria Bruto  
HPA - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos  
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
INEA - Instituto Nacional do Meio Ambiente  
IQA - Índice de Qualidade do Ar  
IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry (União Internacional de Química Pura e Aplicada)  
LD - Linz Donawitz  
MP - Material Particulado  
MP<sub>10</sub> - Material Particulado menor ou igual a 10 micrometros  
MP<sub>2,5</sub> - Material Particulado menor ou igual a 2,5 micrometros  
PIB - Produto Interno Bruto  
PI - Partículas Inaláveis  
ppm - Partes por Milhão  
PSI - Pollutant Standard Index (Índice Padrão de Poluentes)  
PTS - Partículas Totais em Suspensão  
RAIAS - Relatório de Ausência de Impacto Ambiental

RIMA - Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente

RMP – Região Médio Paraíba

SISNAMA - Sistema Nacional de Meio Ambiente

UE - União Europeia

VR – Volta Redonda

## 1 Introdução

Nas últimas décadas o mundo passou por diversas modificações, principalmente referente à questão tecnológica. Devido a esses avanços ocorreram sequentes aumentos da expectativa de vida da população e das demandas da sociedade pela utilização de energias renováveis, que geram menos problemas ao meio ambiente levando a impactos importantes na economia e no setor de negócios.

A produção mundial do aço foi um dos embasamentos da revolução industrial e continua crescendo desde 1870 até hoje (CAVALCANTI, 2012). O crescimento da siderurgia no Brasil vem proporcionando ganhos econômicos, contudo, aumenta os riscos de impactos negativos sobre a sociedade e o ambiente (MILANEZ et al., 2008). A siderúrgica é muito reconhecida pela sua importância no desenvolvimento econômico, fornecendo insumos para infraestrutura, suprindo indústrias de construção, naval, ferroviária e automobilística (NOLLI et al., 2012).

No Brasil, em 2012, foram produzidos cerca de 34,5 milhões de toneladas de aço e o setor foi responsável por 4% do PIB nacional. O País possui o maior parque industrial de aço da América do sul, é o maior produtor da América latina e ocupa o 7º lugar como exportador líquido de aço além de compor-se de 36 empresas siderúrgicas, que, entretanto são causadoras de diversos problemas ambientais (PWC - *Price Water House Coopers* - Auditores Independentes, 2015). Estes problemas ambientais acontecem em várias fases do processo, desde o transporte da matéria prima até a sua transformação em produtos finais, incluindo a destinação que se dá aos resíduos e embalagens que resultam dessas etapas.

Estas indústrias também são grandes consumidoras de recursos naturais, como água, minério de ferro, carvão mineral e vegetal e energia elétrica. A obtenção do minério de ferro e do carvão mineral se dá através da mineração, processos que podem levar à contaminação do solo e de lençóis freáticos e lançamento de poluentes atmosféricos. O carvão vegetal está associado também ao desmatamento ilegal e péssimas condições de trabalho. As usinas siderúrgicas têm como efeitos a poluição de corpos hídricos e emissão de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos como: benzeno, material particulado e outros, que podem causar diversos problemas à saúde humana e ao meio ambiente (SOUZA, 2013).

As restrições quanto às emissões de poluentes atmosféricos vêm se tornando cada vez mais rígidas, o que impõe a utilização de novos sistemas de controle



ambiental. Atualmente são controlados diversos poluentes, como: material particulado, óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), compostos orgânicos totais, dentre outros (CAVALCANTI, 2012). Este controle é feito por órgãos ambientais, como por exemplo, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), podendo ser complementadas pelos órgãos estaduais de controle ambiental, que estabelecem limites para emissão de substâncias levando em consideração a sua periculosidade (OLIVEIRA, 2014).

## 2 Objetivos

### 2.1 Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo geral propor um modelo de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) para uma usina siderúrgica inserida no centro da cidade Volta Redonda em relação à qualidade e poluição atmosférica para o setor de Metalurgia (Coqueria, Sinterização, Alto Forno e Aciaria).

### 2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Realizar o diagnóstico ambiental da área diretamente afetada pela indústria siderúrgica;
- ✓ Analisar os processos utilizados na indústria siderúrgica, na área de metalurgia, sendo eles, Coqueria, Sinterização, Alto Forno, e Aciaria;
- ✓ Analisar os poluentes atmosféricos provenientes destes processos;
- ✓ Avaliar os sistemas de controle impostos para os processos metalúrgicos na siderurgia;
- ✓ Avaliar os equipamentos de controle utilizados para a redução dos poluentes gerados nestes processos;
- ✓ Propor um plano de monitoramento para a área de metalurgia da siderurgia para a poluição atmosférica;
- ✓ Analisar a qualidade do ar da cidade de Volta Redonda para os anos de 2010 a 2014 em comparação com a legislação Brasileira e confrontá-las com a legislação da União Europeia (EU) e dos Estados Unidos da Americana (EUA);

- ✓ Analisar a possível influência das atividades de uma indústria siderúrgica localizada no centro da cidade com as ultrapassagens dos poluentes monitorados (Partículas Totais em Suspensão - PTS, Partículas Inaláveis - MP<sub>10</sub>, Óxidos de Enxofre - SO<sub>x</sub>, Óxidos de Nitrogênio - NO<sub>x</sub>, Monóxido de Carbono - CO e Ozônio - O<sub>3</sub>), gerados pelo monitoramento da qualidade do ar de Volta Redonda.

### 3 Composição da atmosfera terrestre

A atmosfera, essencial à vida na terra, é constituída por um fluido compressível, o ar, preso a Terra pela força da gravidade, em sua base, a atmosfera repousa sobre a terra e a superfície do oceano. Devido a sua extensão, cerca de pouco mais de 800 quilômetros de altitude, a atmosfera é dividida em diversas camadas, mas é na baixa atmosfera ou troposfera que ocorrem os efeitos nocivos dos produtos das atividades humanas. A análise das suas camadas é fundamental para a compreensão da dispersão dos poluentes atmosféricos, assim como das suas reações.

As camadas da atmosfera são divididas horizontalmente diferenciadas com base principalmente na temperatura. Existem três camadas relativamente quentes (perto da superfície, entre 50 e 60 km, e acima de 120 km), separadas por duas camadas relativamente frias (entre 10 e 30 km; e 80-100 km) (BARRY; CHORLEY, 2012). Os principais componentes na real atmosfera terrestre, ou seja, aquela sem poluição, são o nitrogênio diatômico (N<sub>2</sub>, cerca de 78% das moléculas), oxigênio diatômico (O<sub>2</sub>, cerca de 21%), argônio (Ar, cerca de 1%) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>, cerca de 0,04%). Essa mistura de substâncias químicas na atmosfera é bastante reativa nas camadas inferiores da atmosfera mesmo em temperaturas ou intensidade da radiação solar muito além daquelas encontradas naturalmente na superfície terrestre, muitos processos químicos importantes do ponto de vista ambiental ocorrem no ar, puro ou poluído (BAIRD, 2002).

A troposfera, é a camada da atmosfera que se estende desde o nível da superfície terrestre até cerca de 15 quilômetros de altitude e que contém cerca de 85% da massa da atmosfera (BAIRD, 2002). É a camada inferior, a zona onde os fenômenos climáticos e a turbulência atmosférica são mais acentuados e contém praticamente todo o vapor d'água e aerossóis. Existe uma diminuição geral na

temperatura com a altura. A redução ocorre porque o ar é compreensível e sua densidade diminui com a altura permitindo que o ar ascendente se expanda e assim, esfrie. A troposfera é limitada na maioria dos locais por um nível com inversão térmica (camada de ar relativamente quente acima de uma camada mais fria) e, em outras, por uma zona isotérmica com a altura. A troposfera permanece em grande medida contida, pois a inversão térmica limita a convecção. Esse nível de inversão é denominado de tropopausa. A altura da tropopausa não é constante e está correlacionada com a temperatura e a pressão ao nível do mar que estão relacionados com as alterações latitudinais, diárias e sazonais. Nesta zona pode haver trocas importantes entre a troposfera e estratosfera, traços de vapor de água podem penetrar na estratosfera por esse meio, enquanto ar estratosférico rico em ozônio pode descer a troposfera (BARRY; CHORLEY, 2012). O ar sobe progressivamente menos denso com o aumento da altitude passando da troposfera para a estratosfera (VALLERO, 2008).

A estratosfera se estende da troposfera até aproximadamente 50 km e representa cerca de 10% da massa atmosférica. Embora a troposfera contenha grande parte do ozônio atmosférico total, as temperaturas máximas associadas à absorção da radiação ultravioleta do sol pelo ozônio ocorrem na estratopausa. As reações químicas são de vital importância para a continuidade da saúde da camada de ozônio, que se situa na metade inferior da estratosfera. A estratosfera é definida como a região situada entre altitudes nas quais a temperatura tende a apresentar inversões; a camada inferior da estratosfera situa-se onde a temperatura mostra a primeira diminuição com a altura e então começa a aumentar, sendo que a camada superior da estratosfera situa-se na altura na qual a temperatura para de aumentar com a mesma e começa a diminuir. A altura exata na qual termina a troposfera e começa a estratosfera varia com a estação e com a latitude (BARRY; CHORLEY, 2012; BAIRD, 2002).

A mesosfera se situa acima da estratosfera aonde as temperaturas médias chegam a um mínimo de aproximadamente  $-133^{\circ}\text{C}$  a cerca de 90 km. A pressão é muito baixa na mesosfera e acima de 80 km as temperaturas costumam subir novamente e essa inversão é conhecida como mesopausa (BARRY; CHORLEY, 2012). A termosfera se situa acima da mesopausa, onde as densidades atmosféricas são extremamente baixas. A porção inferior da termosfera é composta principalmente por nitrogênio e oxigênio na forma molecular e atômica, ao passo

que, acima de 200 km, o oxigênio atômico predomina sobre o nitrogênio. O termo ionosfera costuma ser aplicado as camadas acima de 80 km particularmente em zonas em torno de 10-20° de latitude dos polos magnéticos da terra (BARRY; CHORLEY, 2012). Nos trechos superiores da ionosfera, as moléculas gasosas são poucas e distantes entre si, em comparação com a troposfera (VALLERO, 2008). A base da exosfera fica entre 500 km e 750 km. Átomos de oxigênio, hidrogênio e hélio formam a atmosfera rarefeita, e as leis dos gases deixam de valer (BARRY; CHORLEY, 2012).

#### **4 Poluição atmosférica e seus poluentes**

Pode-se dizer que existe poluição do ar quando este contém uma ou mais substâncias, definidas na legislação como poluentes, em concentrações suficientes para causar lesões em seres humanos, animais, vegetais ou em materiais. Essas concentrações dependem de múltiplos fatores como: clima, topografia, densidade populacional e outros (BRAGA et al., 2005).

Os poluentes atmosféricos são em sua maioria considerados como as substâncias adicionadas ao ar por atividades humanas e possui efeito adverso sobre o meio ambiente. Existem na forma de gases, partículas pequenas de sólidos, ou pequenas gotículas de líquidos dispersos em um gás (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2010). Estes poluentes podem ser classificados em primários ou secundários. Os primários são os lançados diretamente no ar: dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO) e alguns particulados. Os poluentes secundários formam-se na atmosfera por meio de reações químicas e de determinadas condições físicas como, por exemplo, o ozônio (O<sub>3</sub>) (BRAGA et al., 2005).

Os poluentes que são emitidos em maior quantidade pelas atividades humanas são o monóxido de carbono, os óxidos de enxofre, os materiais particulados, os hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio. Destes poluentes a maior quantidade emitida é a de monóxido de carbono, porém os efeitos adversos desse gás são menores do que os de particulados ou dióxido de enxofre (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2010).

#### 4.1 Material Particulado (MP)

De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), a poluição por partículas, mais conhecida como material particulado (MP) é uma mistura complexa de partículas extremamente pequenas de sólidos e de gotículas de líquido que flutuam no ar. O material particulado é constituído por um certo número de componentes, como ácidos (nitratos e sulfatos), produtos químicos orgânicos, metais e partículas de terra ou de poeira. Algumas partículas são liberadas diretamente de uma fonte específica, enquanto outras são formadas através de reações químicas na atmosfera (EPA, 2016). Geralmente, devido ao tamanho das partículas, são praticamente invisíveis individualmente a olho nu, porém muitas vezes, coletivamente, pequenas partículas formam uma neblina que restringem a visibilidade (BAIRD, 2002).

As fontes de MP são altamente variáveis. As partículas podem ser emitidas através de fontes estacionárias como locais de construção, estradas de terra, campos, chaminés, fabricas, incêndios e também através de fontes móveis como os veículos em movimento. Essas emissões são conhecidas como partículas primárias. O material particulado conhecido como secundário ocorre quando os gases anteriormente emitidos através da queima de combustíveis e outros processos sofrem reações químicas na atmosfera envolvendo  $O_2$  e vapor de água ( $H_2O$ ), compondo a maior parte da poluição por partículas finas no país (EPA, 2016; VALLERO, 2008).

A fotoquímica é um fator importante na formação da partícula secundária, ocorre quando espécies químicas, como o ozônio ( $O_3$ ) reagem com radicais livres, por exemplo, a hidroxila (OH) e os radicais de nitrato ( $NO_3$ ). Também ocorre na presença de gases poluentes do ar, como dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) e gases orgânicos emitidos por fontes antropogênicas e naturais. Podem ser formados a partir da condensação dos gases de baixa pressão de vapor em aerossóis já presente na atmosfera e através da coagulação de aerossóis contribuindo para a formação de partículas (VALLERO, 2008).

Quando a qualidade do ar é monitorada, a medida de concentração para partículas mais comum é o índice MP, que representa a quantidade de matéria particulada presente em um dado volume. As unidades usuais são microgramas de material particulado por metro cúbico de ar ( $\mu g/m^3$ ) (BAIRD, 2002). O MP é

classificado de acordo com a sua propriedade física, ou seja, através da categorização física comum das partículas que são encontrados no ar, como poeira, sujeira, fuligem, fumaça e outros. É uma mistura de partículas realizada a partir de diferentes fontes e de diferentes tamanhos, composições e propriedades. O material particulado deve ser mensurado na sua base seca, eliminando a partir da medição não só gotículas de água e flocos de neve, mas também todos os vapores, tanto aquosos e orgânicos, que evaporam da matéria durante o processo de secagem (VALLERO, 2008).

- O índice  $MP_{10}$  corresponde a toda faixa de partículas finas e os menores membros da faixa de partículas grossas conhecidas como partículas inaláveis. Medem entre 2,5 a 10 micrometros de diâmetro (EPA, 2016).
- O índice  $MP_{2,5}$  inclui somente as partículas finas chamadas de respiráveis, são de 2,5 micrometros de diâmetro ou menores, e só podem ser vistas com um microscópio eletrônico (EPA, 2016).
- O índice Partículas Totais em Suspensão (PTS) é a concentração de todos particulados no ar, em lugar de um índice MP, com diâmetro menor que 100 micrometros (BAIRD, 2002).

De acordo com Baird (2002) as fontes de partículas maiores ou grossas abrangem as naturais e são na sua maioria de origem inorgânica, como as erupções vulcânicas, atividades humanas como o cultivo da terra e a trituração de rochas em pedreiras que resultam em partículas da camada superficial do solo e das rochas sendo recolhidas e transportadas pelo vento. As partículas finas formam-se principalmente por meio de reações químicas e pela coagulação de espécies ainda menores, que incluem as moléculas no estado de vapor. São produzidas também a partir de todos os tipos de combustão, incluindo veículos automóveis, usinas de energia, queima de madeira residencial, incêndios florestais, queimadas agrícolas, e alguns processos industriais (BAIRD, 2002; EPA, 2016).

Outras partículas finas na atmosfera consistem de compostos inorgânicos de enxofre e nitrogênio. As espécies contendo enxofre originam-se do dióxido de enxofre gasoso,  $SO_2$ , que é gerado por fontes naturais e pela oxidação que ocorre em um intervalo de horas ou dias para formar ácido sulfúrico e sulfatos no ar. O conteúdo orgânico médio é geralmente maior para as partículas finas do que para as grossas, são geralmente de caráter ácido devido à presença de ácidos não neutralizados, enquanto as mais grossas são habitualmente básicas em razão de

seu conteúdo assemelhar-se ao solo (BAIRD, 2002). A composição química do material particulado localizado na troposfera inclui íons inorgânicos, compostos metálicos, carbono elementar, compostos orgânicos e substâncias da crosta. Além disso, algumas partículas atmosféricas podem ser higroscópicas, isto é, podem absorver água. A fração orgânica é de difícil caracterização, uma vez que o material particulado contém muitos compostos orgânicos (VALLERO, 2008).

Existem muitos nomes comuns para as partículas atmosféricas. Poeira e fuligem referem-se a sólidos e névoa e neblina referem-se a líquidos, sendo que névoa é considerada com alta concentração de gotas de água. Um aerossol é um conjunto de particulados, sólidos ou líquidos dispersas no ar e é constituído por partículas muito pequenas, com diâmetro menor que 100µm. O termo "aerossol" é muitas vezes usado como sinônimo de MP (BAIRD, 2002).

De acordo com Macintyre (2008) o MP pode ser classificado como:

- Fumos: Partículas sólidas com diâmetros menores a 10 µm, resultantes da condensação de partículas em estado gasoso, geralmente após a volatilização de metais fundidos. Os fumos tendem a flocular no ar.
- Poeiras: Formadas por partículas sólidas maiores que as coloidais, com diâmetros entre 1µm e 100 µm, resultam da desintegração mecânica de substâncias inorgânicas ou orgânicas, pelo manuseio ou em consequência de operações de britagem, moagem, trituração, peneiramento, usinagem mecânica e outros. As poeiras não se difundem, pelo contrário, sedimentam através da gravidade.
- Fumaça: São constituídos por produtos resultantes da combustão incompleta de materiais orgânicos. As partículas possuem diâmetros inferiores a 1µm.
- Névoas: São constituídos por gotículas líquidas com diâmetros entre 0,1 µm e 100 µm, resultantes da condensação de vapores sobre certos núcleos, ou da dispersão mecânica de líquidos em consequência de operações como pulverização, nebulização e etc.
- *Fly ash* (Fuligem): São partículas divididas provenientes de produtos da queima de carvão e óleo combustível e que são carregadas nos gases de combustão em geral de fornalhas e queimadores de caldeiras.

Além dos MP classificados acima, deve-se levar em consideração os gases e vapores que ocorrem em ambientes e processos industriais, como a amônia ( $\text{NH}_3$ ), dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ), monóxido de carbono (CO), metano ( $\text{CH}_4$ ), cloro (Cl) e gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ).

O material particulado é composto por sólidos microscópicos ou gotículas de líquido que podem entrar nos pulmões e causar problemas de saúde graves. O tamanho da partícula está diretamente ligado ao seu potencial para causar problemas de saúde. As partículas menores, com menos de 10 micrômetros de diâmetro, representam os maiores problemas, porque podem entrar mais profundamente nos pulmões e na corrente sanguínea. Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças são mais suscetíveis a serem afetadas pela exposição de material particulado. Os problemas mais comuns são: irritação dos olhos, nariz e garganta, tosse, aperto no peito e falta de ar, redução da função pulmonar, arritmia cardíaca, ataques de asma, ataques cardíacos e morte prematura em pessoas com doença cardíaca ou pulmonar (EPA, 2016).

À medida que as partículas se depositam no trato respiratório, elas passam a ser removidas pelos mecanismos de defesa. O primeiro deles é o espirro, desencadeado por grandes partículas que, devido ao tamanho, não conseguem ir além das narinas, onde acabam se depositando. Outros importantes mecanismos de defesa são a tosse e o aparelho mucociliar. As partículas que atingem as porções mais distais das vias aéreas são fagocitadas pelos macrófagos alveolares, sendo removidas via aparelho mucociliar ou sistema linfático (CANÇADO et al., 2006).

Quanto ao meio ambiente as partículas podem reduzir a visibilidade e as partículas finas ( $\text{MP}_{2,5}$ ) são a principal causa. As partículas podem ser transportadas por longas distâncias pelo vento e se depositarem em solo ou água causando a acidificação nos corpos de água, o esgotamento dos nutrientes no solo afetando a diversidade dos ecossistemas, danificar as florestas, causar danos às culturas do solo, manchar pedras e outros materiais, incluindo objetos culturalmente importantes, como estátuas e monumentos (EPA, 2016).

#### 4.2 Óxidos de Nitrogênio ( $\text{NO}_x$ )

Além do nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), que é extremamente estável e não está envolvido na química da troposfera, os compostos mais importantes contendo nitrogênio na



atmosfera são o óxido nitroso ( $N_2O$ ), óxido nítrico ( $NO$ ), dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ), ácido nítrico ( $HNO_3$ ) e amônia ( $NH_3$ ). O primeiro, o óxido nitroso, é um gás incolor emitido quase totalmente por fontes naturais, principalmente por ação bacteriana no solo e na água, aplicado como um gás anestésico e conhecido como gás hilariante. O segundo, o óxido nítrico, é liberado através de fontes naturais e antropogênicas. Já o terceiro, dióxido de nitrogênio é emitido em pequenas quantidades através do processo de combustão juntamente com  $NO$  e é formado na atmosfera pela oxidação do mesmo (SEINFELD; PANDIS, 1997).

A soma de óxido nítrico ( $NO$ ) e dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ) é geralmente designado como  $NO_x$ . O óxido nítrico é produzido durante a combustão realizada em altas temperaturas resultante da incineração do nitrogênio no combustível com a presença de oxigênio no ar e através da conversão química do nitrogênio atmosférico e oxigênio nas temperaturas elevadas da combustão. Os óxidos de nitrogênio estão entre as moléculas mais importantes na química da atmosfera e dentre eles o  $NO_2$  é o componente de maior interesse e o indicador para o grupo (SEINFELD; PANDIS, 1997). A principal fonte dos óxidos de nitrogênio são os processos de combustão em caldeiras e fornos, tráfego de automóveis e, em menor escala, as usinas termoelétricas, indústrias, fogões a gás, aquecedores que utilizam querosene e o cigarro, porém ao contrário dos outros poluentes, o elemento oxidado não vem do combustível e sim do ar envolvido no processo (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2010).

Os óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) também provêm de fontes naturais, tais como atividade vulcânica, queima de biomassa e atividade bacteriana. As emissões de  $NO_x$  no mundo são de 10 milhões de toneladas por ano provenientes de fontes naturais e 40 milhões de toneladas por ano através de fontes antropogênicas (CÓNSUL et al., 2004). As emissões que levam à formação de  $NO_2$  geralmente levam a formação de outros  $NO_x$  (EPA, 2016).

O dióxido de nitrogênio, na presença de luz solar, reage com hidrocarbonetos e oxigênio formando ozônio, sendo um dos principais precursores deste poluente na troposfera, contribui também para a poluição por partículas finas além de estar ligado a uma série de efeitos adversos no sistema respiratório. O dióxido de nitrogênio, quando inalado, atinge as porções mais periféricas do pulmão devido à sua baixa solubilidade em água. Seu efeito tóxico está relacionado ao fato de ser um agente oxidante (CANÇADO et al., 2006).

O óxido nítrico (NO) é introduzido no ambiente, principalmente pelos gases de escape dos automóveis, em consequência da alta temperatura. O NO puro é praticamente inofensivo, mas pode oxidar-se facilmente formando dióxido de nitrogênio, através de reação com oxigênio, com ozônio e até com radicais peróxidos presentes na atmosfera. O NO pode diminuir as concentrações de ozônio na estratosfera, contribuindo com a destruição da camada de ozônio. O O<sub>3</sub> na estratosfera atua como filtro solar, impedindo ou reduzindo a passagem da radiação ultravioleta do sol, prejudicial à saúde humana, sendo a principal causa do câncer de pele. Na troposfera, a presença de ozônio em concentrações elevadas é prejudicial devido a seu alto poder oxidante, levando à formação de radicais nitrato e estes, por sua vez, reage rapidamente com a luz solar (CÓNSUL et al., 2004).

O dióxido de nitrogênio é um gás muito tóxico. A pessoa atingida sente imediatamente ardência nos olhos, no nariz e nas mucosas em geral. O NO<sub>2</sub> reage com todas as partes do corpo expostas ao ar, pele e mucosas provocando lesões celulares. Os epitélios que mais sofrem são aqueles das vias respiratórias, ocorrendo degenerações celulares e inflamações no sistema respiratório, desde o nariz até a profundidade dos alvéolos pulmonares. Em caso de intoxicação grave, a inalação provoca edema pulmonar, hemorragias alveolares e insuficiência respiratória causando morte. O dióxido de nitrogênio pode reagir também com radicais hidroxilas provenientes principalmente da água e formar ácido nítrico, um dos principais óxidos responsáveis pelo fenômeno da chuva ácida. Os óxidos de nitrogênio também participam na formação do "smog" fotoquímico que é um aerossol branco, irritante aos olhos e mucosas, constituído por produtos resultantes da interação de compostos orgânicos e óxidos de nitrogênio, entre eles aldeídos, nitratos de alquila, ozônio e nitrato de peróxiacila (CÓNSUL et al., 2004).

A exposição de NO<sub>2</sub> de curto prazo, que varia de 30 minutos a 24 horas, pode gerar efeitos respiratórios adversos, incluindo inflamação das vias aéreas em pessoas saudáveis e aumento de sintomas respiratórios em pessoas com asma. As concentrações de NO<sub>2</sub> em locais perto de estradas e nos veículos são aproximadamente 30 a 100% mais elevada do que as concentrações em locais mais distantes de estradas. O NO<sub>x</sub> pode reagir com a amônia, umidade, e outros compostos de modo a formar pequenas partículas. Estas pequenas partículas penetram profundamente em partes sensíveis dos pulmões e podem causar ou

agravar doenças respiratórias, como enfisema pulmonar, bronquite, agravar doenças cardíacas existentes, aumento de internações e morte prematura (EPA, 2016).

#### 4.3 Óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>)

Os óxidos de enxofre são um grupo formado pelo dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e o trióxido de enxofre (SO<sub>3</sub>), sendo o SO<sub>2</sub> o componente de maior preocupação e devido a isso utilizado como indicador (EPA, 2016). O dióxido de enxofre é um gás incolor com um odor sufocante, especialmente em concentrações acima de 3 ppm, corresponde a cerca de 98% em peso dos óxidos de enxofre emitidos e possui diversos efeitos nocivos à saúde humana e aos materiais (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2010).

Os óxidos de enxofre, principalmente o SO<sub>2</sub> e o SO<sub>3</sub>, são reconhecidos há muito tempo como contribuintes importantes da poluição do ar. A queima do carvão responde pela maior parte das emissões de óxidos de enxofre, sólido que dependendo da área geográfica de onde é extraído, contém de 1 a 9% de enxofre, correspondendo a aproximadamente 16 milhões de toneladas por ano (BAIRD, 2002).

A maior fonte de geração de SO<sub>2</sub> é proveniente da queima de combustíveis fósseis como carvão e petróleo, automóveis e por usinas e outras instalações industriais como as termoelétricas. Fontes que geram menores emissões de SO<sub>2</sub> incluem: processos industriais como a extração de metais a partir de minérios; fontes naturais como vulcões; locomotivas, navios e outros veículos e equipamentos pesados que queimam combustível com alto teor de enxofre (EPA, 2016; BRAGA et al., 2001). Assim que é lançado na atmosfera, o dióxido de enxofre pode ser transportado para regiões distantes das fontes primárias de emissão, o que aumenta sua área de atuação (CANÇADO et al., 2006). Também na atmosfera o SO<sub>2</sub> pode ser oxidado, formando ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), essa alteração depende do tempo de permanência no ar, da presença de luz solar, temperatura, umidade e adsorção do gás na superfície das partículas (BRAGA et al., 2001).

As emissões que conduzem a elevadas concentrações de SO<sub>2</sub> geralmente levam a formação de outros SO<sub>x</sub>, portanto, as medidas de controle utilizadas para a redução de SO<sub>2</sub> comumente reduzem a exposição a todos os SO<sub>x</sub>. O SO<sub>2</sub> pode afetar tanto a saúde humana quanto o meio ambiente. As exposições de curto prazo

a  $\text{SO}_2$  pode prejudicar o sistema respiratório humano e tornar a respiração difícil. As crianças, os idosos e aqueles que sofrem de asma são particularmente sensíveis aos efeitos de  $\text{SO}_2$ . Os  $\text{SO}_x$  podem reagir com outros compostos na atmosfera para formar pequenas partículas que contribuem para a poluição devido ao material particulado (MP) (EPA, 2016).

A maior parte do dióxido de enxofre inalado por uma pessoa em repouso é absorvida nas vias aéreas superiores. A atividade física leva à ampliação da ventilação alveolar, com conseqüente aumento da absorção pelas regiões mais profundas do pulmão (CANÇADO et al., 2006). Sua eliminação se faz, basicamente, pela expiração e pela urina. O ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) é o aerossol ácido mais irritante para o trato respiratório, apresentando  $\text{pH} < 1$ . O ácido sulfúrico e seus sais de amônia constituem a maior parte das partículas finas (BRAGA et al., 2001).

Em altas concentrações, o  $\text{SO}_x$  pode prejudicar árvores e plantas, prejudicando folhagem e diminuindo o crescimento. O  $\text{SO}_2$  e outros óxidos de enxofre podem contribuir para a chuva ácida e prejudicar ecossistemas sensíveis e reagir com outros compostos na atmosfera para formar partículas finas que reduzem a visibilidade. A deposição de partículas também pode manchar pedras e causar danos a outros materiais, incluindo objetos culturalmente importantes, como estátuas e monumentos (EPA, 2016).

#### 4.4 Monóxido de Carbono (CO)

O monóxido de Carbono (CO) é um gás inodoro, incolor, perigoso e não irritante formado no processo de combustão de combustíveis fósseis e de materiais carbonários orgânicos, como o carbono, a madeira, o papel, o óleo, o gás e a gasolina ocorrendo em condições não ideais e em que não há oxigênio suficiente para realizar a queima completa do combustível. A maior parte das emissões em áreas urbanas é decorrente de fontes móveis, dos veículos automotores (EPA, 2014). Os automotores são responsáveis pela emissão de cerca de 80% do CO produzido por fontes artificiais (FERNÍCOLA; LIMA, 1979). Outras fontes de CO constituem os aquecedores a óleo, queima de tabaco, churrasqueiras e fogões a gás (CANÇADO et al., 2006).

O CO é membro da família dos asfixiantes químicos e pode deixar uma pessoa inconsciente ou mesmo matar em poucos minutos, também é conhecido como

assassino silencioso (LACERDA; LEROUX; MORATA, 2005). É estimado que aproximadamente dois terços do CO procedam de atividades antropogênicas incluindo a oxidação do CH<sub>4</sub> derivado de atividades antrópicas. O principal sumidouro de CO é a reação com radicais hidroxilas (OH), porém, também costuma ocorrer devido à absorção do solo e difusão para a estratosfera (SEINFELD; PANDIS, 1997).

A exposição ao CO pode reduzir a capacidade de transporte de oxigênio do sangue. A toxicidade é devida às suas reações de combinação reversível com as hemoproteínas tais como a mioglobina, citocromo oxidase, citocromo P450 e hidroxiperoxidasas (FERNÍCOLA; LIMA, 1979). Devido à alta afinidade com a hemoglobina contida nos glóbulos vermelhos do sangue, que transportam oxigênio (O<sub>2</sub>) para os tecidos de todos os órgãos do corpo, o monóxido de carbono substitui o oxigênio reduzindo a alimentação deste ao cérebro, coração e para o resto do corpo durante o processo de respiração. Em baixa concentração causa fadiga e dor no peito, em alta concentração pode levar a asfixia e morte (MMA, 2016). O monóxido de carbono apresenta afinidade pela hemoglobina 240 vezes maior que a do oxigênio, o que faz com que uma pequena quantidade de monóxido de carbono possa saturar uma grande quantidade de moléculas de hemoglobina (CANÇADO et al., 2006).

As pessoas com vários tipos de doenças cardíacas possuem capacidade reduzida de bombear sangue oxigenado para o coração, o que pode lhes causar isquemia do miocárdio (diminuição de oxigênio para o coração), muitas vezes acompanhada de dor no peito. Para essas pessoas a exposição à CO em curto prazo afeta ainda mais a capacidade comprometida do corpo para responder às crescentes exigências de oxigênio do exercício ou esforço (EPA, 2016). A existência de uma intoxicação crônica ao CO resultante de uma exposição prolongada a baixas concentrações pode ocasionar efeitos tóxicos cumulativos como insônia, dores de cabeça, fadiga, diminuição da capacidade física, tonturas, vertigens, náuseas, vômitos, distúrbios visuais, alterações auditivas, doenças respiratórias, anorexia, síndrome de Parkinson, isquemia cardíaca e cardiopatias (LACERDA; LEROUX; MORATA, 2005).

#### 4.5 Ozônio (O<sub>3</sub>)

O ozônio é composto por três átomos de oxigênio e é um gás oxidante reativo produzido naturalmente em quantidades vestigiais na atmosfera da Terra. Está presente em quantidades mais elevadas nas camadas atmosféricas superiores do que ao nível do solo (SEINFELD; PANDIS, 1997).

O ozônio presente na troposfera é formado por uma série de reações catalisadas pela luz do sol (raios ultravioleta) envolvendo, como precursores, óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e hidrocarbonetos, derivados das emissões de veículos, indústrias e usinas termoelétricas. Outras fontes de produção de ozônio são os purificadores de ar e máquinas de fotocópias (CANÇADO et al., 2006). O ozônio estratosférico é essencial para a triagem de radiação solar ultravioleta, e na baixa troposfera o ozônio, em concentrações elevadas, pode gerar problemas respiratórios em seres humanos. Esse duplo papel do ozônio na atmosfera levou a chamar o presente na estratosfera de bom ozônio e o presente na troposfera de mau ozônio (SEINFELD; PANDIS, 1997).

A maior parte do ozônio atmosférico, cerca de 90%, é encontrada na estratosfera onde exerce função de absorver radiação ultravioleta emitida pelo sol e é conhecido como bom ozônio. Ocorre naturalmente na atmosfera superior da Terra, porém alguns produtos químicos sintéticos são conhecidos por destruir este ozônio benéfico, empobrecendo a camada de ozônio. Os Estados Unidos, juntamente com mais de 180 outros países, reconheceu as ameaças representadas pela exaustão deste gás e em 1987 assinou um tratado chamado Protocolo de Montreal para eliminar progressivamente a produção e utilização de substâncias que empobrecem a camada de ozônio (EPA, 2016).

O ozônio no nível do solo ou o mau ozônio não é emitido diretamente para o ar, mas sim criado por reações químicas entre óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e compostos orgânicos voláteis (COV) na presença de luz solar. Emissões provenientes de instalações industriais e empresas de energia elétrica, escape dos veículos a motor, os vapores de gasolina e solventes químicos são algumas das principais fontes de NO<sub>x</sub> e COV (EPA, 2016).

As estimativas da quantidade de ozônio transportados da estratosfera para a troposfera em uma base anual dependem de medições de traços conservadas ou de modelos de circulação geral, mas são bastante incertos. O fluxo deste gás parece

maximizar na primavera, sendo cinco vezes o valor do outono. O ozônio estratosférico está reduzindo cada vez mais enquanto o troposférico está aumentando. As medições globais indicam um aumento geral de acordo com a altitude, indicativo da troca do ozônio estratosférico para a troposfera e também devido ao fato da produção do gás ser mais eficiente na troposfera superior (SEINFELD; PANDIS, 1997).

Respirar ozônio pode provocar uma variedade de problemas de saúde, especialmente para as crianças, idosos e pessoas de todas as idades que têm doenças pulmonares além de possuir efeitos nocivos sobre a vegetação sensível e ecossistemas. Pessoas com asma, bronquite crônica e enfisema geralmente sentem efeitos mais graves para a saúde em níveis de ozônio mais baixas. O ozônio pode: irritar o sistema respiratório, provocando tosse, sensação de irritação ou dor na garganta, aperto no peito ou dor ao respirar fundo; inflamar e danificar as células que revestem os pulmões fazendo-os ficarem mais suscetíveis à infecção; agravar doenças pulmonares e causar danos pulmonares permanentes. Exposições de curto prazo ao ozônio para crianças fazem com que seus pulmões em desenvolvimento possam ter a sua função reduzida na vida adulta, em adultos pode acelerar o declínio natural do pulmão, que ocorre com a idade. A exposição ao gás pode aumentar o risco de morte prematura por doença cardíaca ou pulmonar (EPA, 2016). O  $O_3$  é um potente oxidante, seus altos níveis na troposfera causam danos à colheita e à vegetação natural. Nos EUA, projeções indicam que o poluente provoca perdas de bilhões de dólares para a horticultura e a agricultura (BÓ; NEVES, 2011).

## **5 Meteorologia**

A meteorologia é definida como a ciência que estuda os fenômenos que ocorrem na atmosfera e está relacionada ao estado físico, dinâmico e químico da atmosfera além das interações entre elas e a superfície terrestre subjacente. A Meteorologia básica, como o próprio nome sugere, fornece uma visão mais simples dos fenômenos atmosféricos que ocorrem no dia a dia e baseados em observações dos elementos meteorológicos mais importantes do ar, da velocidade e direção do vento e tipo e quantidade de nuvens, pode-se ter uma boa noção de como o tempo está se comportando num determinado instante e lugar. A meteorologia engloba

tanto tempo como clima e seus elementos devem estar incorporados na climatologia para torná-la significativa e científica (INMET, 2016).

Os fenômenos meteorológicos são estudados a partir de observações, experiências e métodos científicos de análise. A observação meteorológica é uma avaliação ou uma medida de um ou vários parâmetros meteorológicos e podem ser divididas em sensoriais quando são adquiridas por um observador sem ajuda de instrumentos de medição e instrumentais quando são realizadas com instrumentos meteorológicos. Os instrumentos meteorológicos são equipamentos utilizados para adquirir dados meteorológicos (termômetro/temperatura do ar, pressão atmosférica/barômetro, higrômetro/umidade relativa do ar, pluviômetro/precipitação pluvial etc.). A reunião desses instrumentos em um mesmo local é denominada estação meteorológica. Os principais instrumentos utilizados nas estações para as análises relativas à qualidade do ar são os seguintes (INMET, 2016):

- Anemógrafo - Registra continuamente a direção (em graus) e a velocidade instantânea do vento (em m/s), a distância total (em km) percorrida pelo vento com relação ao instrumento e as rajadas (em m/s).
- Anemômetro - Mede a velocidade do vento (em m/s) e, em alguns tipos, também a direção (em graus).
- Higrógrafo - Registra a umidade do ar, em valores relativos, expressos em porcentagem (%).
- Psicrômetro - Mede a umidade relativa do ar em porcentagem (%). Compõe-se de dois termômetros idênticos, um denominado termômetro de bulbo seco, e outro com o bulbo envolvido em gaze ou cadarço de algodão mantido constantemente molhado, denominado termômetro de bulbo úmido.
- Termógrafo - Registra a temperatura do ar, em graus Celsius (°C).
- Termohigrógrafo – Registra ao mesmo tempo a temperatura (°C) e a umidade relativa do ar (%).
- Termômetros de Máxima e Mínima - Indicam as temperaturas máxima e mínima do ar (°C), ocorridas no dia.
- Pluviógrafo - Registra a quantidade de precipitação pluvial (chuva), em milímetros (mm).



- Pluviômetro - Mede a quantidade de precipitação pluvial (chuva), em milímetros (mm).

## **6 Legislações ambientais relacionadas à qualidade do ar**

### **6.1 Resolução CONAMA 03/90**

A primeira regulamentação de controle da poluição do ar no Brasil ocorreu com a criação da portaria nº 231 de 1976 e foram estabelecidos os padrões de qualidade do ar para partículas totais em suspensão, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e outros. Com a lei federal nº 6938, de 1981 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente foi acrescentado aos poluentes principais a fumaça, as partículas inaláveis e o dióxido de nitrogênio e, além disso, foram estabelecidos padrões primários e secundários de qualidade do ar para exposição a cada um desses poluentes (BRASIL, 1990). Essa lei também instaurava a criação de um conselho chamado de Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que foi estabelecido como um órgão legislador, sendo este responsável pelas diretrizes federais básicas emitidas através de resoluções.

O CONAMA estabelece Padrões Nacionais da Qualidade do ar, através da resolução nº 03 de 28/06/1990, que dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previsto no PRONAR, onde é imposto um limite máximo de concentração de um poluente que venha a garantir o bem e a saúde da população. De acordo com o seu artigo primeiro, padrões de qualidade do ar são definidos como as concentrações de poluentes atmosféricos que se ultrapassadas poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população e ocasionar danos aos materiais e ao meio ambiente (BRASIL, 1990).

Para efeitos desta Resolução são estabelecidos os seguintes conceitos:

- Padrões primários de qualidade do ar: concentrações de poluentes que se ultrapassadas poderão afetar a saúde da população.
- Padrões secundários de qualidade do ar: concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o menor efeito adverso sobre o conforto da população, assim como o mínimo agravo aos materiais e ao meio ambiente.

A legislação CONAMA 03 (1990) estabelece diferentes padrões de qualidade do ar para os seguintes poluentes atmosféricos, dispostos no Quadro 01.

**Quadro 01:** Padrões de qualidade do ar – Legislação CONAMA 03/90.

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão Primário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Padrão Secundário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Partículas Totais em Suspensão	24 horas (1)	240	150
	MGA (2)	80	60
Dióxido de Enxofre ( $\text{SO}_2$ )	24 horas (1)	365	100
	MAA	80	40
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	40000 / 35 ppm	40000
	8 horas	10000 / 9 ppm	10000
Ozônio ( $\text{O}_3$ )	1 hora	160	160
Fumaça	MAA	60	40
Partículas Inaláveis ( $\text{MP}_{10}$ )	24 horas (1)	150	150
	MAA (3)	50	50
Dióxido de Nitrogênio ( $\text{NO}_2$ )	1 hora	320	190
	MAA (3)	100	100

Observações:

(1) Não deve ser excedida mais de uma vez ao ano.

(2) MGA - Média geométrica anual.

(3) MAA – Média aritmética anual.

Fonte: (BRASIL, 1990)

## 6.2 Índice de Qualidade do ar (IQA)

O INEA divulga diariamente em seu site, os boletins de qualidade do ar, baseados na metodologia concebida pelo *Pollutant Standard Index (PSI)*, que foi desenvolvida pela Agência de Proteção Ambiental Americana, buscando padronizar o processo de divulgação da qualidade do ar. Os parâmetros utilizados para compor o Índice de Qualidade do Ar (IQA) são: material particulado em suspensão ( $\text{MP}_{10}$  e  $\text{MP}_{2,5}$ ), dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio, dióxido de nitrogênio e fumaça (FMC). A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) desenvolveu um sistema de qualificação que associa o índice aos efeitos sobre a saúde, independentemente do poluente em questão (INEA, 2016).

O índice foi desenvolvido em duas bases temporais distintas, de acordo com o tempo de exposição a que fica sujeita a população: curtos e longos períodos. Os indicadores de curto período de exposição são relativos à exposição aguda, por um período de uma ou de 24 horas. Já os indicadores de longo período de exposição, referem-se à exposição persistida, para poluentes que possuam padrão anual de qualidade do ar conforme a Resolução CONAMA nº 03/90. Estes indicadores, além

de identificarem quais são as áreas prioritárias e as ações de controle da poluição do ar, também refletem os níveis de poluição a que a população se encontra permanentemente submetida. O boletim de qualidade do ar é divulgado pelo INEA diariamente às 16 horas, onde é oferecido um resumo das condições da poluição atmosférica das 24 horas anteriores e uma previsão meteorológica das condições de dispersão dos poluentes para as 24 horas seguintes (INEA, 2016).

O índice de qualidade do ar é uma ferramenta matemática desenvolvida para simplificar o processo de divulgação da qualidade do ar. Para cada poluente medido é calculado um índice, que é um valor adimensional. Dependendo do índice obtido, o ar recebe uma qualificação, que é uma nota para a qualidade do ar, além de uma cor, conforme apresentado no Quadro 02 abaixo (CETESB, 2016):

**Quadro 02:** Estrutura do índice de qualidade do ar.

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

Fonte: CETESB, 2016.

Quando a qualidade do ar é classificada como Boa, os valores-guia para exposição de curto prazo estabelecida pela Organização Mundial de Saúde, que são os respectivos Padrões Finais (PF) estabelecidos no DE nº 59113/2013, estão sendo atendidos. Para efeito de divulgação, utiliza-se o índice mais elevado, isto é, embora a qualidade do ar de uma estação seja avaliada para todos os poluentes monitorados, a sua classificação é determinada pelo maior índice. Esta qualificação do ar está associada a efeitos à saúde, portanto independe do padrão de qualidade intermediária em vigor, e será sempre realizada conforme o Quadro 03 a seguir (CETESB, 2016):

**Quadro 03:** Qualidade do ar e efeitos à saúde.

Qualidade do ar e efeitos à saúde		
Qualidade	Índice	Significado
N1 – Boa	0 – 40	
N2 – Moderada	41 – 80	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
N3 – Ruim	81 – 120	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
N4 – Muito Ruim	121 – 200	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
N5 – Péssima	>200	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: CETESB, 2016.

### 6.3 Padrões da qualidade do ar adotados nos Estados Unidos da America (EUA)

A Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA) foi criada em 1970 e tem como uma das suas atribuições específicas, definir padrões de qualidade do ar no nível nacional e da gestão da qualidade do ar, além de acompanhar as políticas estaduais, elaborar estudos, coletar e sistematizar dados, definir diretrizes e regras de atendimento mínimo, etc. Tais atribuições ganharam reforço com a aprovação do Congresso dos EUA, da Política Nacional de Ar Limpo, o “*Clean Air Act*” (CAA). Em 1971 foram aprovados os padrões nacionais de qualidade do ar. Atualmente, são estabelecidos padrões de qualidade do ar para CO, chumbo, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, MP<sub>10</sub>, MP<sub>2,5</sub> e SO<sub>2</sub>, cujos valores são apresentados no Quadro 04 a seguir (EPA, 2016; SANTANA et al., 2012).

**Quadro 04:** Padrões nacionais de qualidade do ar em vigor nos EUA

Poluente	Primário e/ou Secundário	Tempo de amostragem	Concentração	Observação
CO (2011)	Primário	8h	9 ppm / 10300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano
		1h	35 ppm / 40057 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Chumbo (2008)	Primário e Secundário	Média móvel trimestral	0,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Não deve ser ultrapassado
NO <sub>2</sub> (2010)	Primário	1h	100 ppb / 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Percentil 98 sobre médias de 3 anos
	Primário e Secundário	Anual	53 ppb / 95,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Média Anual
O <sub>3</sub> (Ozônio - 2008)	Primário e Secundário	8h	0,075 ppm / 156 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Quarta maior máxima média diária de 8 horas anual sobre médias de 3 anos
MP <sub>2,5</sub> (2006)	Primário e Secundário	Anual	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Média Anual sobre médias de 3 anos
		24h	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Percentil 98 sobre médias de 3 anos
MP <sub>10</sub> (2006)	Primário e Secundário	24h	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Não deve ser excedido mais que uma vez por ano sobre médias de 3 anos
SO <sub>2</sub> (2010)	Primário	1h	75 ppb / 209 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Percentil 99 das máximas de 1h diária(s), média de 3 anos
	Secundário	3h	0,5 ppm / 1307 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Não deve ser excedido mais de uma vez por ano

(\*) Os padrões primários devem permitir uma margem adequada de segurança para proteção da saúde pública. Os padrões secundários devem ser adequados à proteção do bem-estar público, compreendendo, entre estes, os efeitos sobre a vegetação, colheitas, solos, águas, fauna, materiais sintéticos e a visibilidade.

#### 6.4 Padrões de qualidade do ar adotados na União Europeia (UE)

Na União Europeia, os padrões são divididos em “valores-limite” e “valores-alvo”. Definidos como a concentração limite para um poluente que visa a evitar, prevenir ou reduzir efeitos prejudiciais sobre a saúde humana e/ou o ambiente como um todo. A diferença básica entre eles se encontra no nível de exigência:

- Valores-limite: são de atendimento obrigatório a partir da data em que entram em vigor;
- Valores-alvo: devem ser atendidos na medida do possível até a data estipulada para atendimento. Têm o caráter de metas, inexistindo penalidades caso não sejam atingidos no prazo de atendimento.

Para alguns poluentes, existem margens de tolerância, percentagens do valor-limite em que este valor pode ser excedido em condições excepcionais,

especificadas nas Diretivas a respeito da proteção da qualidade do ar. São estabelecidos valores limites para material particulado ( $MP_{10}$  e  $MP_{2,5}$ ),  $SO_2$ ,  $NO_2$ , CO, chumbo e benzeno, conforme apresentado no Quadro 05. Valores-alvos foram definidos também para o  $MP_{2,5}$ , para o ozônio, arsênio (As), cádmio (Cd), níquel (Ni) e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs). Na tabela a seguir são apresentados os valores para os parâmetros  $MP_{2,5}$ ,  $MP_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ , Co e  $O_3$ , sendo estes os poluentes estudados por esta dissertação (EPA, 2016; SANTANA et al., 2012).

**Quadro 05:** Padrões europeus de qualidade do ar.

Poluente	Valor-Limite		Valor-Alvo		Período de Amostragem	Ultrapassa gens Anuais Permitidas	Margem de Tolerância
	Concentração	Data de atendimento	Concentração	Data de atendimento			
MP <sub>2,5</sub>	25 µg/m <sup>3</sup>	01/01/2015	25 µg/m <sup>3</sup>	01/01/2010	1 ano	-	20% até 11/06/2008, a reduzir gradativamente até 0% em 1/1/2015.
	20 µg/m <sup>3</sup> (a)	01/01/2020	-	-	-	-	-
MP <sub>10</sub>	50 µg/m <sup>3</sup>	01/01/2005	-	-	24 horas	35	50%
	40 µg/m <sup>3</sup>	01/01/2005	-	-	1 ano	-	20%
SO <sub>2</sub>	350 µg/m <sup>3</sup>	01/01/2005	-	-	1 hora	24	150 µg/m <sup>3</sup>
	125 µg/m <sup>3</sup>	01/01/2005	-	-	24 horas	3	-
NO <sub>2</sub>	200 µg/m <sup>3</sup>	01/01/2010	-	-	1 hora	18	50% em 19/07/1999, a reduzir gradativamente até atingir 0% em 1/1/2010.
	40 µg/m <sup>3</sup>	01/01/2010	-	-	1 ano	-	50% em 19/07/1999, a reduzir gradativamente até atingir 0% em 1/1/2010.
CO	10 µg/m <sup>3</sup>	01/01/2005	120 µg/m <sup>3</sup>	-	Média máxima diária por períodos de 8 horas	-	60%
O <sub>3</sub>	-	-	120 µg/m <sup>3</sup>	01/01/2010	Média máxima diária por períodos de 8 horas	25 dias em média por anos, num período de 3 anos	-
	-	-	18.000 µg/m <sup>3</sup> .h (b)	01/01/2010	Maior a julho, num período de 5 anos	-	-

Observações:

(a) O valor-limite do MP<sub>2,5</sub> de 20 µg/m<sup>3</sup> é indicativo e deve ser revisto à luz de novas informações sobre os efeitos sobre a saúde humana e o meio ambiente, a viabilidade técnica e a experiência obtida com o valor-alvo nos Estados-Membros.

(b) Se não for possível determinar as médias por períodos de três ou cinco anos com base num conjunto completo de dados relativos a anos consecutivos, os dados anuais mínimos necessários à verificação da observância dos valores-alvo serão os seguintes: a. valor-alvo para a proteção da saúde humana: dados válidos respeitantes a um ano, b. valor-alvo para a proteção da vegetação: dados válidos respeitantes a três anos.

## **7 Monitoramento da qualidade do ar**

Monitorar o ar é observar continuamente as concentrações na atmosfera de quaisquer poluentes que afetam a qualidade do ar (INEMA, 2016). Conforme a IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry (União Internacional de Química Pura e Aplicada) uma rede de monitoramento atmosférico é composta por duas ou mais estações de monitoramento de ar estabelecidas em uma região onde medidas periódicas de concentrações de poluentes e parâmetros meteorológicos são realizadas para determinar a extensão e a natureza da poluição química e estabelecer tendências das concentrações destes poluentes no tempo (FRONDIZI, 2008).

Este monitoramento pode ser dividido em dois: monitoração das emissões e monitoramento da qualidade do ar. O primeiro se refere à medição da concentração dos poluentes que estão sendo emitidos em dutos e chaminés visando quantificar o que e a quantidade que está sendo lançado na atmosfera. Por sua vez, o monitoramento da qualidade do ar mede e quantifica as concentrações dos poluentes no ar do ambiente onde as pessoas, animais e plantas estão expostos podendo afetar a saúde dos mesmos e provocar danos aos materiais (FRONDIZI, 2008).

O objetivo da rede de monitoramento da qualidade do ar é avaliar de forma contínua as propriedades que tornam o ar um ambiente próspero ao ser humano e ao meio ambiente, permitindo observações das emissões referentes às fontes fixas e móveis (INEMA, 2016).



## 7.1 Estações de monitoramento

A atual rede de monitoramento da qualidade do ar do INEA é formada pela rede automática e semiautomática de monitoramento. A automática é composta por estações que realizam medições contínuas (horárias) das concentrações dos poluentes dispersos no ar e dos parâmetros meteorológicos. Os poluentes que são monitorados são os gases dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), ozônio ( $\text{O}_3$ ), hidrocarboneto total menos o metano (HCNM), COVT (compostos orgânicos voláteis totais), material particulado em suspensão na atmosfera realizado nas frações Partículas Totais em Suspensão (PTS) e partículas inaláveis (PI). Os parâmetros meteorológicos monitorados são direção e velocidade do vento, temperatura, umidade, radiação solar, pressão atmosférica e precipitação. Os dados obtidos são transmitidos em tempo real para a central de telemetria do INEA e compõem o banco de dados do Instituto. A rede semiautomática é composta por estações que monitoram a concentração do material particulado em suspensão na atmosfera nas frações partículas totais em suspensão (PTS) e Material Particulado ( $\text{MP}_{10}$ ) e Material Particulado ( $\text{MP}_{2.5}$ ), por 24 horas ininterruptas, em períodos de 6 em 6 dias. As estações desta rede são visitadas semanalmente por técnicos do INEA que fazem a aferição, programação e troca dos filtros amostrados. Os filtros são pesados, a concentração de MP calculada e os resultados inseridos no banco de dados da rede semiautomática (INEA, 2014).

Alem das próprias estações de monitoramento da qualidade do ar, o INEA também utiliza dados de estações privadas que pertencem aos principais empreendimentos industriais e de infraestrutura que possuem potencial poluidor significativo, definidas e implantadas por exigência do Licenciamento Ambiental. Essas estações são operadas e mantidas pelos empreendimentos e transmitem os dados em tempo real ao INEA. Nos últimos anos o INEA distribuiu de forma prioritária e estratégica, suas estações automáticas de monitoramento em áreas já identificadas como críticas com relação às emissões veiculares, possibilitando o acompanhamento e ações de controle. Por outro lado, as estações da rede privada estão fundamentalmente localizadas nas áreas de influencia direta e indireta dos empreendimentos de grande potencial poluidor. A localização das estações que compõem a rede de monitoramento é realizada de acordo com as políticas de gestão do órgão ambiental (INEA). Uma vez determinada a área de instalação de

uma estação, realiza-se a seleção do local adequado para medição e os parâmetros que serão monitorados (INEA, 2014).

### 7.1.1 Estações automáticas

As estações da rede automática se caracterizam pela capacidade de processar na forma de médias horárias, no próprio local e em tempo real, a concentração dos parâmetros de qualidade do ar e meteorologia. Estas médias são transmitidas para a central e armazenadas em banco de dados, onde passam por processo de validação técnica e são disponibilizadas através de boletins diários no endereço eletrônico do INEA. As Figuras 1, 2 e 3 demonstram o funcionamento das estações automáticas de monitoramento, os analisadores para a quantificação dos poluentes e sensores meteorológicos utilizados na rede INEA (INEA, 2014).



**Figura 1:** Estações automáticas de monitoramento da qualidade e meteorologia do ar INEA.

Fonte: INEA, 2014.



**Figura 2:** Equipamentos de quantificação de poluentes atmosféricos contidos nas estações automáticas de monitoramento da qualidade e meteorologia do ar do INEA. a) Equipamento de quantificação de poluentes presentes no ar, b) equipamento de quantificação de  $\text{NO}_x$ , c) sistema de aquisição dos dados de qualidade do ar monitorados.

Fonte: INEA, 2014.



**Figura 3:** Sensores meteorológicos ambientais contidos nas estações automáticas de monitoramento do ar do INEA. a) Sensor de direção e velocidade de vento, b) sensor de temperatura e umidade relativa, c) sensor de radiação.

Fonte: INEA, 2014.

A seguir são apresentadas nos Quadros 06, 07 e 08 as estações automáticas da cidade de Volta Redonda, os parâmetros que as mesmas monitoram, o método e a legislação utilizados assim como os instrumentos de monitoramento (INEA, 2014).

**Quadro 06:** Estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar e meteorologia em 2014 – Estações privadas.

Estações ambientais	Região	Parâmetros														
		SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	CO	HC	BTX	MP <sub>10</sub>	PTS	TEMP	D vel.	V vel.	Umid	Rad.	P(atm)	Prec.
VR- Belmonte	RMP	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
VR – Retiro	RMP	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
VR - Santa Cecília	RMP	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
VR - Ilha das águas Cruas	RMP									x	x	x	x	x	x	x

Fonte: INEA, 2014.

**Quadro 07:** Parâmetros de qualidade do ar monitorados pelas estações de monitoramento e métodos de detecção.

Rede	Parâmetros	Método	Legislação
Rede Automática	Partículas Totais em Suspensão - PTS	Absorção de raios beta	EQPM - 0404 - 152
	Partículas Inaláveis - MP <sub>10</sub>	Absorção de raios beta	EQPM - 0404 - 152
	Dióxido de enxofre	Fluorescência de pulso (ultravioleta)	EQSA - 0292 - 084
	Óxidos de nitrogênio	Quimiluminescência	EPA IN CFR 40, PART 43
	Monóxido de carbono	Infravermelho não dispersivo	MF - 607.r - 3
	Ozônio	Fotometria de ultravioleta	EQQA - 0206 - 148
	Hidrocarbonetos	Ionização de chama	EPA IN CFR 40, PART 43

Fonte: INEA, 2014.

**Quadro 08:** Parâmetros meteorológicos e instrumentos de medição.

Rede	Parâmetro	Instrumento
Rede automática	Precipitação	Pluviômetro de balança
	Pressão atmosférica	Barômetro digital
	Radiação solar	Piranômetro (termopilha)
	Temperatura e umidade	Termohigrômetro (termistor)
	Velocidade e direção do vento	Anemômetros de conchas e hélice são admitidos

Fonte: INEA, 2014.

Nos anemômetros, os dados de direção do vento estão expressos em graus, sendo os mesmos dispostos em um círculo, cujo sentido de movimento é horário – Rosa dos Ventos. Em meteorologia, a direção do vento observada sempre indica de onde o mesmo vem. O Quadro 09 indica as abreviaturas e o ângulo dos principais pontos cardeais utilizados para analisar as direções e quadrantes preferenciais do vento (INEA, 2014).

**Quadro 09:** Abreviaturas e o ângulo dos principais pontos cardeais.

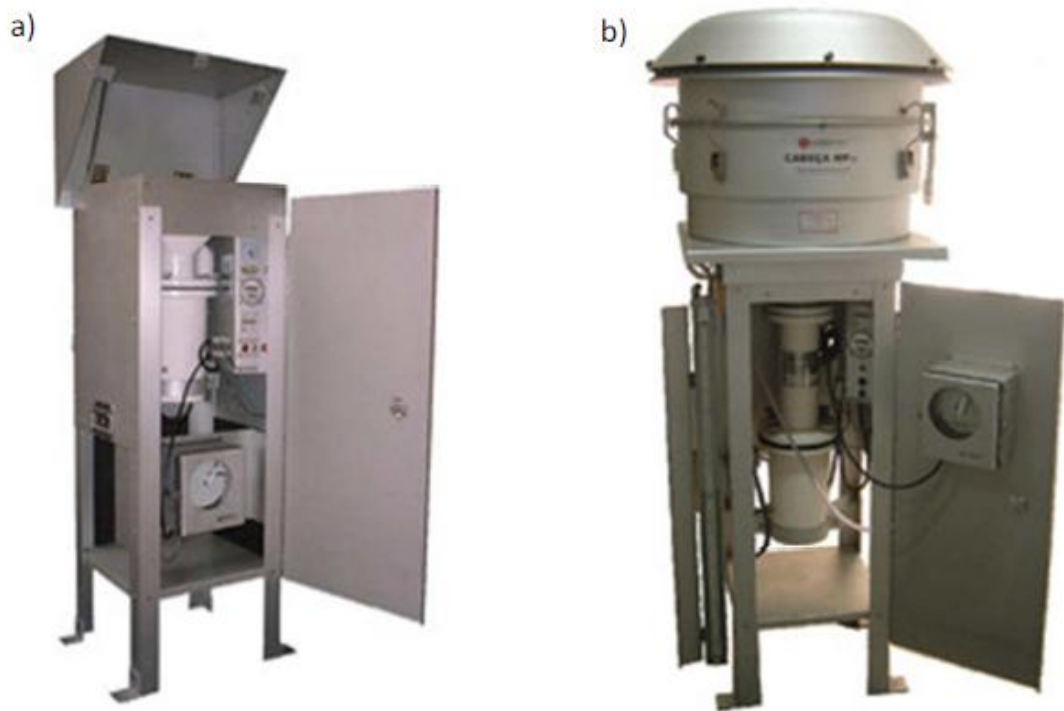
DIREÇÃO DO VENTO	ABREVIATURA	ÂNGULO (°)
Norte	N	0* ou 360
Nordeste	NE	45
Leste	E	90
Sudeste	SE	135
Sul	S	180
Sudoeste	SW	225
Oeste	W	270
Nordeste	NW	315

\* Comumente o ângulo 0° é usado para indicar calmarias.

Fonte: INEA, 2014.

### 7.1.2 Estações semiautomáticas

Nessas estações, a amostragem é realizada durante 24 horas a cada 6 dias. As amostras de material particulado coletadas e amostradores de grande volume (AGV) são analisadas nos laboratórios do INEA, podendo ser caracterizadas quanto à sua composição química. As frações de material particulado coletados na rede semiautomática são Partículas Totais em Suspensão (PTS), Partículas menores que 10 µm (MP<sub>10</sub>), Partículas menores que 2,5 µm (MP<sub>2,5</sub>). Uma foto ilustrativa dos AGVs é apresentada na Figura 4. Os dados da rede são publicados a cada seis dias através de boletins de qualidade do ar, disponíveis no endereço eletrônico do INEA (INEA, 2014).



**Figura 4:** Amostradores AGV das estações semiautomáticas de monitoramento da qualidade e meteorologia do ar do INEA. a) PTS, b) MP<sub>10</sub> ou MP<sub>2,5</sub>.

Fonte: INEA, 2014.

A seguir é apresentado no Quadro 10 as estações semiautomáticas da cidade de Volta Redonda e os parâmetros que as mesmas monitoram.

**Quadro 10:** Estações semiautomáticas de monitoramento de qualidade do ar em 2014 – Estações privadas.

Estações Semiautomáticas	Região	Parâmetros	
		MP <sub>10</sub>	PTS
VR – Aeroclube	RMP	x	x
VR – Conforto	RMP	x	x
VR – Limoeiro	RMP	x	x
VR – Centro	RMP	x	x
VR – Siderville	RMP	x	x
Total de estações semiautomáticas		5	

\* MP<sub>10</sub> – Material Particulado (menores que 10µm)

PTS – Partículas Totais em Suspensão

VR – Volta Redonda

RMP – Região Médio Paraíba

Fonte: INEA, 2014.

Os parâmetros de qualidade do ar analisados na rede semiautomática e seus respectivos métodos de análise estão descritos no Quadro 11.

**Quadro 11:** Parâmetros de qualidade do ar para estações semiautomáticas de monitoramento e métodos de detecção.

Rede	Parâmetro	Método
Rede semiautomática	Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Amostrador de grandes volumes (MF606; NBR 9547)
	Material Particulado (MP <sub>10</sub> )	Amostrador de grandes volumes (NBR 13412)
	Material Particulado (MP <sub>2,5</sub> )	Amostrador de grandes volumes

Fonte: INEA, 2014.

## 8 A indústria no ambiente e na sociedade

### 8.1 A Siderurgia (Processos do setor de Metalurgia)

Atualmente as usinas siderúrgicas são divididas em dois grupos: usinas integradas e semi-integradas. As integradas são aquelas em que o aço é obtido a partir do minério de ferro em forma de sinter ou pelotas e de um agente redutor-coque ou carvão vegetal. O minério é transformado em ferro na própria usina no alto-forno para a obtenção do ferro gusa líquido e é submetido ao processo de refino para a produção do aço em aciaria. Nas semi-integradas, é utilizado para obtenção do aço o processo de refino, em fornos elétricos a arco, através da sucata ou ferro gusa, não havendo necessidade da etapa de redução do minério de ferro. Ainda existem outras unidades produtoras chamadas de não integradas, que operam apenas uma fase do processo, o processamento ou a redução (MOURÃO et al., 2007).

A indústria siderúrgica tem como objetivo final a produção de aço em suas múltiplas variedades, o processo siderúrgico é constituído pelas seguintes etapas: Extração do ferro de seu minério nos altos fornos; a conversão do ferro gusa em produto intermediário a aço; o lingotamento do aço líquido a fim de solidificar em forma conveniente para as operações seguintes; e a conformação do metal na forma de produto (MOURÃO et al., 2007).

A primeira etapa na produção de aço é a fabricação de ferro-gusa realizada no alto forno. Para esta etapa é necessário o minério de ferro, a pedra calcária e o coque, que é utilizado como combustível. O coque é produzido na coqueria da

própria siderúrgica, destilando ou carbonizando o carvão mineral. O gás quente que sai pela parte superior do alto forno é transportado em dutos a resfriadores e coletores, onde é submetido a um processamento para obter o alcatrão de hulha, o benzol a amônia, a naftalina e outros produtos (MACINTYRE, 2008).

O processo mais empregado para a fabricação do aço em quase todas as aciarias é Processo Siemens-Martin, que permite o emprego de sucata de ferro e aço, agregada aos lingotes de ferro, lingote ou gusa. O forno Siemens-Martin, também chamado de “open hearth” possui capacidade superior a 200 toneladas, são montados alinhados uns aos outros com portas para carga do material e no lado contrário a essas portas encontram-se aberturas para a chamada “corrida do aço”, tapadas com material refratário e que se abrem quando o aço esta pronto para ser “corrido”. O calor utilizado para aquecer o forno pode ser gerado tanto por gás natural ou através de uma mistura de gases da coqueria e dos altos fornos. O processo necessita de 12 horas para a fabricação do aço e ao final é liberada a escória. Para cada tonelada de ferro gusa o alto forno produz seis toneladas de gás e meia tonelada de escória. O gás que sai por cima é tratado para retirada do pó e aproveita-se parte deste gás para queima nas estufas e o restante é aplicado no aquecimento do ar que entra no alto forno e para também aquecer outros tipos de fornos (MACINTYRE, 2008).

Esta dissertação trata especificamente dos processos que ocorrem na área de metalurgia sendo eles: Coqueria, Sinterização, Alto Forno e Aciaria. De acordo com a resolução CONAMA 382 (2006) de Dezembro de 2006 podem ser definidos como:

- Coqueria:

“Unidade produtiva onde ocorre a destilação do carvão mineral para a produção do coque metalúrgico - redutor e combustível necessário às operações do alto forno”.

- Sinterização:

“Processo de aglomeração a quente que consiste na formação de um bloco poroso, denominado sinter, formado a partir da fusão



incipiente de uma carga constituída por finos de minério de ferro juntamente com finos de coque ou carvão vegetal e fundentes”.

- Alto Forno:

“Forno siderúrgico onde é produzido o ferro gusa a partir da redução e fusão de uma carga constituída por minério de ferro, fundentes, combustível e redutor (coque ou carvão vegetal) obtendo-se, como subprodutos: escória, gases e material particulado”.

- Aciaria LD:

“Unidade de refino do ferro gusa com a utilização de um conversor, que recebe uma carga constituída por este metal líquido e pequenas quantidades de sucata, onde o oxigênio é soprado no banho metálico com o objetivo de diminuir os teores de carbono e impurezas até valores especificados para os diferentes tipos de aço produzidos”.

(A aciaria utilizada nas indústrias siderúrgicas podem ser duas, a aciaria elétrica e aciaria LD (*Linz Donawitz*, duas cidades da Áustria onde a *Vöest-Alpine* desenvolveu, em meados do século XX o conversor com sopro de oxigênio sobre o banho), este trabalho trata somente da Aciaria LD, a qual é mais encontrada nas siderurgias do País).

Os processos realizados por estas unidades serão explicados de forma detalhada na seção de Estudo de Impacto Ambiental (para a poluição e qualidade do ar) mais a frente.

## 8.2 Equipamentos de controles típicos utilizados em uma siderurgia

Para as usinas siderúrgicas ou outras fontes fixas que geram poluição atmosférica existem diversos métodos gerais para se atingir as metas de qualidade do ar, como utilizar combustíveis com baixo teor de enxofre ou de cinzas, remover o enxofre do combustível antes da queima, remoção dos particulados e óxidos de

enxofre dos gases de combustão após a combustão, mudança dos combustíveis e diluição dos gases efluentes por meio de chaminés altas e dos processos atmosféricos naturais de dispersão (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2010).

Os poluentes atmosféricos devem ser controlados a fim de que não ofereçam riscos à saúde da população e danos ao meio ambiente, estes equipamentos podem ser divididos em grupos: filtros de ar, coletores gravitacionais e centrífugos, lavadores de gases e precipitadores eletrostáticos (MACINTYRE, 2008).

a) Filtros: Os filtros são meios porosos capazes de deter e coletar partículas e névoas contidas no ar que os atravessa. Em geral são construídos por material fibroso disposto sob a forma de tecido ou compactado, formando placas ou painéis. Existem várias modalidades de filtros, como os filtros em painéis, filtros de tecido, filtros de fibra de vidro e outros. Os filtros de tecido, conhecidos como filtros de pano ou feltro podem apresentar-se sob a forma de sacos, mangas, de painéis lisos e de painéis ondulados. Os materiais utilizados na fabricação dos mesmos são o algodão e a lã, porém estes materiais só podem ser usados até temperaturas de 82 a 90°C e para o ar seco, possuem elevada eficiência para fumos e poeiras acima de 0,1 micra. Quando a concentração de partícula é muito grande deve-se usar antes do filtro um separador do tipo inercial para a retenção das partículas maiores. O rendimento supera 93% chegando a alguns casos a 99,9%. Os filtros de manga são do tipo alongado e tubular. O ar penetra pela parte interna, quando a boca do saco fica embaixo e sai deixando as impurezas no lado de dentro. Quando se emprega uma armação interna de vergalhões para manter a manga com a forma cilíndrica, o ar penetra de fora para dentro e sai pela parte central pela boca colocada na parte superior. O compartimento onde se instalam os filtros de manga é conhecido pela designação “*bag-houses*”. Os filtros de manga em geral são dispostos em baterias ou em conjuntos de modo a se conseguir a área de filtração necessária. Para limpeza do filtro podem ser empregadas as seguintes soluções: a) Agitação ou raspagem das mangas manual ou mecanicamente após a interrupção da passagem do ar; b) Limpeza das mangas ou sacos pela introdução de ar comprimido em sentido contrário (MACINTYRE, 2008).

O filtro é dividido em várias linhas de concepção de filtro semelhante, cada uma das quais é subdividida em várias câmaras. A corrente de gás residual é distribuída uniformemente ao topo de cada uma das linhas de filtro e é aspirado para a parte inferior de cada câmara. Dentro da câmara, o gás residual, entra do lado de fora do

tubo de filtro e as poeiras são recolhidas sobre o tecido à medida que o gás passa através do saco. Os sacos são suportados por gaiolas e podem ser montados na vertical (sacos mais longos) ou horizontal (sacos mais curtos). A poeira removida é recolhida em caixas cônicas abaixo das câmaras de filtro e descarregada. A recirculação de partículas no interior do sistema para construir uma camada de pré-revestimento na superfície dos sacos é utilizado para melhorar a eficiência de despoejamento e para aumentar o tempo de vida de sacos. Diferentes tipos de tecido para o filtro manga com qualidades específicas podem ser utilizados para conseguir uma melhor eficiência (REMUS et al., 2013).

Periodicamente, os filtros são trocados para que o sistema não perca o rendimento necessário para a coleta de material particulado. Possuem elevado consumo de energia e podem operar apenas em uma faixa limitada de temperatura e umidade dos gases (BRAGA et al., 2005). A eficiência deste equipamento depende das características das partículas - granulometria, corrosividade, abrasividade, etc., bem como da qualidade dos elementos filtrantes. Na siderurgia as emissões de poeira apresentam baixa granulometria e alta abrasividade. Desta maneira ocorre um grande desgaste dos meios filtrantes. Em geral, os fornecedores de equipamentos, devido à qualidade das mangas existentes no país, garantem valores de emissão de  $50 \text{ mg/Nm}^3$ . As unidades de processo onde comumente são instalados filtros de manga são: coqueria, sinterização, alto forno, aciaria LD e fornos elétricos a arco (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010).

b) Coletores gravitacionais: Os coletores gravitacionais são o de mais simples e mais fácil operação. Consistem em uma câmara de dimensões grandes, relativamente às do duto que introduz o ar poluído, a fim de reduzir a velocidade de escoamento, permitindo a deposição de partículas maiores (100 a 200 micra), em consequência do peso das mesmas. No percurso da entrada até a saída essas partículas vão se depositando no cone de coleta. O pó acumulado periodicamente é retirado por uma abertura na parte de baixo do equipamento. Na prática, o escoamento nos coletores gravitacionais se realiza em regime turbulento, devido à existência de componentes verticais, o que explica a dificuldade das partículas pequenas em se depositarem. Consegue-se uma mais efetiva deposição de partículas médias e até pequenas com o emprego de câmaras gravitacionais múltiplas, nas quais o escoamento se aproxima do regime laminar (MACINTYRE, 2008).

c) Coletores centrífugos ou ciclone: Ciclones são dispositivos de pré-tratamento utilizados para separar o pó pela ação centrífuga. Como eles dependem de inércia, os ciclones são apenas dispositivos de redução eficazes quando a poeira é relativamente grossa (REMUS et al., 2013). Estabelecem um movimento rotatório para o gás de modo que a força centrífuga aplicada às partículas são maiores que as forças de coesão molecular e da gravidade e faz com que as mesmas sejam lançadas de encontro às paredes, retirando-as da massa gasosa em escoamento. O ar deve penetrar tangencialmente à periferia da parte superior de um cilindro ou cone, de modo a criar um fluxo helicoidal descendente que, ao atingir a parte inferior de um cone, retorne como um fluxo helicoidal ascendente central até a boca de saída na parte superior do cilindro. As forças centrífugas decorrentes deste movimento projetam as partículas sólidas de encontro com as paredes, de onde caem até o cone inferior que as coleta e de onde são removidas. Para partículas de pequeno tamanho, os ciclones de cilindro e cone de grande comprimento em relação ao diâmetro são mais eficazes, já para as partículas de diâmetro superior a 60 micra, recomendam-se os ciclones com diâmetro 3,5 a 5 vezes o diâmetro do duto de entrada de ar (MACINTYRE, 2008). Este equipamento remove de 50% a 90% das partículas grandes, mas muito pouco do material fino e médio (BRAGA et al., 2005). Para o multiciclone aplica-se o mesmo princípio por meio de uma série de ciclones em paralelo, obtendo assim uma maior eficiência. Para as partículas maiores de 10micra, uma eficiência de remoção de 90-95% pode ser alcançada através da utilização de um multiciclone (REMUS et al., 2013).

d) Lavadores de gases: Através do lavador, o pó presente no gás residual é reduzido por meio de um líquido. O líquido contaminado é retirado do sistema e é geralmente reciclado após o tratamento e a matéria sólida retida nas lamas também sofre outro tratamento (REMUS et al., 2013). Destinam-se a captação de pó ou gases poluentes mesmo em temperaturas elevadas. Quando se trata da captação de pó, o lodo ou a lama que se formam são removidos com facilidade, podendo em certos casos ser reaproveitado o pó, após a secagem ou filtração do mesmo em filtro-prensa. Quando se trata de gases solúveis, após a dissolução na água submete-se cada gás a um tratamento químico próprio, a fim de se obter um sal ou um composto insolúvel, o qual é filtrado para a remoção e destinação final das pastas ou lama formada (MACINTYRE, 2008).

São utilizados para separar uma ampla faixa de poluentes pela lavagem do gás com aspersão de água. Esse equipamento remove cerca de 90% das partículas com diâmetro de até 1 micrometro, caso sejam utilizadas anteparas internas, também remove de 80% a 95% do SO<sub>2</sub> e outros gases ácidos, o gasto de energia é mais elevado em comparação com os precipitadores eletrostáticos (BRAGA et al., 2005). Os lavadores de gases são equipamentos de eficiência limitada para controle de emissão de partículas. São, entretanto ainda indicados quando os gases possuem altas temperaturas e características corrosivas ou explosivas (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010).

e) Precipitadores eletrostáticos: A precipitação eletrostática é um processo físico segundo o qual uma partícula contida num fluxo gasoso é carregada eletricamente e, sob a influência de um corpo elétrico, é separada da corrente gasosa. O sistema que realiza esta ação consiste em uma superfície coletora carregada positivamente (ligada a terra) colocada próxima de um eletrodo emissor, com carga negativa. Devido à elevada tensão, imensa quantidade de elétrons saem do fio e bombardeiam as moléculas de gás próximas ao mesmo. A potência deste bombardeio forma íons gasosos positivos e negativos. Os íons se deslocam para os eletrodos de carga oposta aos fios devido ao intenso campo elétrico formado. Os íons positivos voltam para o fio negativo e recuperam seus elétrons perdidos, os íons gasosos negativos se dirigem para o eletrodo ligado a terra (positivo), o que faz com que a passagem do gás fique “inundada” de íons gasosos negativos. À medida que as partículas de poeira conduzidas pelo gás atravessam as passagens, elas se chocam com os íons gasosos e assim se carregam negativamente. Como os íons gasosos são imensamente mais numerosos e muitíssimo menores que as partículas, haverá suficiente cargas elétricas para solucionar quase todos os problemas de purificação do ar com poeiras. As partículas de poeiras carregadas negativamente se dirigem rapidamente às placas de potência igual à da terra e ali se prendem, retidas por intensas forças eletrostáticas. As partículas de poeira formam sobre os eletrodos uma camada que vai aumentando de espessura e que vai cada vez mais oferecendo resistência a passagem da carga para o eletrodo terra. Com uma pancada seca consegue-se um deslocamento da camada de poeira. Sob a ação de seu peso ou de dispositivos eletromagnéticos, os fragmentos caem em uma tremalha onde se acumulam e periodicamente são removidos. No precipitador eletrostático as forças elétricas são aplicadas somente as partículas em suspensão.

O precipitador eletrostático pode ser aplicado para partículas com dimensões de 0,1 a 100 micra e gera bons resultados para temperaturas compreendidas entre 90° e 200°C (MACINTYRE, 2008).

Dentre as vantagens dos precipitadores eletrostáticos podemos citar a alta eficiência na coleta de partículas entre 0,1 e 100 micra, custo de manutenção e operação reduzido, tratamento de grandes vazões de gás em temperaturas maiores, baixa perda de pressão no escoamento e baixo consumo de energia. As desvantagens deste equipamento são as seguintes: custo inicial elevado principalmente para grandes vazões, só é eficiente para material particulado, ocupa grande espaço e são inadequados para partículas de alta resistividade elétrica (BRAGA et al., 2005).

Vários fatores causam instabilidade na operação dos precipitadores, tais como: resistividade dos diferentes tipos de particulados em função das matérias primas e combustíveis (quanto maior a resistividade, menor a eficiência); queda na eficiência de captação durante o batimento das placas do último campo, com conseqüente aumento de emissão nestes períodos; envelhecimento do precipitador - não é garantido que equipamentos com mais de 8 ou 10 anos de uso consigam atingir a eficiência de projeto; e alta taxa de reciclagem de resíduos nos processos de sinterização e pelletização comumente utilizada no Brasil causam alterações na resistividade e em outras características das partículas (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010).

Nos precipitadores eletrostáticos secos, o material coletado é removido através de funis de recolha. No precipitadores eletrostáticos úmidos, o material recolhido é removido por um fluxo constante de água, o qual é recolhido e subsequentemente tratado. A fim de se obter uma separação adequada, a resistividade específica das partículas deve estar na gama de 104-109 $\Omega$ m (REMUS et al., 2013).

Cada processo dentro da siderurgia requer o equipamento de controle que melhor removerá suas impurezas e trará a maior eficiência. De acordo com o autor R.J. Wright, da Pennsylvania, recomenda-se as soluções a seguir:

Para a área da coqueria a retenção dos particulados depreendidos no derramo do carvão é conseguida com lavadores de um ou mais estágios. O coletor primário deve ser resistente à abrasão devido à dureza do particulado. O produto que sai do lavador deve ser submetido a uma neutralização química para realizar o reaproveitamento e recirculação da água. Os gases emitidos na transferência do

coque quente para o britador e a peneira devem ser transportados a lavadores ou filtros manga. No alto forno deve ser realizado o emprego de precipitadores eletrostáticos e também lavadores, ou filtro manga de tecidos sintéticos. Na área da sinterização para poluentes captados nas esteiras usam-se lavadores ou filtros manga. Na “caixa de vento” existem produtos de combustão, coque abrasivo, fumos metálicos e fumaça de óleo fazendo com o que o tratamento se torne mais complexo, portanto a indicação é a utilização de filtros manga, lavadores de alta eficiência e precipitadores eletrostáticos.

O Quadro 12 a seguir trata de um resumo sobre as partículas e poeiras emitidas em usinas siderúrgicas e os equipamentos geralmente adotados para capturá-las.

**Quadro 12:** Partículas e poeiras emitidas em usinas siderúrgicas e recursos usados para captá-las.

Processo	Emissão antes do controle - lb/t de produto	Tipo de equipamento	Eficiência aproximada (%)
Alto-forno	200	Câmaras de sedimentação	60
		Lavadores	90
		Precipitador Eletrostático	90
Sinterização	5, 20 e 100	Lavadores tipo Venturi	90
		Ciclones	
		Precipitador em série com ciclones	95
Equipamentos auxiliares de sinterização	22	Ciclones	93
"Open hearth" sem injeção de oxigênio	1,5, 7,5 ou 20	Precipitador eletrostático	98
		Lavador tipo Venturi	85-98
		Filtros manga	99
"Open hearth" com injeção de oxigênio	9,3	Precipitador eletrostático	
		Lavador tipo Venturi	
Forno elétrico	4,5, 10,6 ou 37,8	Precipitador eletrostático	99
		Filtro manga	
		Lavador tipo Venturi	99
Forno a oxigênio e conversor Bessemer	20, 40 ou 60	Precipitador eletrostático	99
		Lavador tipo Venturi	99

Fonte: MACINTYRE, 2008.

### 8.3 Resoluções relacionadas à siderurgia

#### 8.3.1 Resolução CONAMA 382/2006

A CONAMA 382 estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas poluidoras e define os limites de emissão para poluentes gerados em consideração aos altos níveis de poluição atmosféricos e seus reflexos negativos sobre a saúde, o meio ambiente e a economia junto com a crescente industrialização e com o conseqüente aumento do nível de emissões atmosféricas e da degradação da qualidade do ar (BRASIL, 2006).

Para o estabelecimento dos limites de emissão de poluentes atmosféricos são considerados os seguintes critérios mínimos:

I - o uso do limite de emissões é um dos instrumentos de controle ambiental, cuja aplicação deve ser associada a critérios de capacidade de suporte do meio ambiente, ou seja, ao grau de saturação da região onde se encontra o empreendimento;

II - o estabelecimento de limites de emissão deve ter como base tecnologias ambientalmente adequadas, abrangendo todas as fases, desde a concepção, instalação, operação e manutenção das unidades bem como o uso de matérias-primas e insumos;

Os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos gerados em indústrias siderúrgicas integradas são os definidos no Quadro 13.



**Quadro 13:** Limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos gerados em indústrias siderúrgicas integradas e semi-integradas.

Unidade de produção	Fontes de emissão pontual	MP (1)	SO <sub>2</sub> (1)	NO <sub>x</sub> (1) (como NO <sub>2</sub> )	%O <sub>2</sub> (1)
Coqueria	Sistema de despoeiramento do desenformamento	40	N.A.	N.A.	N.A.
	Câmara de combustão dos fornos de coque	50	800	700	7,00%
Sinterização	Sistema primário de despoeiramento	70	600	700	N.A.*
	Sistema secundário de despoeiramento	70	N.A.	N.A.	
Alto forno a coque	Sistema de despoeiramento da casa de estocagem	40	N.A.	N.A.	
	Sistema de despoeiramento da casa ou ala de corrida				
Alto forno a carvão vegetal	Sistema de despoeiramento da casa ou ala de estocagem	50	N.A.	N.A.	
	Sistema de despoeiramento da casa ou ala de corrida	50	N.A.	N.A.	
Aciaria LD	Sistema de despoeiramento	80	N.A.	N.A.	
	Sistema secundário de despoeiramento	40	N.A.	N.A.	
	Sistema de despoeiramento da dessulfuração de gusa	40	N.A.	N.A.	
	Sistema de despoeiramento dos fornos de cal	100	N.A.	470	8,00%
Aciaria elétrica	Sistema primário e secundário de despoeiramento (2)	<=50 t/c: 50 >50 t/c: 40	N.A.	N.A.	N.A.
Laminação	Fornos de reaquecimento de placas com queima de gases siderúrgicos	50	800	700	7,00%
Pelotização	Sistema de exaustão de forno de pelotização	70	700	700	N.A.
Central Térmica	Caldeira com queima de gases siderúrgicos	50	600	350	5,00%

(1) Os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm<sup>3</sup>, em base seca e no teor de O<sub>2</sub> explicitado.

(2) t/c = toneladas de aço/corrida.

N.A. - Não aplicável

Fonte: BRASIL, 2006.

### 8.3.2 Resolução CONAMA 436/2011

A resolução CONAMA 436 complementa as Resoluções n<sup>o</sup> 05/1989 e n<sup>o</sup> 382/2006 e considerando a necessidade do estabelecimento de uma referência

nacional dos limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para as fontes fixas existentes ou com licença de instalação solicitadas antes de 2 de janeiro de 2007, resolve através do seu artigo 1º estabelecer os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anterior a 02 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2011).

Os limites são fixados por poluente e por tipologia de fonte. Para o estabelecimento dos limites de emissão de poluentes atmosféricos foram observadas as seguintes premissas:

I - o uso do limite de emissões como um dos instrumentos de controle ambiental, cuja aplicação deve ser associada a critérios de capacidade de suporte do meio ambiente onde se encontra o empreendimento;

II - o estabelecimento de limites de emissão deve ter como base tecnologias ambientalmente adequadas, abrangendo todas as fases, desde a concepção, instalação, operação e manutenção das unidades bem como o uso de matérias primas e insumos;

III - adoção de tecnologias de controle de emissão de poluentes atmosféricos técnica e economicamente viáveis e acessíveis e já desenvolvidas em escala que permitam sua aplicação prática;

IV - possibilidade de diferenciação dos limites de emissão, em função do porte, localização e especificidades das fontes de emissão, bem como das características, carga e efeitos dos poluentes liberados e

V - informações técnicas e mensurações de emissões efetuadas no País bem como o levantamento bibliográfico do que está sendo praticado no Brasil e no exterior em termos de fabricação e uso de equipamentos, assim como exigências dos órgãos ambientais licenciadores.

No Quadro 14 a seguir encontram-se os limites de emissão para poluentes atmosféricos gerados nas indústrias siderúrgicas integradas e semi-integradas e usinas de pelotização de minério de ferro.

**Quadro 14:** Limites de emissão para poluentes atmosféricos gerados nas indústrias siderúrgicas integradas e semi-integradas e usinas de pelotização de minério de ferro.

Unidade de produção	Fontes de emissão pontual	MP (1)	SO <sub>2</sub> (1)	NOx (1) (como NO <sub>2</sub> )	%O <sub>2</sub> (1)
Coqueria	Sistema de despoejamento do desenformamento	40	N.A.	N.A.	N.A.
	Câmara de combustão dos fornos de coque	50	800	700	7,00%
Sinterização	Sistema primário de despoejamento	70	600	700	N.A.
	Sistema secundário de despoejamento	70	N.A.	N.A.	N.A.
Alto forno a coque	Sistema de despoejamento da casa de estocagem	40	N.A.	N.A.	N.A.
	Sistema de despoejamento da casa ou ala de corrida	40	N.A.	N.A.	N.A.
Alto forno a carvão vegetal	Sistema de despoejamento da casa ou ala de estocagem	50	N.A.	N.A.	N.A.
	Sistema de despoejamento da casa ou ala de corrida	50	N.A.	N.A.	N.A.
Aciaria LD	Sistema de despoejamento	80	N.A.	N.A.	N.A.
	Sistema secundário de despoejamento	40	N.A.	N.A.	N.A.
	Sistema de despoejamento da dessulfuração de gusa	40	N.A.	N.A.	N.A.
	Sistema de despoejamento dos fornos de cal	100	N.A.	470	8,00%
Aciaria elétrica	Sistema primário e secundário de despoejamento (2)	<=50 t/c: 50 >50 t/c: 40	N.A.	N.A.	N.A.
Laminação	Fornos de reaquecimento de placas com queima de gases siderúrgicos	60	1000	700	7,00%
Pelotização	Sistema de exaustão de forno de pelotização	70	700	700	N.A.
Central Térmica	Caldeira com queima de gases siderúrgicos	60	600	350	5,00%

(1) Os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm<sup>3</sup>, em base seca e no teor de O<sub>2</sub> explicitado.

(2) t/c = toneladas de aço/corrida.

N.A. - Não aplicável

Fonte: BRASIL, 2011.

Deverão ser atendidos os limites de emissão estabelecidos neste anexo para cada parâmetro das fontes da siderurgia conforme prazos (em anos) definidos no Quadro 15 a seguir:

**Quadro 15:** Limites de emissão estabelecidos para cada parâmetro das fontes da siderurgia conforme prazos (em anos).

Unidade de produção	Fontes de emissão pontual	Parâmetros		
		MP	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Coqueria	Sistema de despoeiramento do desenformamento	5	N.A.	N.A.
	Câmara de combustão dos fornos de coque	7	3	3
Sinterização	Sistema primário de despoeiramento	7	3	3
	Sistema secundário de despoeiramento	7	N.A.	N.A.
Alto forno a coque	Sistema de despoeiramento da casa de estocagem	7	N.A.	N.A.
	Sistema de despoeiramento da casa ou ala de corrida	5	N.A.	N.A.
Alto forno a carvão vegetal	Sistema de despoeiramento da casa ou ala de estocagem	3	N.A.	N.A.
	Sistema de despoeiramento da casa ou ala de corrida	3	N.A.	N.A.
Aciaria LD	Sistema de despoeiramento	3	N.A.	N.A.
	Sistema secundário de despoeiramento	5	N.A.	N.A.
	Sistema de despoeiramento da dessulfuração de gusa	5	N.A.	N.A.
	Sistema de despoeiramento dos fornos de cal	3	N.A.	3
Aciaria elétrica	Sistema primário e secundário de despoeiramento	3	N.A.	N.A.
Laminação	Fornos de aquecimento de placas com queima de gases siderúrgicos	5	7	3
Pelotização	Sistema de exaustão de forno de pelotização	3	3	3
Central Térmica	Caldeira com queima de gases siderúrgicos	5	3	3

N.A.: Não aplicável

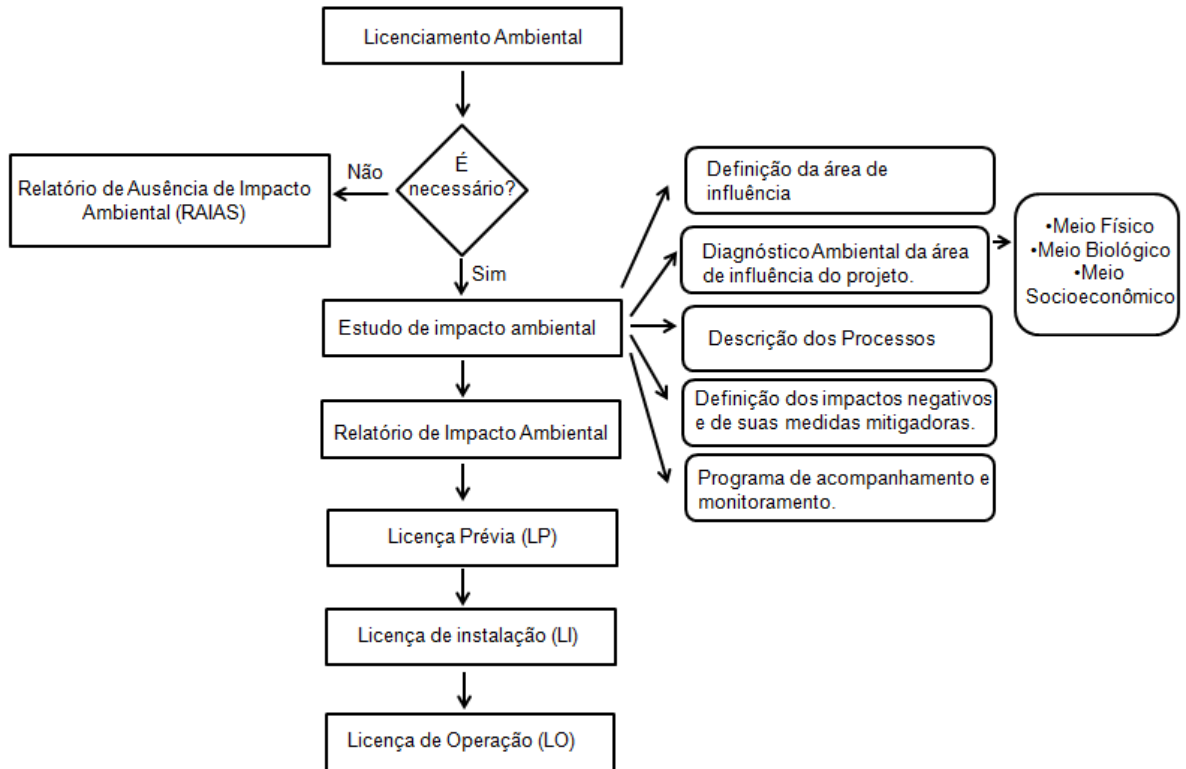
Fonte: BRASIL, 2011.

## 9 Licenciamento Ambiental e Estudo de Impacto Ambiental

### 9.1 Regulamentação

O diagrama de blocos indicado na Figura 5 abaixo mostra algumas das principais fases do licenciamento ambiental e de um dos seus principais estudos, o estudo de

impacto ambiental (EIA). De acordo com o foco deste trabalho, tem-se em seguida uma breve explicação sobre este processo dando foco ao estudo de impacto ambiental e suas principais fases.



**Figura 5:** Diagrama de blocos simplificado das etapas para a realização do Licenciamento Ambiental.

Fonte: Própria.

O licenciamento ambiental é uma obrigação legal antecedente à instalação de qualquer empreendimento ou atividade potencialmente poluidora do meio ambiente. Essa obrigação é partilhada pelos Órgãos Estaduais de Meio Ambiente e pelo IBAMA, como partes integrantes do SISNAMA (Sistema Nacional de Meio Ambiente). As principais diretrizes para a execução do licenciamento ambiental estão expressas na Lei 6.938/81 e nas Resoluções CONAMA nº 001/86 e nº 237/97 (IBAMA, 2017).

A Resolução CONAMA nº 237/97 define licenciamento ambiental como sendo: procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas potencialmente poluidoras ou

daquelas que possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso (CONAMA, 1997).

A primeira etapa do procedimento de licenciamento ambiental é a definição, pelo órgão ambiental, dos documentos, projetos e avaliação dos eventuais impactos ambientais gerados. Assim, o órgão ambiental deve definir quais os documentos e estudos imprescindíveis à obtenção da licença, que deverão ser apresentados pelo estabelecimento. Os estudos ambientais são todos os estudos referentes aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, exibido como subsídio para a análise da licença requerida, tais como: relatório ambiental, plano e projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área degradada e análise preliminar de risco (OLIVEIRA, 2012).

Ao analisar a Constituição Federal em relação à matéria ambiental (art. 225 da CF), conclui-se que a maioria dos empreendimentos são causadores de impacto ao meio ambiente, razão pela qual é necessário que no início do licenciamento, seja apresentado ao órgão público licenciador, o Relatório de Ausência de Impacto Ambiental (RAIAS) que analisará e servirá de base para que determine se a atividade é causadora de significativo impacto ambiental e se deve ser sujeita à elaboração de EIA. Assim o RAIAS deverá trazer informações assinadas por técnico habilitado que justifiquem a exoneração de se fazer um estudo prévio do impacto ambiental a ser causado. É possível que o órgão ambiental dispense o EIA/RIMA se observar que a atividade a ser licenciada não causará um impacto ambiental significativo, porém podem-se exigir estudos complementares, previstos no art, 3º, parágrafo único da Resolução 237/97 (OLIVEIRA, 2012). O art. 3º da Resolução Conama nº 237/97 cita as atividades que estão sujeitas ao licenciamento ambiental, porém não vincula o licenciamento à realização do EIA/RIMA, tendo em vista que o referido dispositivo não estabelece qualquer presunção de potencialidade de causarem significativa degradação ambiental (CONAMA, 1997).

A Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), um dos principais instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, foi tratada na Resolução CONAMA número 001 de 1986, que definiu critérios básicos e diretrizes gerais para a sua realização. Esta resolução define como impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de

matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais (SOUZA, 2013). Esta resolução exige a elaboração do EIA/RIMA e apresenta uma listagem, a título exemplificativo, das atividades sujeitas a tal exigência, porém caberá ao órgão ambiental competente identificar as atividades e os empreendimentos causadores de “impactos significativos” (BRASIL, 2007).

A licença ambiental para empreendimentos e atividades consideradas efetiva ou potencialmente causadoras de significativa degradação do meio depende de prévio estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto sobre o meio ambiente (EIA/RIMA), ao qual se dará publicidade, garantido a realização de audiências públicas, quando couber, de acordo com a regulamentação (CONAMA, 1997).

A exigência desse prévio estudo está prevista no art. 225, §1º, IV da Constituição Federal (1988), que assim prevê:

§ 1º - Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público: IV - exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade;

Posteriormente, a Resolução CONAMA 237/97 também previu a utilização do EIA, conforme segue:

Art. 3º A licença ambiental para empreendimentos e atividades consideradas efetiva ou potencialmente causadoras de significativa degradação do meio dependerá de prévio estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto sobre o meio ambiente (EIA/RIMA), ao qual dar-se-á publicidade, garantida a realização de

audiências públicas, quando couber, de acordo com a regulamentação.

Também a Lei 6.938/81, em seu art. 8º, II, faz menção ao EIA, quando determina ser de competência do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA a realização de estudos das alternativas e prováveis consequências ambientais de projetos públicos ou privados, requerendo aos órgãos públicos e entidades privadas as informações indispensáveis para a apreciação de estudos de impacto ambiental (BRASIL, 1981).

De acordo com a resolução CONAMA 01/86 o EIA deve ser elaborado por uma equipe multidisciplinar habilitada, não dependente direta ou indiretamente do proponente do projeto e que será responsável tecnicamente pelos resultados apresentados e deve obedecer às diretrizes gerais:

I - Contemplar todas as alternativas tecnológicas e de localização de projeto, confrontando-as com a hipótese de não execução do projeto – deve-se considerar a localização do projeto, os impactos que serão causados na região, a tecnologia existente e possível de ser aplicada para diminuir o impacto.

II - Identificar e avaliar sistematicamente os impactos ambientais gerados nas fases de implantação e operação da atividade.

III - Definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza - a fim de impedir que o projeto cause impactos fora daquela área e cientificar os órgãos públicos e a população de qual será a área efetivamente afetada.

IV - Considerar os planos e programas governamentais, propostos e em implantação na área de influência do projeto, e sua compatibilidade.

Determinado a necessidade da execução do estudo de impacto ambiental o órgão estadual competente, ou o IBAMA ou, quando couber, o Município, deve fixar as diretrizes adicionais que são estipuladas de acordo com as peculiaridades do projeto e características ambientais da área inclusive os prazos para conclusão e análise dos estudos (CONAMA, 1986).

De acordo com a Resolução CONAMA 01/86 o estudo de impacto ambiental desenvolverá, no mínimo, as seguintes atividades técnicas:

I - Diagnóstico ambiental da área de influência do projeto com descrição e análise dos recursos ambientais e suas interações para caracterizar a situação



ambiental da área, antes da implantação do projeto, considerando o meio físico, o meio biológico e os ecossistemas naturais e o meio socioeconômico.

II - Análise dos impactos ambientais do projeto e de suas alternativas, através de identificação, previsão da magnitude e interpretação da importância dos prováveis impactos relevantes, discriminando: os impactos positivos e negativos, diretos e indiretos, imediatos e a médio e longo prazo, temporários e permanentes; seu grau de reversibilidade; suas propriedades cumulativas e sinérgicas; a distribuição dos ônus e benefícios sociais.

III - Definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos, entre elas os equipamentos de controle e sistemas de tratamento de despejos, avaliando a eficiência de cada uma delas.

IV - Elaboração do programa de acompanhamento e monitoramento.

Os custos referentes à realização do EIA/RIMA correrão à conta do proponente (art. 8º). No artigo 2º da mesma resolução define-se que o EIA/RIMA deve ser submetido à aprovação do órgão estadual competente e, em caráter supletivo, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA. A este cabe, também, a aprovação do EIA/RIMA para o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente que, por lei, seja de competência federal (CONAMA, 1986).

De acordo com o documento Avaliação de Impacto Ambiental (1995) segue uma descrição das fases e atividades necessárias para a realização do EIA/RIMA.

A primeira fase refere-se ao dimensionamento do problema. Faz referência ao conhecimento da atividade a ser implantada, em função de suas características locais e tecnológicas, dos recursos tecnológicos e financeiros, do contexto sócio-econômico, dos objetivos da política de uso e ocupação do solo, da legislação em vigor e etc. Dentro desta fase devem ser realizadas atividades como:

1- Caracterização e análise do projeto, plano ou programa proposto, sob o ponto de vista tecnológico e locacional, com base no material fornecido pelo empreendedor com o objetivo de identificar os efeitos ambientais potenciais do empreendimento e a ordem de importância desses efeitos, fornecendo as bases para que sejam definidos: o método a ser utilizado na condução do estudo; as alternativas tecnológicas e locais ao projeto, plano ou programa proposto; os critérios para delimitação de sua área de influência direta e indireta;

2- Análise do uso e ocupação do solo, atual e planejado, visando identificar os fatores que condicionam a implantação do empreendimento, tais como: a legislação federal, estadual e municipal vigentes; a situação fundiária; políticas públicas; planos diretores; planos setoriais; zoneamentos; unidades de conservação; disponibilidade de água e de infraestrutura, etc.;

4- Definição de alternativas tecnológicas e locacionais para o projeto;

5- Delimitação da área de influência direta e indireta do projeto de suas alternativas. A delimitação da área de influência, por critérios ecológicos, toma por base o sistema ecológico em que se insere o empreendimento ou os fatores naturais potencialmente mais afetados. Por exemplo, no caso em que a atmosfera é o fator mais importante, a área de influência pode ser delimitada com base na sensibilidade do clima aos efeitos potenciais do empreendimento.

A segunda fase do projeto é o diagnóstico ambiental da área de influência, antes da implementação do empreendimento com análise do meio natural e socioeconômico e de suas interações. Dentro desta fase estão incluídas as seguintes atividades:

1- Análise do meio físico e biológico considerando as características dos recursos naturais, especialmente no que se refere às funções básicas de um ecossistema: produtividade, capacidade de suporte, capacidade de informação e auto-regulação. Dessa análise deve resultar uma classificação do grau de sensibilidade e vulnerabilidade do meio natural, na área de influência do empreendimento.

2- Descrição e análise do meio socioeconômico no que se refere aos efeitos ambientais resultantes de cada uso existente e/ou planejado na área de influência do empreendimento.

3- Integração dos resultados das análises dos meios físico e biológico e do meio socioeconômico, resultando no diagnóstico ambiental da área de influência.

A terceira fase refere-se ao prognóstico do impacto ambiental do projeto e de suas alternativas. Suas atividades mais importantes são as seguintes:

1- Identificação e análise dos efeitos ambientais potenciais (positivos e negativos) do projeto e das possibilidades tecnológicas e econômicas de prevenção, controle, mitigação e reparação dos seus efeitos negativos;

2- Comparação entre o projeto e cada uma de suas alternativas, tendo por base os respectivos efeitos ambientais potenciais e as possibilidades de prevenção, controle, mitigação e reparação dos efeitos negativos.

A quarta fase é um resumo dos resultados preliminares dos estudos e propostas para acompanhamento e monitoramento dos impactos com as seguintes atividades:

1- Avaliação do impacto ambiental da alternativa de projeto através da integração dos resultados da análise dos meios físico e biológico com os do meio socioeconômico;

2- Análise e seleção de medidas de mitigação dos impactos negativos do empreendimento, inclusive modificações necessárias em nível de projeto e dos equipamentos de controle e sistemas de tratamento de despejos, definindo os prazos e periodicidade em que essas medidas devem ser monitoradas e/ou auditadas;

3- Elaboração do Programa de Acompanhamento e Monitoramento dos Impactos, com o objetivo de valorizar e manter os efeitos positivos identificados e programar medidas de controle, mitigação e reparação dos efeitos negativos;

4- Preparação da Versão Preliminar do Estudo de Impacto Ambiental;

5- Discussão dos resultados do estudo e da necessidade de convocação de audiência pública intermediária, para aprofundamento de discussões ou aprovação/reprovação do pedido de licenciamento ambiental pelo órgão do meio ambiente, antes mesmo da apresentação da versão final do Estudo;

6- Realização de audiência pública intermediária, com possibilidade de aprovação/reprovação do pedido de licenciamento ambiental pelo órgão do meio ambiente.

A quinta e última fase trata da elaboração da versão final do EIA/RIMA e realização de Audiência Pública para a análise e parecer final do órgão ambiental para efeito do licenciamento ambiental.

O Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) é parte integrante do EIA, como um resumo, elaborado em linguagem simples, acessível e objetiva. O art. 9º da Resolução CONAMA 1/86 reflete sobre as conclusões do estudo de impacto ambiental e deve conter, no mínimo, os objetivos e justificativas do projeto, a descrição do projeto e suas alternativas tecnológicas e locacionais, a síntese dos resultados dos estudos de diagnósticos ambiental da área de influência do projeto,

descrição dos prováveis impactos ambientais da implantação e operação da atividade, caracterização da qualidade ambiental futura da área de influência, comparando as diferentes situações da adoção do projeto e suas alternativas, bem como a hipótese de sua não realização, descrição do efeito esperado das medidas mitigadoras previstas em relação aos impactos negativos, o programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos e recomendações quanto à alternativa mais favorável (CAPITANIO; SOUZA; BERNINI, 2010).

O RIMA é aberto à discussão pública em duas situações distintas: consulta pública e audiência pública. A fase de consulta pública ocorre quando o RIMA fica à disposição dos interessados em lugar de fácil acesso público, nos centros de documentação ou bibliotecas dos órgãos ambientais. Logo após essa fase ocorre a audiência pública (OLIVEIRA, 2012).

Superada a fase de exigência, pelo órgão ambiental, de documentos e estudos com vistas à obtenção de determinada licença, o empreendedor deve requerer a obtenção de licença ambiental perante o órgão ambiental competente. Assim, o licenciamento ambiental correrá dentro deste órgão. Para a obtenção de licença é necessário o pagamento de uma taxa, a qual, dependendo do órgão, é paga no início ou no final do procedimento. O licenciamento ambiental é composto de 03 etapas: a Licença Prévia, a Licença de Instalação e a Licença de Operação. Para cada uma delas deverá ser feito um requerimento específico perante o órgão ambiental competente e quando cumpridas as exigências e prazos da etapa anterior é que será requerida a próxima (OLIVEIRA, 2012).

A primeira licença a ser requerida é a Licença Prévia (LP) que é concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases (CONAMA, 1997). Nessa fase, não há a autorização para o início das obras nem o funcionamento do empreendimento somente após a análise dos estudos de viabilidade do projeto, o órgão ambiental concederá, ou não, a licença prévia, determinando as condicionantes a ser cumpridas pelo empreendedor.

Logo após o empreendedor deve requerer a licença de Instalação (LI), esta licença autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo

determinante (CONAMA, 1997). Nesta fase é apenas permitido que o empreendimento seja instalado, nos termos das condicionantes previstas na licença ambiental, tal licença ainda não permite o funcionamento das atividades ou empreendimento.

Por último deve ser requerida a Licença de Operação (LO) que autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação (CONAMA, 1997). Nesta fase do licenciamento é permitido o efetivo início das atividades ou empreendimento, todavia, é importante salientar que o licenciamento não se esgota com a obtenção da LO, pois, após a sua concessão, deverá ocorrer o monitoramento e a fiscalização da atividade, a fim de que o órgão ambiental verifique se as condicionantes estão sendo cumpridas pelo empreendedor.

Este EIA é composto pela descrição das principais características do empreendimento em estudo; da caracterização da região onde ele se encontra; da indicação de seus impactos ambientais e das ações e programas ambientais que deverão ser desenvolvidos para diminuir, controlar, monitorar e compensar os impactos e, finalmente, das conclusões sobre as questões estudadas.

## 10 Metodologia

Para a realização deste trabalho, foi necessário o entendimento das tecnologias que envolvem a produção de aço, os padrões de qualidade do ar e da gestão ambiental vigente no país.

A fim de propor um modelo de estudo impacto da qualidade do ar para uma indústria siderúrgica inserida na cidade de Volta Redonda, foi realizado primeiramente um estudo das características da cidade de Volta Redonda para a realização do primeiro item do estudo, que se trata do diagnóstico ambiental da área de influência do projeto. Em seguida foi feita uma análise dos processos siderúrgicos do empreendimento, dos impactos negativos, nesse caso, das emissões atmosféricas provenientes destes processos, dos sistemas de controle e equipamentos utilizados para minimizar as emissões e por fim, propor um plano de monitoramento.

Para a análise do monitoramento da qualidade do ar de Volta Redonda, foram utilizados dados de qualidade do ar, referente aos parâmetros Particulados Totais em Suspensão (PTS), Partículas Inaláveis (MP<sub>10</sub>), Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>), Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>), Monóxido de Carbono (CO) e Ozônio (O<sub>3</sub>), gerados nas estações de monitoramento existentes na cidade e disponibilizados através dos relatórios do INEA para os anos de 2010 a 2014. Em seguida os resultados foram comparados através do uso de tabelas e gráficos com os limites dos poluentes estabelecidos nas legislações brasileira, europeia e norte americana, no sentido de encontrar possíveis ultrapassagens. Adicionalmente, através de análise crítica das legislações citadas foi possível identificar diferenças entre os poluentes monitorados e os limites legais estabelecidos nos países considerados.

Por fim, foram também observadas à localização das estações de monitoramento e da siderúrgica, analisado as rosas dos ventos da cidade de Volta Redonda desde o ano de 2010 ao ano de 2014, para que fosse possível obter a direção predominante do vento da cidade, e analisada as concentrações dos poluentes de forma a correlacionar as ultrapassagens dos limites dos mesmos à influência da atividade de siderurgia, as fontes emissoras e seus efeitos na indústria, sociedade e ambiente.

11 Estudo de impacto ambiental para a qualidade do ar do setor de metalurgia de uma indústria siderúrgica inserida na cidade de Volta Redonda.

### 11.1 Área de influência

A Área de Influência é a região que pode ser afetada pelo empreendimento. Para sua definição são utilizados conceitos científicos e aqueles estabelecidos na legislação ambiental, como a Resolução CONAMA N° 01/1986 e a DZ-041.R.13 do INEA.

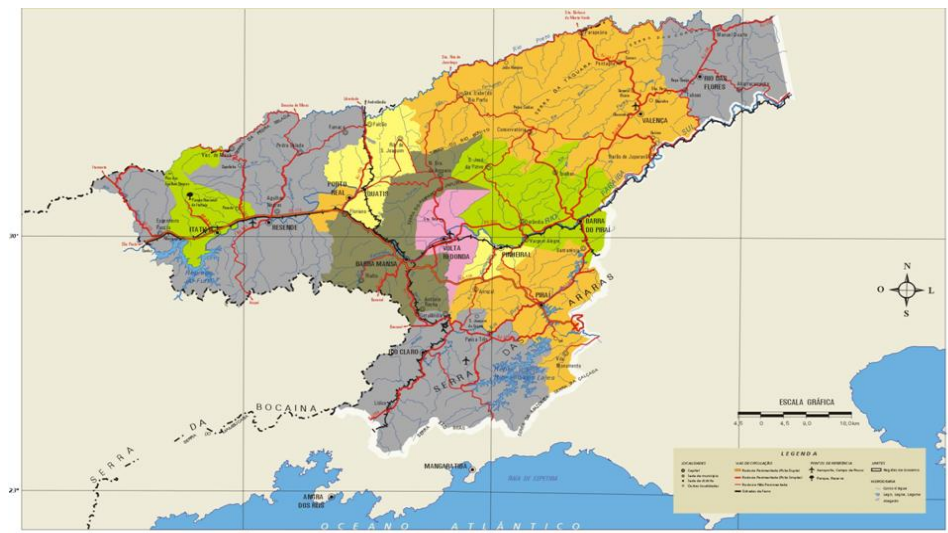
De acordo com DZ-041.R.13 do INEA a área de Influência pode ser definida como a região potencialmente afetada, direta ou indiretamente, pelas ações a serem realizadas nas fases de planejamento, construção e operação de uma atividade. A Área de Influência é determinada de acordo com as características da engenharia e do meio ambiente da região onde o empreendimento está localizado (BRASIL, 1997).

Dependendo de como o empreendimento pode afetar o meio ambiente, as áreas de Influência podem ser definidas em três tipos diferentes:

- Área onde se estabelece o empreendimento - Área Diretamente Afetada (ADA);
- Área onde ocorrem efeitos diretos do empreendimento - Área de Influência Direta (AID);
- Área onde ocorrem apenas efeitos indiretos - Área de Influência Indireta (AII).

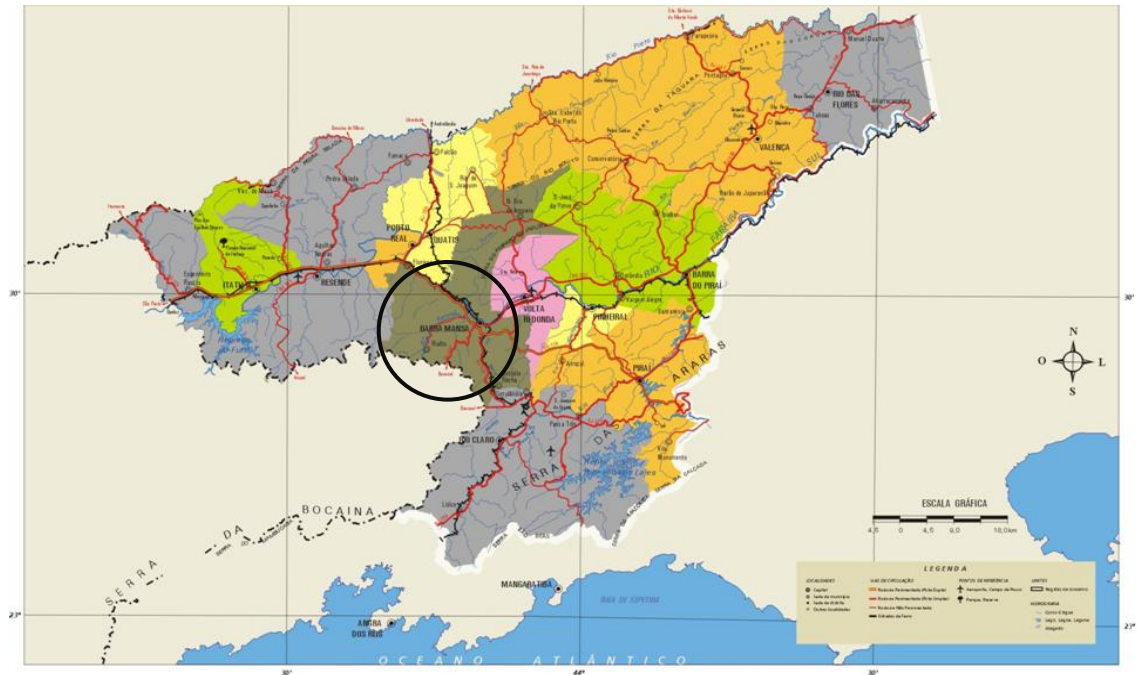
Sua definição considera modificações que podem ocorrer: No meio socioeconômico (o ser humano e a economia), no meio biótico (todos os outros seres vivos, ou seja, a biodiversidade) e no meio físico (solo, clima, água, fundo do mar, ar etc.). O resultado (ADA, AID e AII) indica a região que deve ser avaliada com detalhe sobre os possíveis efeitos do empreendimento.

No caso do município do Volta Redonda, município de estudo deste trabalho, a área diretamente afetada é a própria cidade, a área de influência direta é definida através de um raio de 20 km ao entorno de qualquer siderurgia ali instalada e a área de influência indireta engloba a região do médio Paraíba do Sul.



**Figura 6:** Área de influencia indireta: Região do Médio Paraíba do Sul.

Fonte: [www.mapa-brasil.com/Regiao\\_Medio\\_Paraiba\\_Estado\\_Rio\\_Janeiro\\_Brasil.htm](http://www.mapa-brasil.com/Regiao_Medio_Paraiba_Estado_Rio_Janeiro_Brasil.htm)



**Figura 7:** Área de influência direta: Área dentro do raio de 20 km em torno da cidade de Volta Redonda.

Fonte: [www.mapa-brasil.com/Regiao\\_Medio\\_Paraiba\\_Estado\\_Rio\\_Janeiro\\_Brasil.htm](http://www.mapa-brasil.com/Regiao_Medio_Paraiba_Estado_Rio_Janeiro_Brasil.htm)



**Figura 8:** Área diretamente afetada: Cidade de Volta Redonda.

Fonte: [www.google.com.br/maps/place/Volta+Redonda](http://www.google.com.br/maps/place/Volta+Redonda)



## 11.2 Diagnóstico Ambiental

O diagnóstico ambiental tem como objetivo o estudo da área de influência em termos ambientais e sociais. Estas informações auxiliam na avaliação dos impactos do empreendimento e na definição das ações e projetos socioambientais que a empresa deverá realizar para prevenir, controlar e/ou reduzir os impactos identificados (CONAMA, 1986).

O diagnóstico ambiental é dividido através da caracterização do município em características do meio físico, meio biótico e sócio econômico. A seguir tem-se o diagnóstico ambiental da cidade de Volta Redonda.

### 11.2.1 Histórico da área de estudo

Em 1727 os jesuítas, após demarcarem a Fazenda Santa Cruz, na baixada que ainda hoje guarda este nome, cruzaram a Serra do Mar e começou a colonização do Médio Vale do Paraíba e logo no ano seguinte foi aberta uma estrada que ligava o Rio de Janeiro a São Paulo. Somente em 1744 foi quando a região de Volta Redonda começou a ser explorada por garimpeiros em busca de ouro e pedras preciosas e denominaram a curva do Rio Paraíba do Sul, de Volta Redonda. Grandes fazendas foram instaladas na região, alguns nomes permanecem os mesmos até hoje como Três Poços, Belmonte, Santa Cecília, Retiro e Santa Rita. Entre 1860 e 1870, foi a época que houve a maior parte da navegação pelo Rio Paraíba do Sul. Em torno de 1875, o povoado de Santo Antônio de Volta Redonda começa a crescer devido ao pequeno comércio que se estabeleceu na região. Somente no ano de 1926, Volta Redonda conseguiria o seu estabelecimento definitivo como oitavo distrito de Barra Mansa. Em 1941 tem início o ciclo de industrialização de Volta Redonda, escolhida como local para instalação da Usina Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), em plena II Guerra Mundial, marcando as bases da industrialização brasileira. Os novos moradores perceberam a desvantagem da dependência do distrito para com Barra Mansa em 1954. Após uma série de marchas políticas, Volta Redonda conquista sua emancipação em 17 de julho, marcando um novo ciclo no desenvolvimento de sua história. Em 1973, o município foi considerado Área de Segurança Nacional, situação que prevaleceu até

15 de novembro de 1985, quando foram restabelecidas as eleições diretas para prefeito (PORTALVR, 2016).

Um novo processo de formação sócio-territorial é relacionado a uma nova ordem produtiva. As fazendas da cidade deram espaço às estruturas da siderúrgica. Desde o início da instalação da Companhia Siderúrgica Nacional/Usina Presidente Vargas (1941), passando pela sua inauguração (1946), a privatização da usina até os dias atuais, a cidade passou por diferentes fases de expansão urbana devido à migração agrupada aos da expansão da planta industrial da CSN o que gerou diversas mudanças territoriais. A construção da Usina conformou duas áreas principais de concentração da população: as áreas controladas diretamente pela CSN, abrangendo inicialmente os bairros de Vila Santa Cecília, Laranjal, Conforto e Bela Vista; e a outra parte da cidade representada por Niterói, situada ao norte do rio Paraíba do Sul, com maior movimento na organização interna (CASTRO, 2008). O crescimento industrial, fluxos migratórios, aumento populacional e necessidade de moradias, equipamentos urbanos e infraestrutura para as atividades produtivas contribuíram para uma transformação significativa da paisagem da cidade.

#### 11.2.2 Meio Físico da área de estudo

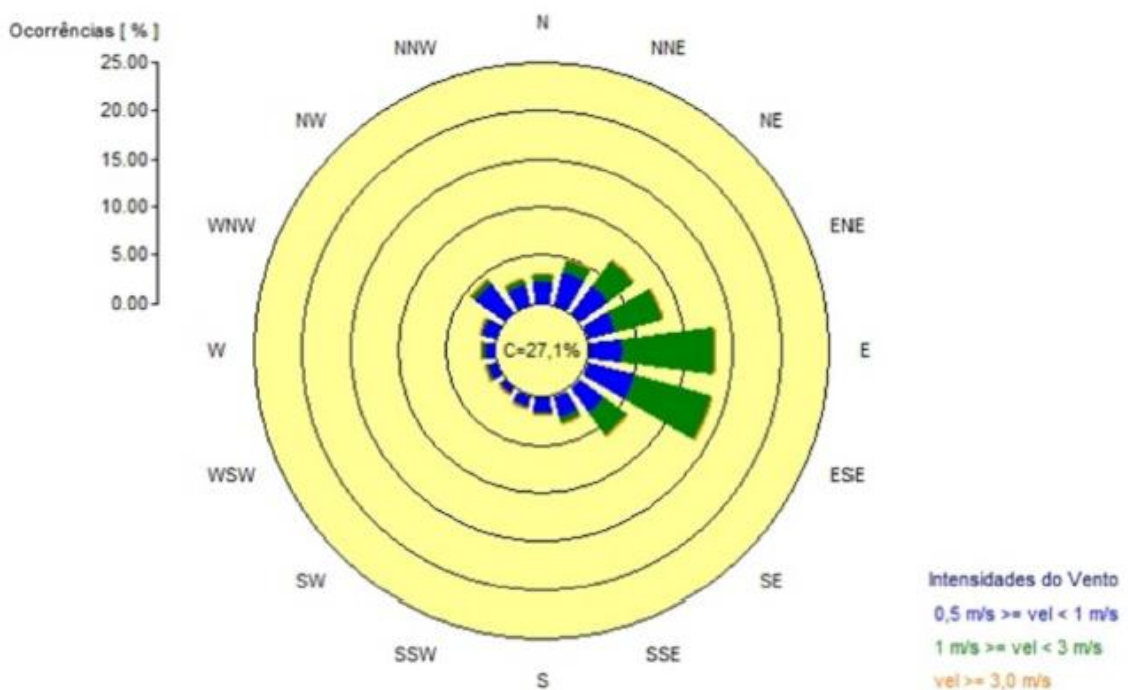
O município de Volta Redonda está localizado no trecho inferior do médio vale do rio Paraíba do Sul. Situa-se entre as serras do Mar e Mantiqueira, entre os paralelos 22° 22'11" e 22° 38' de latitude Sul e os meridianos 44°09'25" e 44° 20' de longitude Oeste, segundo o meridiano de Greenwich. O município limita-se ao norte, noroeste e oeste com o Município de Barra Mansa; a sudeste, com Barra Mansa e Rio Claro; ao sul, sudeste e leste, com Piraí e Pinheiral; e a nordeste com Barra do Piraí e Piraí (GIODA et al, 2000).

A área da unidade territorial é de 182,483 km<sup>2</sup> que equivale aproximadamente a 0,4% da área do Estado do Rio de Janeiro. O perímetro urbano ocupa uma área de 54 km<sup>2</sup>. A altitude da área central é de 380,3 m acima do nível do mar. A população de Volta Redonda está estimada em 262.970 de acordo com o IBGE para o ano de 2015 possuindo uma densidade demográfica (ano de 2010) de 1.412,75 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2016).

A temperatura média da cidade de Volta Redonda se situa em torno de 21 graus Celsius com média mínima anual de 16,5° C e média máxima anual de 27,8°

C. O índice pluviométrico da cidade anual é de 1.337mm com uma umidade média anual de 77% sendo os meses mais chuvosos os de dezembro, janeiro e fevereiro e os meses de junho, julho e agosto aparecem como os mais secos. O clima predominante é tropical mesotérmico, com inverno frio e seco, verão quente e chuvoso (POTALVR, 2016).

A direção predominante do vento em Volta Redonda é no sentido noroeste (NW). Foram analisadas diversas rosas dos ventos da estação Belmonte da cidade de Volta Redonda, desde o ano de 2010 ao ano de 2014 e como exemplo, é apresentada a rosa dos ventos do ano de 2014. Quanto à intensidade do vento, observa-se que na maior parte do tempo os mesmos foram de fraco a moderado, com frequência de calmarias entre 25% (outono) e 43% (verão). A Figura 9 apresenta a rosas dos ventos para a estação.



**Figura 9:** Rosa dos ventos da estação VR-Belmonte.

Fonte: INEA, 2014.

É comum, no inverno, o fenômeno da inversão térmica, em que há uma troca entre as camadas quente e fria da atmosfera. Essa inversão diminui a circulação atmosférica a baixas altitudes, formando uma "zona tampão". Essa zona tampão retém os poluentes presentes nas camadas atmosféricas mais próximas à superfície terrestre, podendo trazer danos à saúde humana e animal. No caso de Volta Redonda este fenômeno é bastante relevante, haja vista a presença de significativas fontes de emissão de poluentes, como a CSN - Companhia Siderúrgica Nacional (ECOLOGUS, 2015).

A Bacia de Volta Redonda sofreu um processo de depressão tectônica há milhares de anos acumulando materiais sedimentares, como arenitos, folhelhos, argilitos e conglomerados. No contexto geológico do município destaca-se a existência de um importante afloramento rochoso, localizado no Vale da Colina, onde existem camadas de composições litológicas diferentes. Através do registro geológico, a região já sofreu abalos sísmicos, do mesmo modo que há aproximadamente 50 milhões de anos possuía um expressivo sistema fluvial. A própria curva do Rio Paraíba do Sul, que originou o nome da cidade, pode ter sido causada pela formação geológica aliada às falhas tectônicas (ECOLOGUS, 2015).

O município é dividido em duas áreas geomorfológicas: a área de planície aluvial e a área de mar de morros. A área da planície aluvial tem aproximadamente 20 Km<sup>2</sup>, sendo 15 Km<sup>2</sup> na margem direita e 5 Km<sup>2</sup> na margem esquerda do Rio Paraíba do Sul, e encontra-se embutida no conjunto de elevações circundantes, que formam a área do mar de morros. O rio Paraíba do Sul atravessa o município no sentido sudoeste-leste, e a área urbana está situada às suas margens, em planície circundada por colinas, cujas altitudes variam de 350 metros, às margens do Rio, a 707 metros, na ponta nordeste (PORTALVR, 2016).

Em Volta Redonda observa-se a presença de solos argilosos profundos, ácidos e com baixa porosidade, comuns nas áreas de relevo fortemente ondulado. Já nas áreas de baixada, às margens dos rios, o solo é fértil, devido à encharcamentos e acumulação de matéria orgânica (ECOLOGUS, 2015).

O relevo da cidade é caracterizado por morros com alturas que variam de 50 a 200 metros de declividades de 25 a 50%. As áreas mais planas correspondem a pequenos setores descontínuos, situados nos topos achatados dos morros e no fundo dos pequenos vales intermediários. Na parte sul existe algumas áreas planas ou de topografia suave, que formam dois conjuntos de áreas planas agregadas de

1km<sup>2</sup> cada uma. As altitudes e declividades vão se acentuando conforme se aproxima da Serra do Mar, ao sul, e da Serra da Mantiqueira, ao norte (PORTALVR, 2016).

Volta Redonda integra a bacia do Rio Paraíba do Sul e sofre atuação do Comitê de Bacia da Região Hidrográfica Médio Paraíba do Sul. Possui uma densa malha hidrográfica, com a presença de diversos cursos d'água, em suas maiorias perpendiculares ao corpo hídrico principal, o Rio Paraíba do Sul (ECOLOGUS, 2015).

### 11.2.3 Meio biótico da área de estudo

A cidade de Volta Redonda está inserida no Bioma da Mata Atlântica, que possuía originalmente uma densa cobertura vegetal de floresta tropical. Hoje, porém, a sua cobertura vegetal predominante é a de pastagens pobres, cobertas em maior escala pela variedade de capim “gordura” (ECOLOGUS, 2015).

Atualmente restam apenas dois fragmentos de Mata Atlântica, instituídos oficialmente como Unidades de Conservação, o Parque Natural Municipal Fazenda Santa Cecília do Ingá e a Floresta da Cicuta classificada como Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE).

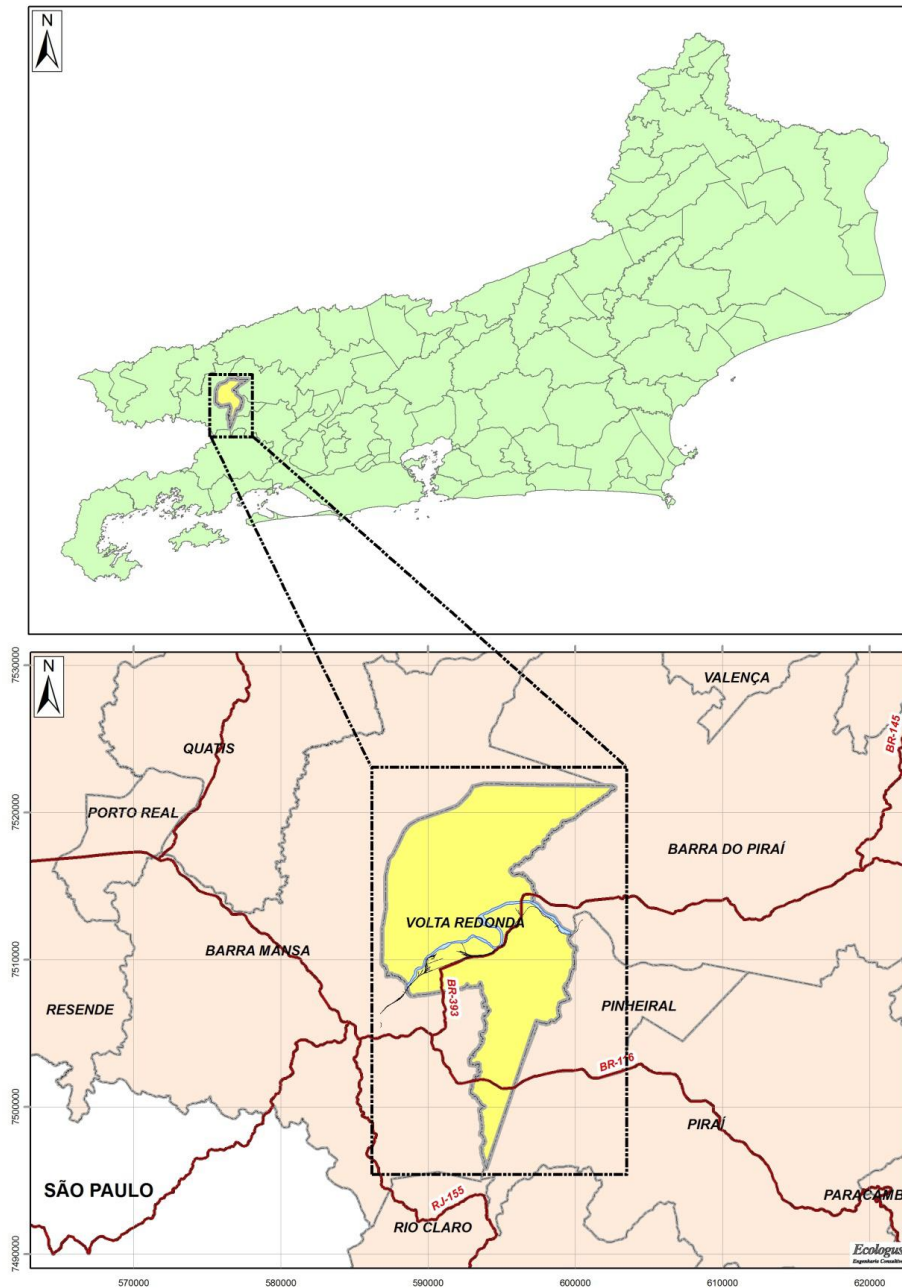
O Parque Natural Municipal Fazenda Santa Cecília do Ingá, com 211 hectares, é considerado a maior área verde do município de Volta Redonda. Os principais objetivos desta unidade de conservação são proteger a biodiversidade, regular a qualidade do ar e resguardar a saúde da população. Além disso, existe a produção e doação de mudas para arborização urbana, reflorestamento, contenção de encostas e recuperação de áreas degradadas (ECOLOGUS, 2015). Sua vegetação é caracterizada como Floresta Estacional Semidecidual Submontana é composta por matas em estágio inicial e intermediário de sucessão, cercado por mata nativa, plantios de *Eucalyptus* sp. e pastagens, formando uma matriz em mosaico (silvicultura/nativa) de aproximadamente 2.000 ha.

A Floresta da Cicuta, com 125 hectares foi criada em 1985 e sua vegetação é caracterizada como Floresta Estacional Semidecidual Submontana, enquanto as áreas adjacentes são compostas por matas em estágio inicial e intermediário de sucessão, antigos plantios de *Eucalyptus* sp e pastagens. A Floresta da Cicuta é citada como a última amostra intacta de Mata Atlântica no Vale do Paraíba do Sul.

Os dados publicados relativos à mastofauna terrestre da região de Volta Redonda estão restritos a Área de Relevante Interesse Ecológico da Cicuta e ao Parque Natural Municipal Fazenda Santa Cecília do Ingá, sendo registradas diversas espécies, como por exemplo: *Dasyus novemcinctus* (tatu-galinha), *Euphractus sexcinctus* (tatu-peba), *Bradypus* sp. (preguiça), *Cerdocyon thous* (cachorro-donato), *Galictis vittata* (furão), *Procyon cancrivorus* (mão-pelada), *Eira barbara* (irara), *Dasyprocta leporina* (cutia), *Sphiggurus villosus* (ouriço-cacheiro), *Cuniculus paca* (paca), *Guerlinguetus aestuans* (caxinguelê), *Sylvilagus brasiliensis* (tapeti), entre outras (ECOLOGUS, 2015).

#### 11.2.4 Meio socioeconômico da área de estudo

Volta Redonda pertence à Região do Médio Vale do Paraíba, que abrange os municípios de Barra do Piraí, Barra Mansa, Itatiaia, Pinheiral, Piraí, Porto Real, Quatis, Resende, Rio Claro, Rio das Flores e Valença. É considerado um importante eixo econômico localizado entre as maiores metrópoles nacionais, São Paulo e Rio de Janeiro. O Médio Vale do Paraíba é a mais dinâmica e industrializada região do interior do Estado do Rio de Janeiro, resultado da instalação da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) em Volta Redonda em 1941. A instalação da CSN se configurou como o principal marco do desenvolvimento industrial da região, porém atualmente os centros urbanos do médio Vale do Paraíba caracterizam-se como local de comércio e prestação de serviços. A junção do município de Volta Redonda e Barra Mansa representa o principal centro urbano regional. A economia desses municípios está baseada na indústria metal-mecânica, automotiva, metalúrgica, siderúrgica, cimenteira, alimentícia, energética, turística, têxtil e nas atividades agropecuárias, destacando-se a criação de gado leiteiro e a produção de hortifrutigranjeiros. A construção da CSN configurou duas áreas principais de concentração da população: as áreas controladas diretamente pela CSN, ou seja, a cidade “oficial” da Companhia, abrangendo os bairros de Vila Santa Cecília, Laranjal, Conforto e Bela Vista; e a “cidade velha” representada pelo povoado de Niterói, situado ao norte do rio Paraíba do Sul (ECOLOGUS, 2015).



**Figura 10:** Macrolocalização do município de Volta Redonda no estado do Rio de Janeiro.

Fonte: ECOLOGUS, 2015.

O mapeamento das características atuais de uso e ocupação do solo mostra que Volta Redonda mantém cerca de 20% do seu território composto por vegetação em diferentes estágios de composição. Grande parte do uso do solo refere-se às pastagens que recobrem quase metade do município (49,5%). A área urbana de Volta Redonda ocupa 26,4% do território. Trata-se de um município, desde a

instalação da usina, predominantemente urbano, expressando taxas de urbanização bastante elevadas (mais de 99% da população) (ECOLOGUS, 2015).

Após a privatização da CSN, a evolução do quadro econômico de Volta Redonda foi marcado por duas vertentes distintas. A primeira, sobre o processo de reestruturação da própria usina para elevação da sua produtividade, resultando em uma redução do seu quadro de trabalhadores. A segunda vertente reflete o redirecionamento das ações que deveriam ser desenvolvidas pelo município, considerando a desestruturação dos conjuntos econômicos locais que tradicionalmente serviam à indústria e que por força das alterações implantadas em sua base produtiva perderam a posição de fornecedores e geradores de emprego. Além da CSN, Volta Redonda abriga as fábricas de cimento do Grupo Votorantim e Tupi, da CP - Cimento e Participações, a Usina de Oxigênio e Nitrogênio da White Martins, a Indústria Nacional de Aços Laminados (INAL), além da Companhia Estanifera Brasileira (CESBRA) e da S/A Tubonal (fabricante de tubos de aço) (ECOLOGUS, 2015).

Volta Redonda não é mais considerada uma cidade operária, a partir dos anos 2000, o setor que mais gerou emprego foi de serviços. A cidade possui uma infraestrutura de comércio e serviços espalhada pelo município, o que o faz ser o município mais economicamente dinâmico de toda a região Sul Fluminense. A agropecuária possui pouca expressão na economia municipal e se faz presente, principalmente, na criação de gado no extremo Sul (na divisa com Rio Claro), no extremo Norte (próximo ao distrito de Nossa Senhora do Amparo - Barra Mansa), e no extremo Leste, no bairro Três Poços, próximo à divisa com Pinheiral, com destaque para a produção de leite. No extremo Oeste do município, o bairro Santa Rita de Cássia é o maior produtor de hortaliças do Sul Fluminense (ECOLOGUS, 2015).

### 11.3 Importância e impactos da siderurgia no município de Volta Redonda

A função da empresa siderúrgica não se limita mais a produção de lucro econômico, ela é parte e produz significado social através da geração de emprego, tecnologias, solidariedades, modos de vida e cultura. A empresa não responde somente economicamente à sociedade, mas também ambientalmente e



socialmente. Como consequência, a corporação deve responder a quaisquer possíveis externalidades que possam trazer algum prejuízo para o território.

Quanto aos impactos sociais, uma empresa siderúrgica presente na cidade de Volta Redonda auxilia na construção e desenvolvimento da cidade, além de gerar empregos e possuir grandes responsabilidades na urbanização da cidade incluindo estradas, escolas, centros de cultura e lazer, hospitais, clubes e hotéis. Além disso, tem a oportunidade de realizar projetos sociais e de participar diretamente no planejamento urbano. Volta Redonda possui atualmente a maior malha urbana do interior do Rio, com 95% das ruas asfaltadas, 100% dos domicílios com atendimento de água potável, 89,2% de rede de esgoto e 90% de energia elétrica. Entretanto este crescimento populacional incentivado pela siderurgia seguido da incapacidade local para absorver essas pessoas gerou uma sobrecarga na utilização da infraestrutura, impactando negativamente a qualidade de vida da cidade. Este crescimento populacional resultou em uma organização desordenada em determinadas áreas, favorecendo a informalidade. Além dos loteamentos irregulares, surgiram também favela e núcleos de posse. Esse rápido crescimento que também não foi seguido pela ação do Estado obteve como consequência a falta de infraestrutura. Muitas indústrias sujeitam os trabalhadores a condições maléficas para saúde e de alta periculosidade em funções de alto risco. Devido ao grande porte e influência da empresa, a mesma dita o nível salarial da região.

Culturalmente a siderurgia pode vir a influenciar a cidade em que está localizada na construção de bibliotecas, núcleos de educação, fundações além de ser assunto para filmes e livros. Porém, negativamente, a empresa pode gerar segregação social, uma grande camada da população fica desfavorecida sem acesso a atividades culturais.

Economicamente, devido ao grande porte da empresa, esta contribui com grande parte dos impostos, que beneficiam indiretamente a comunidade local. Além disso, proporciona a vinda de várias empresas para a cidade, o que aumenta a economia local. O produto da siderurgia, o aço, também é de grande importância para a cidade e inclusive para o país, uma vez que tem influência no desenvolvimento urbano e econômico. Negativamente devido ao crescimento da população a demanda se torna maior do que a oferta, e os preços de bens, mercadorias e serviços se tornaram muito caros, prejudicando a economia local.

11.4 Detalhamento dos processos, emissões atmosféricas e sistemas de controle das unidades da área de metalurgia (coqueria, sinterização, alto forno e aciaria).

#### 11.4.1 Coqueria

De acordo com a DZ-548.R-1 - Diretriz para controle da poluição do ar - para unidade de coqueria, as principais operações consistem no descarregamento seguido da estocagem, moagem e peneiramento do carvão, enforamento do carvão com o aquecimento dos fornos através da combustão dos gases de coqueria e de alto forno, o processo de coqueificação e por último o desenforamento, apagamento, moagem e peneiramento do coque (BRASIL, 1986).

O coque é um resíduo proveniente do carbono que resulta do aquecimento do carvão, sem contato com o ar, realizado sob temperaturas elevadas, submetido ao arrefecimento imediato com a água, após a coqueificação. Logo após é realizado a separação granulométrica para selecionar o coque nas dimensões adequadas para serem empregadas nos Altos Fornos e nas Aciarias LD.

A pirólise do carvão pode ser descrita como o aquecimento do carvão em uma atmosfera livre de oxigênio para a produção de coque, chamada de carbonização. Neste processo, as temperaturas dos gases de combustão começam a partir de 1150-1350°C aquecendo o carvão até 1000-1100°C durante 14-28 horas. O agente redutor mais importante na produção do metal é o coque que remove o oxigênio tanto indiretamente através da formação de dióxido de carbono ou diretamente através do seu teor de carbono. A gaseificação do coque, também serve para fornecer o calor necessário para o processo de redução. O coque não pode ser totalmente substituído por carvão ou outros combustíveis, somente determinados carvões, como por exemplo, o carvão betuminoso que com as propriedades plásticas adequadas, pode ser convertido para o coque, porém, vários tipos de minérios devem ser misturados para melhorar a produtividade do alto-forno e prolongar a vida do coque. O coque metalúrgico é empregado nos altos fornos, onde pode atuar como combustível, redutor, fornecedor de carbono à gusa e permeabilizador da carga (MACHADO, 2006).

Conforme Remus e outros (2013) o processo de produção de coque pode ser subdividido nas seguintes operações:

- 1- Armazenamento, manuseio de carvão e preparação (moagem e peneiramento do carvão);
- 2- Carregamento de carvão com aquecimento dos fornos;
- 3- Coqueificação;
- 4- Desenformamento;
- 5- Apagamento do coque;
- 6- Moagem, peneiramento, armazenagem e transporte.

Na etapa de preparação do carvão, este é preparado por pulverização de tal forma que 80-90% do carvão passa por uma tela de 3,2 mm. Durante a mistura, podem ser adicionadas substâncias recicladas, como o alcatrão. Na segunda etapa (aquecimento dos fornos), as câmaras de fornos de coque individuais são separadas por paredes de aquecimento e todas são revestidas com tijolos refratários. A temperatura média, caracterizando a operação de aquecimento de combustão, é geralmente fixada entre 1150 e 1350 °C. Normalmente, o gás de coqueria quando limpo é usado como um combustível, mas outros gases tais como o gás de alto forno também podem ser utilizados. O gás de coqueria limpo tem um poder calorífico de cerca de 17540 kJ/m<sup>3</sup> e os gases combustíveis mistos têm cerca de 4200kJ/m<sup>3</sup> (REMUS et al., 2013).

O processo de coqueificação é a destilação do carvão mineral, em ausência de oxigênio e começa imediatamente após o carregamento de carvão.

- 1- Aquece-se o carvão até temperaturas entre 100°C e 120°C e ocorre a liberação de parte da umidade presente no carvão. A umidade liberada conta por cerca de 8-15% do carvão carregado e o gás de carbonização é produzido (REMUS et al., 2013);
- 2- Ocorre a eliminação do material volátil (cerca de 25%). Durante esta etapa a temperatura varia de 350°C e 550°C e ocorre a liberação de hidrocarbonetos e alcatrão (REMUS et al., 2013);
- 3- Ocorre o aumento da fluidez com temperatura que varia entre 450°C e 600°C. As ligações químicas atuais na estrutura das moléculas são rompidas e o material se torna uma massa pastosa e fluída (SANTOS, 2010);
- 4- Ocorre o inchamento do carvão devido à pressão dos gases que se eleva devido à difusão dentro da estrutura porosa do carvão (SANTOS, 2010);

- 5- É formado o semi-coque, com temperaturas por volta dos 700°C. Confere a qualidade do coque devido a uma ressolidificação sem formação de fissuras garantindo maior resistência mecânica (SANTOS, 2010);
- 6- Na etapa final do processo as temperaturas estão em torno de 850°C e 1300°C, com liberação de gases eliminando a parte restante dos materiais voláteis, especialmente do hidrogênio (SANTOS, 2010).

O gás de coqueria bruto (GCO) se esgota através de tubos de ascensão. O alto teor calórico deste gás significa que depois da purificação pode ser utilizado como um combustível. O processo de coqueificação completo leva cerca de 14-28 horas, dependendo da largura do forno, da densidade do carvão e da qualidade desejada do coque. O tempo de coqueificação é determinado pela mistura de carvão, teor de umidade, a taxa de queima e sob as propriedades desejadas do coque. O coque totalmente carbonizado é empurrado para fora do forno em um recipiente através de uma máquina de transferência (REMUS et al., 2013).

Ao ser retirado do forno, o coque incandescente é conduzido até a estação de apagamento. Existem duas maneiras de apagar o coque quente quando sai do forno: extinção úmida e extinção a seco. A extinção úmida consome grandes volumes de água. A temperatura do coque é reduzida de 1100°C para 80°C para evitar a combustão. A fração de água que não evapora pode ser recolhida e utilizada no lote seguinte, reduzindo assim o consumo de água. Ao aplicar extinção a seco, o carro leva o coque quente para uma câmara de têmpera vertical, o gás de arrefecimento inerte circula em torno da câmara, que é isolado a partir da atmosfera, evitando assim a combustão, enquanto o coque é resfriado. O gás é arrefecido por um permutador de calor, a fim de recuperar a energia térmica (REMUS et al., 2013).

Logo após o coque pode ser armazenado em pilhas de estoque onde é transportado para um prédio separado para britagem e peneiramento. As frações maiores podem ser usadas no alto-forno ou vendidas para o mercado. As pequenas frações (<20 mm) são utilizadas para o processo de sinterização e em fábricas de aço (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010).

Segundo a DZ-548.R1 a principal fonte para a liberação de gases é a coqueificação do carvão, onde é gerado o gás de coqueria, que pode ser recuperado. As emissões de gases e poeiras provocados neste processo e no processo de recuperação de sub-produtos do coque, representam o problema mais grave na siderurgia, em termos de poluição do ar.

Durante o processo da coqueria, acontecem emissões de diversos tipos de poluentes como, CO, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, HCN e outros. As emissões do processo de coqueria começam a ocorrer na própria estocagem do carvão, durante o processo de carregamento do carvão para as câmaras de coqueificação, nas tampas superiores, nas chaminés, no processo de combustão, na remoção do coque incandescente da câmara durante o processo de apagamento do coque, e também na estocagem do produto final.

As emissões de poeiras difusas estão associadas com operações de movimentação de materiais. Estas operações consistem na descarga, armazenagem, britagem e peneiramento de carvão. Durante o processo de armazenamento de carvão, o vento pode causar emissões de pó. Durante o transporte de carvão, possíveis pontos de transferência no exterior de edifícios e meios de transporte por estrada devem ser levados em consideração quanto à emissão de poeiras e fumaça proveniente dos veículos de transporte. Durante o processo de preparação de carvão as emissões mais comuns são poeiras. No processo de carregamento, não só ocorrem em particular as emissões de poeira, mas compostos também compostos orgânicos, como benzeno, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S e NH<sub>3</sub> são emitidos (BRASIL, 1986; REMUS et al., 2013).

Durante o desenformamento do coque ocorre a liberação de compostos voláteis devido ao fato de que ao sair das câmaras o coque ainda está incandescente. Durante a combustão são utilizadas fontes de energia térmica como gás de alto forno e também o gás da própria coqueria onde ocorre o consumo dos gases de combustão do processo de aquecimento dos fornos de coque e da destilação do carvão provocando a liberação de material particulado, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> e outros.

Para o processo de arrefecimento, os principais componentes de emissões são poeira, CO, NH<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>S. Além disso, vestígios de compostos orgânicos diferentes podem ser emitidos quando o carvão não é totalmente coqueificado (REMUS et al., 2013). A etapa de purificação consiste em uma série de procedimentos de limpeza do gás de exaustão para a obtenção dos sub produtos como o gás de coqueria (OLIVEIRA, 2014). Normalmente, após a têmpera, o coque é transportado para um edifício separado para a trituração e peneiração e isto gera as emissões de partículas que necessitam ser extraídas requerendo redução (REMUS et al., 2013).

O Quadro 16 a seguir informa as principais emissões do processo de coqueria dentro das siderurgias integradas.

**Quadro 16:** Emissões da coqueria.

<b>Coqueria</b>	
<b>Fontes</b>	<b>Tipos de Emissões</b>
Estocagem do Carvão	MP
Câmara de Combustão	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , MP
Enfornamento	MP
Tubulação de exaustão de gases	MP
Desenfornamento	MP
Apagamento do Coque	MP
Estocagem final	MP

Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010.

O controle nas coquerias está focado na diminuição das emissões e no desenvolvimento de técnicas melhores e menos agressivas ao meio ambiente.

O Quadro 17 a seguir mostra alguns dos principais poluentes gerados na unidade de produção da coqueria, as fontes de emissão e também os equipamentos de controle considerados adequados para o tratamento destes poluentes.

**Quadro 17:** Poluentes e sistema de controle da coqueria.

<b>Unidade de Produção</b>	<b>Fontes de Emissão</b>	<b>Poluentes</b>	<b>Sistema de Controle Ambiental</b>
Coqueria	Câmaras de Combustão	MP; SO <sub>x</sub> ; NO <sub>x</sub>	Controle de Processo/Boas Práticas
	Sistema de Despoeiramento do desenfornamento da Coqueria	MP; SO <sub>x</sub> ; NO <sub>x</sub>	Filtros de Mangas

Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010.

De acordo com a Resolução CONAMA 382 define-se sistema de despoeiramento do desenfornamento da coqueria como um sistema destinado à captação e tratamento para a remoção do material particulado originado no procedimento de desenfornamento do coque.

Os sistemas comumente utilizados na maioria das siderurgias são os seguintes: Desenfornamento do coque com utilização de carro coifa seguido de filtro manga e para os fornos de coque é realizada a regulação da combustão e também o sistema de vedação de portas. Entretanto outras medidas alternativas podem ser tomadas para diminuir a emissão de gases durante o processo como a recirculação do gás de exaustão e a utilização de temperaturas menores na etapa de coqueificação. No desenfornamento além da utilização do carro coifa, as emissões

podem ser evitadas mantendo o tempo necessário na coqueificação para evitar que ainda existam carvões que não foram totalmente coqueificados (MACHADO, 2006; SANTOS, 2010).

Na área de carregamento, as partículas emitidas podem ser evacuadas através do uso de sistemas de tubos de ligação em ponte e pela injeção de vapor dentro do tubo de ascensão ou sendo controladas por filtros capturadores. Na área da coqueificação pode-se reduzir o número de carregamentos e desenformamentos utilizando câmaras mais largas, vedar as aberturas nos fornos de coque e utilizar dispositivos automáticos para a limpeza de portas e tampas. Podem ser utilizados também sistemas de apagamento a seco do coque que são equipados com ciclones e filtros manga e possuem eficiências maiores que 98%. Este sistema se dá através de um sopro de gás inerte sobre o coque incandescente e devido a isso não há geração de efluentes líquidos, entretanto possui custo mais elevado, ainda assim, se a indústria optar pela utilização do apagamento úmido, deve ser realizado com filtração dos gases extraídos (MACHADO, 2006; SANTOS, 2010).

Para a diminuição do uso de coque pode-se, como outra opção, utilizar como combustível o gás natural. Na etapa de beneficiamento podem-se utilizar processos que elevem a melhor qualidade do carvão para reduzir as emissões de óxidos de enxofre e também apostar na utilização de transportes fechados e peneiras para o manuseio do carvão e do coque além de borrifadores e filtros para reduzir a formação de poeiras (SANTOS, 2010). Outra opção é utilizar sistemas de recuperação de vapor, a fim de se evitar as emissões gasosas provenientes do processo de recuperação de óleos leves, alcatrão, naftaleno, fenóis e amônia e recuperar o máximo possível do enxofre no gás de coqueria (MACHADO, 2006).

Cerca de 30% da mistura de carvões se transforma em compostos voláteis que, quando tratados podem ser reutilizados na usina ou então comercializados. Existem também tratamentos para o composto volátil que transforma 17% do material enfiado em gás de coqueria (GCO), além de uma mistura composta de água amoniacal (98,7%), alcatrão (1,0%) e borra (0,3%) (MACHADO, 2006).

Todo o composto volátil é conduzido através de tubulações a uma série de equipamentos, podendo passar pelos seguintes processos:

- Processo de separação do GCO e decantação do alcatrão da água amoniacal
- Resfriamento do GCO

- Precipitação eletrostática de partículas de alcatrão
- Processo de absorção de amônia.
- Processo de destilação da amônia e concentração da água amoniaca
- Processo de combustão da amônia.
- Processo de absorção de naftaleno
- Processo de exaustão de GCO

O GCO pode ser utilizado nas unidades de aquecimento da própria siderurgia e na produção de energia termoelétrica (MACHADO, 2006). As melhores tecnologias ou práticas de controle empregadas em coquearias são:

- Programa de manutenção preventiva
- Investimento substancial em recuperação de fornos
- Monitoramento de emissões
- Equipe bem treinada e motivada (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010).

Para a realização do controle de material particulado em câmaras de combustão tem-se adotado um bom programa de operação e manutenção de queimadores e vazamento nos fornos. Estas ações já são realizadas pelas siderúrgicas e garantem um valor de 60 mg/Nm<sup>3</sup> nas chaminés da coquearia, são as seguintes (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010):

- Manutenção refratária
- a) Aplicação de *dry sealing* em trincas menores

O objetivo é vedar juntas vazias e micro e pequenas trincas que dão passagem de particulados para as câmaras de combustão. A aplicação é realizada com o forno vazio, a argamassa refratária é injetada a seco pela boca de carregamento, ficando em suspensão no interior do forno e posteriormente, depositando-se nas paredes do forno, nas regiões de juntas e trincas propiciando a vedação. Durante a aplicação é feito o monitoramento da pressão a cada 10 minutos (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010).

- b) Aplicação de solda cerâmica para trincas médias

O objetivo é vedar juntas vazias e trincas, recuperar paredes com tijolos com desgaste acentuado, sem resistência ou quebrados. A maior incidência ocorre nas extremidades das paredes dos fornos. A aplicação incide em uma abertura e limpeza na junção das paredes e soleira refratária com a estrutura metálica sendo



realizado com auxílio de equipamentos. Após, é aplicado material refratário (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010).

- Recuperação refratária total do forno para o caso de trincas profundas.

Caso as operações acima não forem suficientes para minimizar a existência das pequenas fissuras deve-se realizar a recuperação refratária total do forno ou até mesmo a substituição da coqueria (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010).

Os equipamentos de controle envolvidos na limpeza dos efluentes gasosos incluem lavadores que são responsáveis pela lavagem do gás de coqueria possuindo eficiência de 90%. Para a coleta do material particulado são utilizados também os precipitadores eletroestáticos possuindo grande eficiência, cerca de 99,9% e também os coletores de poeiras. Para as etapas de carregamento e desenformamento os coletores de poeiras tem prioridade sobre os lavadores para o controle de MP, devido a sua alta eficiência de remoção. Os precipitadores eletroestáticos são mais efetivos para a remoção final do gás de coqueria.

Outra forma de controle utilizada nas coquerias se dá através do tratamento de gás de coqueria. Em princípio, existem duas opções para lidar com a grande quantidade de gás de forno de coque gerado. No primeiro caso, o gás de coqueria é totalmente recolhido e tratado além de recuperar os subprodutos. O gás da coqueria após a limpeza é usado internamente ou externamente por outros consumidores ou pelo processo de aciarias como combustível, altos-fornos, para o aquecimento de fornos de ignição em instalações de sinterização e para geração de energia elétrica em usinas. O gás de coqueria bruto tem elevado poder calorífico, devido à presença de hidrogênio, metano, monóxido de carbono e hidrocarbonetos. Além disso, o gás de coqueria contém produtos valiosos como o alcatrão, óleo leve (que consiste principalmente de BTX (benzeno, tolueno e xileno)), enxofre e amônia. A composição do gás de coqueria depende do tempo de cozimento e da composição do carvão. O Alcatrão e naftaleno presente no gás bruto podem prejudicar a tubulação e o equipamento e devem ser removidos primeiro. Para cada tonelada de coque produzido, aproximadamente 25 a 45 kg de alcatrão podem ser recuperados. Vários produtos podem ser recuperados a partir do alcatrão, por exemplo, óleo de antraceno, óleo de lavagem, óleo de naftaleno e outros. Os compostos de enxofre e amônia podem causar corrosão da tubulação e equipamentos e os compostos de enxofre geram emissões de  $\text{SO}_2$  caso o gás de coqueria bruto fosse utilizado como

combustível. Para cada tonelada de coque produzido, cerca de 3 kg de amônia e 2,5 kg de  $H_2S$  são gerados (REMUS et al., 2013).

No segundo caso, para o processo de recuperação de calor, o gás da coqueria é queimado diretamente em sua origem e o calor produzido é utilizado novamente para o processo de coqueria. O excesso de energia é posteriormente convertido em vapor e/ou eletricidade. Para as emissões geradas no forno de carregamento podem ser utilizados sistemas com conexões de gás entre o forno de coque e no carro de carga. A sucção é gerada por vapor de água ou por injeção de água. Durante o período de coque, as emissões difusas que ocorrem devido as aberturas de fornos de coque podem ser minimizados por meio de selagem de forma eficiente após a operação. No entanto, tais medidas só podem ser bem sucedidas quando acompanhadas por manutenção e limpeza cuidadosa. O uso de ciclones podem reduzir as emissões (REMUS et al., 2013).

O  $NO_x$  gerado consiste quase inteiramente de  $NO_x$  térmico, o qual é formado pela reação entre  $N_2$  e  $O_2$  na chama. Indiretamente, as emissões de  $NO_x$  estão também relacionadas com o combustível (gás enriquecido de alto-forno) e com o tipo de carvão utilizado, a taxa específica do peso do carvão, o tempo de coque e as dimensões da câmara de forno de coque. A maneira mais eficaz de reduzir a formação de  $NO_x$  é reduzir a temperatura da chama na câmara de aquecimento. De acordo com os mesmos autores três métodos mostraram ser eficazes:

- a) Recirculação de gás residual: o gás residual do forno de coque é misturado com combustível e ar de combustão. Quanto menor o  $O_2$  e maiores concentrações de  $CO_2$  reduzem a temperatura da chama. No entanto, o efeito de pré-aquecimento de recirculação dos gases de resíduos pode contrariar a temperatura e efeito redutor.
- b) Adicionando ar de combustão em várias fases, as condições de combustão tornam-se mais moderadas, e a formação de  $NO_x$  é reduzida.
- c) A temperatura tem influência sobre a economia, à energia e a eficiência dos fornos de coque. Uma temperatura de coque inferior exige uma temperatura mais baixa da câmara de aquecimento, o que resulta em menos formação de  $NO_x$ .

De acordo com REMUS e outros (2013) o gás de coqueria contém sulfureto de hidrogênio ( $H_2S$ ) e vários compostos organosulfurados. Todas as técnicas de dessulfuração molhadas em uso são altamente eficientes na remoção de  $H_2S$ . Eles

são menos eficientes na remoção compostos organosulfurados. O processo pode ser dividido em duas fases:

- processos utilizando oxidação por via úmida para produzir enxofre elementar (S)
- processos que absorvem e retiram sulfureto de hidrogênio ( $H_2S$ ) para posterior conversão em ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) ou enxofre elementar (S).

Todos os processos de oxidação úmida utilizam um catalisador de oxidação para facilitar a redução de oxidação por via úmida de sulfeto de hidrogênio em enxofre elementar ou sulfato. Todos estes processos são caracterizados pela remoção muito eficiente do sulfureto de hidrogênio, mas tem a desvantagem de produzir águas residuais altamente contaminadas e ar contaminado, o que torna elaboradas instalações de tratamento de uma parte necessária do processo. O nível de emissões de  $SO_2$  está fortemente relacionado com o teor de enxofre do combustível. Assim, as emissões de  $SO_2$  podem ser minimizadas através da minimização do teor de enxofre do combustível. O teor de enxofre do gás de coqueria depende do desempenho da dessulfurização da estação de tratamento de gás de coqueria.

#### 11.4.2 Sinterização

A sinterização é um processo de aglomeração dos minérios de ferro que aplica o chamado *sinter feed*, minério com granulometria entre 0,1 a 9,5 mm. O procedimento é feito em uma máquina de esteira rolante onde se deposita o minério de ferro e finos de coque ou carvão, constituindo uma camada de aproximadamente 700 mm de altura e 2.000 mm de largura, que é aquecida por uma frente de combustão, mantida por ar succionado que produzirá o colamento entre as partículas de minério de ferro, resultando o sinter (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010).

A carga do processo de sinterização consiste em uma mistura de minérios finos, aditivos e os materiais de suporte de ferro reciclado a partir de unidades de transformação ao qual o coque é adicionado para permitir a ignição da carga total. No início da operação, a mistura de minério é transferida para os depósitos de armazenagem no começo da instalação de sinterização. Outros aditivos, tais como cal, poeiras, escamas de laminagem, poeiras de limpeza de gases de altos fornos e sinter reciclado podem ser adicionados ao minério na fase de mistura. Os

fragmentos de coque são o combustível mais utilizado para o processo de sinterização. Geralmente é obtido a partir de uma planta de coqueria instalada diretamente na indústria (REMUS et al., 2013).

A planta de sinterização consiste essencialmente de uma grande grelha de ferro fundido resistente ao calor. O material a ser sinterizado é colocado em cima de uma camada profunda de sinter reciclado. Esta camada inferior evita que a mistura passe através das aberturas da grelha e protege a grelha do calor direto da mistura. No início da grelha, uma cobertura de gás inflama o coque na mistura. Na parte baixa do projeto, um ventilador libera ar através de todo o comprimento do leito de sinterização em câmaras de distribuição localizado por baixo da grelha conhecido como caixas de vento (REMUS et al., 2013).

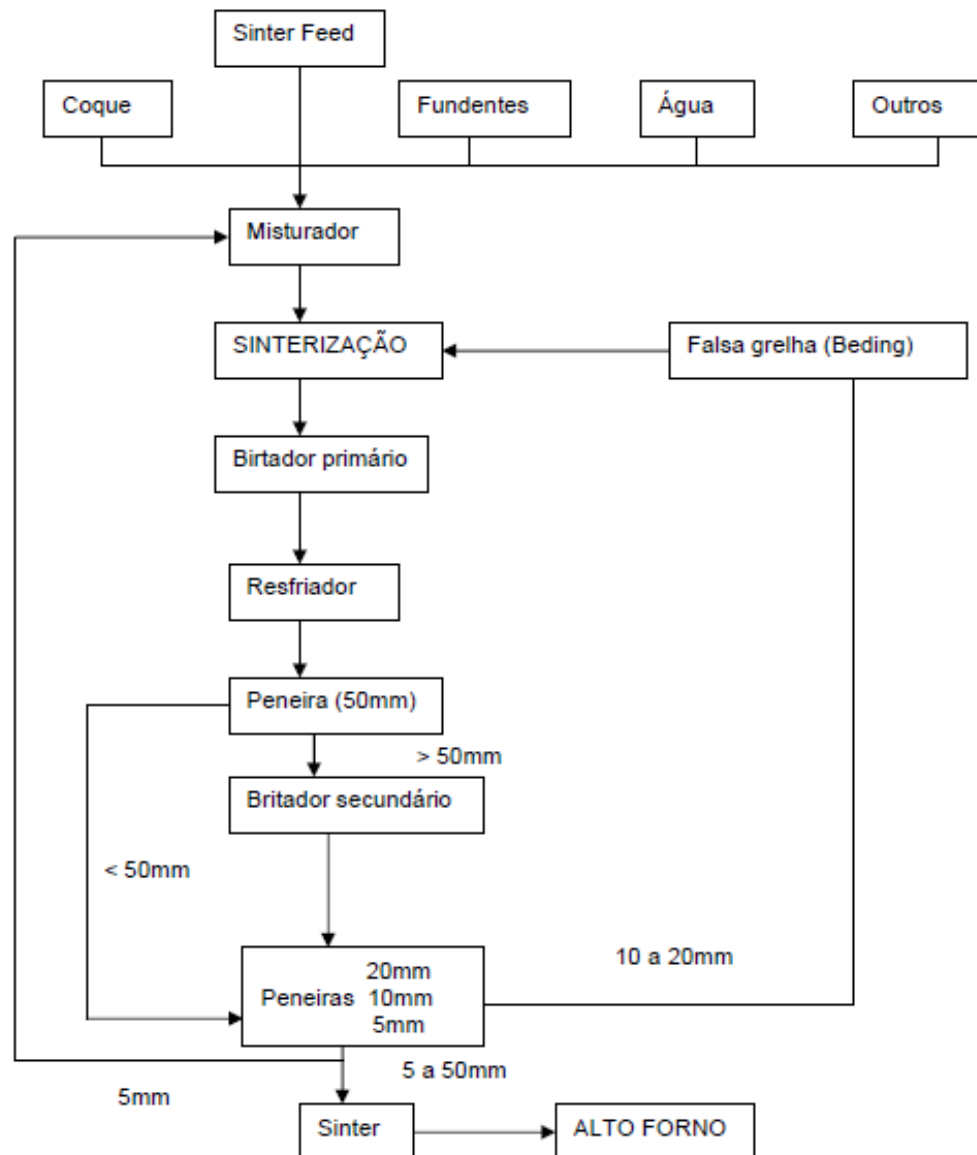
Conforme Santos (2010) seguem os princípios da sinterização:

- 1- A unidade de produção é carregada de forma continua com a mistura a sinterizar. A mistura contém minério de ferro, fundentes, finos de coque e umidade;
- 2- O coque contido na mistura é queimado e o calor gerado no forno de ignição dá início a uma combustão na superfície da mistura na temperatura de aproximadamente 1200°C e 1400°C para que a umidade presente na mistura evapore;
- 3- O ar necessário para dar continuidade ao processo de combustão é succionado de cima para baixo através da câmara de mistura por um sistema de exautores;
- 4- A camada superficial que se encontra em combustão é então transportada para o fundo da carga pelo fluxo de ar succionado através da mistura, constituindo a frente de combustão. À medida que a mistura prossegue ao longo da grelha de sinterização, a frente de combustão é puxado para baixo através da mistura. Isto cria calor suficiente para sinterizar as partículas finas em clínquer poroso referido como sinter;
- 5- Quando a frente de combustão atinge as grelhas, é necessário que todo o combustível da mistura tenha sido queimado, gerando calor, vaporizando a água e calcinando os carbonatos, provocando uma fusão incipiente e aglomerando todo o material;

6- O aglomerado que se formou, em grandes blocos, é então britado e peneirado. A fração que é superior a 5 ou 6 mm, é então conduzida ao alto-forno.

O coque é completamente queimado antes de atingir o fim da grelha e as últimas caixas de vento são usadas para iniciar o processo de arrefecimento. O refrigerador pode ser integrado dentro da linha de sinterização, mas um refrigerador separado é mais comum. No final da cadeia, o bolo de sinterização cai sobre uma plataforma de colisão, onde é dividido pela utilização de um triturador. Na maioria dos casos (isto é, onde a refrigeração não está integrada dentro da linha de sinterização), o material procede para um refrigerador. O refrigerador é uma estrutura rotativa cerca de 20-30m de diâmetro em que o sinter é colocado em uma camada de mais de 1m de espessura. O sinter é resfriado pelo ar, que é forçado para cima ou para baixo (REMUS et al., 2013).

O resultado do procedimento consiste em um aglomerado dessas partículas, excluindo os materiais indesejáveis presentes nas composições químicas dos insumos. O sinter deve possuir características como granulometria, redutibilidade, porosidade, resistência mecânica e composição química adequada. É necessária a manutenção de alguns parâmetros para que o processo de sinterização ocorra bem como a manutenção da temperatura, controle rígido da velocidade de aquecimento, tempo de permanência no forno, e atmosfera controlada (OLIVEIRA, 2014). A Figura 11 a seguir mostra o fluxograma de como acontece o processo de sinterização.



**Figura 11:** Fluxograma geral do processo de sinterização.

Fonte: MACHADO, 2006.

Durante o processo de sinterização as emissões são compostas especialmente por material particulado; monóxido e dióxido de carbono e óxidos de enxofre e nitrogênio, cujas concentrações dependem das condições da queima e das características das matérias primas (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010; MACHADO, 2006).

Os gases poluentes liberados durante o processo de sinterização ocorrem principalmente durante a estocagem dos materiais utilizados para a produção do sinter, nas operações de manuseio, nas reações de combustão e na estocagem do produto final após o processo de peneiramento. As emissões primárias tem origem nas etapas de queima, já as emissões conhecidas como secundárias são

decorrentes do processo de manuseio dos insumos materiais, zona de descarga e resfriamento do sinter (SANTOS, 2010). Ocorrem muito poucas emissões de cloretos alcalinos e micro-poluentes orgânicos e, geralmente, o pó pode ser reciclado para o processo de sinterização (REMUS et al., 2013).

No processo, ao final da grelha de sinterização, área conhecida como zona de descarga, o sinter produzido é triturado, empilhado e arrefecido. Estas operações têm o potencial para emissões de poeira. O arrefecimento da sinterização é processado com uma enorme quantidade de ar de arrefecimento e geralmente, os refrigeradores não são totalmente cobertos e ocorrem as emissões difusas. O gás de exaustão contém partículas, tais como metais pesados, compostos de ferro, compostos de chumbo, cloretos alcalinos, óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, cloreto de hidrogênio, fluoreto de hidrogênio, hidrocarbonetos e monóxido de carbono. As emissões gasosas da planta de sinterização contribuem significativamente para as emissões globais de um processo integrado (REMUS et al., 2013).

As emissões fugitivas são decorrentes em sua maioria do processo de combustão que acontece tanto no processo da sinterização ou no processo de resfriamento do sinter, onde é liberado CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> e compostos aromáticos. O processo da sinterização libera também uma grande quantidade de material particulado que varia entre 21-209 mg/Nm<sup>3</sup>.

Os óxidos de enxofre (SO<sub>2</sub>) presentes no gás residual originam a partir da combustão de compostos de enxofre na alimentação de sinterização. Estes compostos de enxofre são introduzidos principalmente através do coque e a contribuição do minério de ferro é normalmente cerca de dez vezes menor. No início do processo, o teor de SO<sub>2</sub> é baixo, apenas quando as temperaturas mais elevadas nas camadas mais baixas do leito de sinterização são alcançadas as emissões aumentam. As concentrações mais elevadas ocorrem no final do processo um pouco antes do ponto de queima (REMUS et al., 2013).

As emissões de NO<sub>x</sub> podem ocorrer de três formas principais: combustão de compostos orgânicos de nitrogênio, reação dos componentes em decomposição com nitrogênio molecular na zona de combustão e reação do oxigênio molecular com nitrogênio molecular no ar de combustão. O NO<sub>x</sub> presente no combustível representa cerca de 80% do total porém o NO<sub>x</sub> térmico se encontra entre 60-70%. As emissões deste poluente não são uniformemente distribuídas ao longo da linha

de sinterização. Os óxidos de nitrogênio nos gases residuais consistem principalmente de NO (REMUS et al., 2013).

O Quadro 18 a seguir apresenta a descrição das fontes e as principais emissões do processo de sinterização liberadas pelas mesmas.

**Quadro 18:** Emissões da sinterização.

Sinterização		
Fontes	Descrição das Fontes	Tipos de emissões
Sistema Primário	Captação e tratamento do material	MP, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>
	Particulado e gases gerados	
	Na máquina de sinter	
Sistema Secundário	Captação e tratamento do material	MP
	Particulado gerado nos processos de britagem, peneiramento e transferência.	

Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010.

O equipamento de controle mais utilizado para a unidade de sinterização é o precipitador eletrostático tanto para o sistema primário de despoeiramento como para o secundário.

O Quadro 19 a seguir apresenta alguns dos principais poluentes gerados na unidade de produção da sinterização, as fontes de emissão e também os equipamentos de controle considerados adequados para o tratamento destes poluentes.

**Quadro 19:** Poluentes e sistema de controle da sinterização.

Unidade de Produção	Fontes de Emissão	Poluentes	Sistemas de Controle Ambiental
Sinterização	Sistema Principal (Primário)	MP; SO <sub>x</sub> ; NO <sub>x</sub>	Precipitador Eletroestático
	Sistema Secundário	MP	Precipitador Eletroestático e Filtros de Mangas

Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010.

De acordo com a resolução CONAMA 382 define-se sistema primário de despoeiramento da sinterização, um sistema que é destinado à exaustão e captação de material particulado gerado na máquina de produção de sinter e o sistema secundário de despoeiramento é destinado à captação e tratamento para remoção do material particulado gerado nos processos de peneiramento, britagem e transferências do sinter e das matérias-primas do processo de sinterização.



Recentemente os sistemas de controle de emissões atmosféricas para máquinas de sinterização possuem equipamentos e tecnologias reconhecidas e disponíveis no mercado, frequentemente precipitadores eletrostáticos e posterior utilização de filtro de mangas em alguns casos onde se é exigido uma menor emissão.

A composição do pó grosseiro está relacionada com o sinter e podem ser separados em precipitadores eletrostáticos com uma eficiência elevada. O pó fino, no entanto, é constituído por cloretos de metais alcalinos e de chumbo formados durante o próprio processo de sinterização. Os cloretos alcalinos tem alta resistividade e, assim, formam uma camada isolante sobre os eletrodos. Esta camada provoca graves problemas para a remoção de pó, uma vez que reduz a eficiência dos precipitadores. A presença destas partículas finas no pó torna necessário o uso de filtros de mangas. Os cloretos de chumbo comportam-se similarmente aos cloretos alcalinos (REMUS et al., 2013). Os precipitadores eletrostáticos são os dispositivos de limpeza mais utilizados para o sistema primário com eficiência entre 95% e 99%. Para o sistema secundário é recomendável à utilização de filtros para garantir limpeza (SANTOS, 2010).

O filtro manga é utilizado geralmente à jusante de um Precipitador Eletrostático ou ciclone existente, mas também pode ser utilizado como um dispositivo independente. Normalmente, a remoção de pó é combinada com a remoção de compostos de gases de resíduos ácidos, tais como, HCl, HF e SO<sub>x</sub> por injeção de cal apagada ou através de soluções de bicarbonato de sódio e a remoção de poluentes orgânicos persistentes pela injeção de adsorventes. Toda a poeira, o carbono/coque e reagentes de dessulfuração que não reagiram bem como os produtos de reação são separados através do filtro manga. Uma proporção significativa do pó removido é recirculada para o gás residual, a fim de aumentar a eficiência de adsorção e, portanto, reduzir os custos. O restante é descarregado para fora do sistema para eliminação. Para o tratamento dos compostos ácidos presentes no gás residual a partir da sinterização, geralmente um processo de adsorção semi-seco é usado. Isto significa que a água adicional é aplicada a fim de arrefecer a temperatura do efluente gasoso para 90 -100°C durante uma dessulfurização e também para evitar a possibilidade de danos para os sacos de filtro de tecido a jusante. Cerca de 98% deste pó pode ser reciclado de volta para a corrente de gás residual, como um aditivo e o resto é descarregado para fora do

sistema para a eliminação ou, opcionalmente, enviado de volta para a linha de sinterização (REMUS et al., 2013).

Os ciclones são por vezes utilizados em instalações de sinterização como um dispositivo de limpeza de gás intermediário, a fim de proteger o equipamento. Para as partículas maiores que 10micra, uma eficiência de remoção de 90-95% pode ser alcançada através da utilização de um multiciclone, no entanto, devido ao tamanho relativamente pequeno de poeira no gás residual das plantas de sinterização, apenas cerca de 60 a 80% de eficiência de remoção é assumida. Purificadores tradicionais (por exemplo, lavadores Venturi) são ineficazes quando aplicado a gases residuais das plantas de sinterização devido ao pó muito fino e da alta concentração de hidrocarbonetos (REMUS et al., 2013).

A dificuldade se encontra em adaptar estas tecnologias nas plantas existentes, especificadas e implantadas no período de 1970 a 1980. A maioria não é projetada para emissões de material particulado abaixo de 100 mg/Nm<sup>3</sup>. Para reduzi-las é necessário grandes investimentos além da substituição de precipitadores por outros com tecnologias mais avançadas, inviável devido à inexistência de espaço, orçamento e da necessidade de alterações nos processos como: novas rotas de tubulação, exaustores e novas formas de queima de gases. Também de acordo com a atual legislação existente para o Brasil não se identifica situação de qualidade do ar que justifique tal alteração.

Na área onde o sinter produzido é triturado, empilhado, e arrefecido ocorrem relevantes emissões de poeira e o arrefecimento da sinterização é processado com uma enorme quantidade de ar de arrefecimento. Geralmente, os refrigeradores não são totalmente cobertos e ocorrem as emissões difusas. A partir das partes cobertas, as emissões podem ser recolhidas e tratadas. O pó é recolhido e filtrado utilizando filtros mangas ou precipitadores eletrostáticos e reciclagem dos principais gases residuais para a linha de sinterização. Muitas vezes, o gás residual do arrefecimento é tratado em conjunto com gás residual extraído da zona de descarga (REMUS et al., 2013).

As emissões de SO<sub>2</sub> podem ser reduzidas utilizando matérias-primas com um baixo teor de enxofre e através da redução no consumo de coque como combustível para a sinterização. Há outros fatores que influencia a quantidade de SO<sub>2</sub> emitida, um destes é o grau de absorção de enxofre na sinterização e isto depende da basicidade do sinter. Quando a basicidade é até 1, mais de 90% do enxofre é

volatilizado. Esta percentagem diminui quando a basicidade é acima de 1,5. Em uma basicidade de 2,80, 90% do enxofre é libertado. Isto contribuiu para a diminuição das emissões de  $\text{SO}_2$ , mas apenas ligeiramente. A distribuição de tamanho de grão do coque tem uma influência significativa sobre as emissões de  $\text{SO}_2$ . O uso do coque mais grosseiro em vez de tamanhos de grãos normais pode reduzir as emissões de  $\text{SO}_2$  consideravelmente. Por outro lado, a utilização de coque mais grosseiro pode reduzir a produtividade e aumentar o consumo de combustível, que elimina o efeito positivo sobre as emissões de  $\text{SO}_2$  (REMUS et al., 2013). A dessulfurização úmida é uma alternativa que possui uma excelente eficiência, por volta de 90%, porém possui alto custo, atualmente só é aplicada em plantas na Alemanha e no Japão. Para a redução de  $\text{NO}_x$  podem ser aplicados sistema de desnitrificação como a redução catalítica seletiva com amônia, encontrados somente no Japão (SANTOS, 2010).

#### 11.4.3 Alto Forno

O alto-forno é o processo mais importante para a produção de ferro-gusa. Um alto forno é um sistema fechado em que materiais que contêm ferro (nódulo de minério de ferro de sinterização), aditivos (formadores de escória, tais como a pedra calcária) e agentes redutores (ou seja, coque) são alimentados continuamente a partir do topo do forno através de um sistema que impede a fuga do gás de alto forno (REMUS et al., 2013).

O alto-forno é um reator cilíndrico vertical que trabalha contracorrente, ou seja, a carga a ser reduzida carbotermicamente entra pelo topo e os gases redutores sobem da base para o alto do forno, em regime permanente. Para este processo acontecer o alto-forno precisa de alguns equipamentos secundários:

- Os regeneradores que têm como objetivo readquirir o calor latente dos gases que saem pelo topo aquecendo o ar para ser injetado no próprio alto-forno;
- Sistema de limpeza de gases para evitar o entupimento das tubulações e regeneradores em face de elevada quantidade de particulados nos gases.

É um equipamento que recebe sinter de minério de ferro, coque e ar aquecido produzindo o gusa (sistema líquido que contém essencialmente ferro e carbono em

solução, a uma temperatura perto de 1.500°C); escória (sistema oxidado líquido que contém os minerais de ganga do minério de ferro) e o “GAF” (Gás de Alto Forno - gás que sai pelo topo do alto forno) (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010).

O ferro gusa pode ser classificado através da matéria prima que foi empregada, além dos constituintes. É dividido em gusa para aciaria, gusa para fundição e gusa para ligas. Na aciaria o gusa é derivado da própria usina (MACHADO, 2006). O gás que sai do alto forno é composto também por pequenas partículas (poeiras de diâmetro variando entre 15 a 35  $\mu\text{m}$ ) que de acordo com as normas ambientais não é permitido o seu lançamento na atmosfera, portanto o material é submetido a um sistema de controle ambiental que separa todas as partículas sólidas, formando uma lama que é aplicada na sinterização. O GAF contém entre 21 a 25% de CO, 18 a 22% de CO<sub>2</sub>, 2 a 5% de H<sub>2</sub> e possui de 700 a 800 kcal/Nm<sup>3</sup> de poder calorífico possibilitando a recuperação para ser utilizado como combustível. A composição se altera com a matéria prima que é utilizada na siderurgia, porém, é composto aproximadamente por 25 a 40% de Ferro; 40 a 45% de C; 5 a 7% de SiO<sub>2</sub> (Dióxido de Silício) e 2 a 4% de CaO (Óxido de Cálcio) (MACHADO, 2006).

O Alto Forno e a unidade de coqueria são as responsáveis pela emissão da maior parte da poluição resultante da transformação do minério de ferro em aço nas empresas siderúrgicas que operam com utilização das Aciarias LD.

Nos altos fornos são processadas diversas reações entre os elementos de carga como minério de ferro granulado ou em forma de sinter e pelotas, fundentes e redutores que resultam na remoção do oxigênio dos óxidos de ferro e fusão do ferro impuro obtido, na formação e fusão da escória e a geração de gases a partir da injeção de ar quente pelas ventaneiras do forno e subseqüentes reações de redução dos óxidos de ferro (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010).

O ferro-gusa é adquirido a partir de seus óxidos pelo procedimento de fusão redutora que consiste da mistura do óxido de ferro, coque, fundente e injeção de ar. A redução dos óxidos de ferro se processa a medida que o minério, o agente redutor e os fundentes (calcário e dolomita) se arrastam contracorrente ao gás redutor (CO) que foi gerado por meio da reação do ar pré-aquecido, soprado pelas ventaneiras, com o combustível sólido (SANTOS, 2010). Um jato de ar quente, enriquecido com oxigênio e agentes redutores auxiliares são injetadas proporcionando uma contracorrente de gases redutores. O jato de ar reage com os agentes redutores para produzir principalmente o monóxido de carbono (CO), que por sua vez reduz

óxidos de ferro ao ferro metal. O ferro líquido é recolhido juntamente com a escória e ambos em uma base regular são transportados para a fábrica de aço e a escória é processada para produzir agregados, granulado ou pelotas para a construção de estradas e fabricação de cimento. O gás de alto forno é recolhido na parte superior da fornalha e é tratado e distribuído em torno da siderurgia para ser utilizado como um combustível para aquecimento ou para a produção de eletricidade (REMUS et al., 2013).

Vários agentes redutores estão disponíveis. Carbono ou hidrocarbonetos na forma de carvão granular ou pulverizado, óleo combustível, resíduos de petróleo, óleos usados, gorduras e emulsões, gorduras animais, eco-óleo, gás natural, gás de coqueria, gás de alto forno, resíduos plásticos e alcatrão de carvão estão geralmente disponíveis em quantidades suficientes a custos razoáveis, no entanto, a escolha entre vários agentes redutores não é determinado apenas pelo custo, porque sem a capacidade de carga do coque a operação do alto-forno não seria possível. No alto-forno, estes componentes se tornam cada vez mais reduzidos produzindo óxido de ferro (FeO), em seguida, uma forma parcialmente reduzida do ferro sólido. Finalmente, a carga de ferro derrete, as reações são concluídas e o metal quente líquido e escória são colocados na parte inferior. Os carvões redutores reagem para formar CO e CO<sub>2</sub>. Fundentes e aditivos são adicionados para baixar o ponto de fusão da ganga, melhorar a absorção de enxofre por escória, proporcionar o qualidade exigida do metal quente líquido e permitir o processamento da escória (REMUS et al., 2013).

Enquanto a carga do alto forno se move para baixo, a temperatura aumenta, facilitando, assim, as reações de redução de óxido e formação de escória (REMUS et al., 2013). Conforme os mesmo autores a carga sofre uma série de alterações de composição:

- a) O óxido de ferro da carga torna-se cada vez mais reduzida;
- b) O oxigênio a partir do minério de ferro reage com o coque ou com o monóxido de carbono formando assim o monóxido de carbono ou dióxido de carbono, o qual é recolhido no topo;
- c) É formada a escória, uma mistura complexa de silicatos de uma densidade mais baixa do que o ferro fundido;

- d) O coque serve principalmente como um agente de redução, mas também como um combustível, tal como o monóxido de carbono, dióxido de carbono ou carbono presente no metal quente;
- e) Qualquer hidrogênio presente também atua como um agente de redução por reação com o oxigênio para formar água.

De acordo com Remus e outros (2013) as principais operações são os seguintes:

- a) Preparação da carga: A produção de metal quente requer grandes quantidades de materiais a granel, como minério granulado, mistura de aglomerados de minério granulado e pelotas, ferro-sinter e auxiliares (REMUS et al., 2013).
- b) Carregamento e transporte de matérias-primas: A mistura de materiais que contêm ferro e aditivos são conhecidos coletivamente como carga. A carga e o coque são carregados pela parte superior do alto forno e entram na fornalha através de um sistema de carregamento selada que isola os gases do forno. Este sistema é necessário porque a pressão do alto-forno excede a pressão atmosférica (0,25-2,5 bar) (REMUS et al., 2013).
- c) Processamento de alto-forno: Em um alto-forno, a matéria-prima entra na parte superior, enquanto que os produtos (ferro fundido e escória) entram a partir do fundo. O gás de alto forno com poder calorífico residual é recolhido a partir do topo para o tratamento.
- d) Geração da Combustão: O calor fornecido para a combustão à operação do alto-forno é fornecida pelos regeneradores. Os regeneradores são instalações auxiliares utilizadas para gerar a combustão. A principal função é fornecer o oxigênio necessário para a gaseificação do coque, e, assim, produzir o gás que em contato com a carga para reduzir óxidos de ferro. Eles são aquecidos até que se encontre na temperatura correta (cerca de 1100-1500°C). O gás de combustão é então cortado e o ar frio é forçado através dos aquecedores em sentido oposto. O ar frio é aquecido pelos tijolos quentes e, assim, forma a combustão (900-1350°C). A duração de cada ciclo depende das condições individuais do local como fonte de energia, as características do sistema e medidas de conservação (REMUS et al., 2013).
- e) Injeção direta de agentes redutores: Os agentes redutores usados para processar os óxidos de ferro no alto-forno são o coque, carvão, petróleo e gás e outras fontes de hidrocarbonetos. São principalmente usados para produzir

o gás redutor e, assim, promover a redução dos óxidos de ferro para o ferro metálico, e em seguida, para a cementação de ferro. O agente redutor mais importante é o coque. Uma porção do coque no alto-forno pode ser substituída por carvão, óleo ou gás, que também é chamado de injeção direta. A utilização de substituição de coque por meio de injeção de carvão depende de fatores tais como a produtividade, as propriedades de coque, a qualidade do metal quente desejada e umidade do carvão. Deve salientar-se, no entanto, que uma certa quantidade de coque é ainda necessário no alto-forno para permitir a operação adequada do alto-forno (REMUS et al., 2013).

f) Fundição

g) Refrigeração e processamento de escória: A quantidade de escória produzida depende do conteúdo da ganga do alto-forno, a carga de ferro, a cinza de coque e de cinzas do material de injeção e a quantidade de fluxo necessária para obter a qualidade do metal quente necessária. Para que a escória de alto forno se torne aceitável para uso fora da siderurgia, é necessário tomar medidas adicionais para garantir a química da escória e/ou propriedades físicas necessárias. A escória pode ser utilizada de diversas formas, incluindo material para construção de estradas. Os processos de arrefecimento podem gerar sulfureto de hidrogênio, o que pode resultar odor. A granulação por via aérea é atualmente utilizado, a escória é dispersa e as partículas são arrefecidas durante a sua passagem através do ar circundante. Muitas vezes, uma pulverização de água adicional é aplicada a fim de conseguir um arrefecimento mais rápido. Devido a algumas desvantagens, a granulação de ar é operada em poucas plantas industriais (REMUS et al., 2013).

As emissões atmosféricas relacionadas com a produção de ferro-gusa envolvem as etapas: carregamento de insumos, geração da combustão, injeção dos agentes redutores, vazamento do ferro-gusa e da escória e processamento da escória (SANTOS, 2010).

O carvão pulverizado para injeção direta é normalmente armazenado em depósitos e silos o que pode gerar emissão para o ar através de deslocamentos durante o carregamento. Por esta razão, o ar contendo pó é geralmente capturado e subsequentemente desempoeirado (REMUS et al., 2013). Algumas emissões de gases, poeiras e gás de alto forno podem surgir durante o carregamento, mas os principais são o monóxido de carbono (CO) e a poeira. A evacuação do gás na parte

superior do alto forno e a ligação ao sistema de tratamento do mesmo pode ser usada para controlar as emissões nesta fase do processo (OLIVEIRA, 2014).

Antes de o ar ser injetado no alto-forno ele é aquecido em uma região chamada de “*hot stoves*” ou regeneradores. Os regeneradores são alimentados com gás e nesta fase do processo podem ocorrer liberações de  $\text{SO}_2$ , material particulado,  $\text{NO}_2$  e  $\text{CO}$ . Devido às elevadas temperaturas (cerca de  $1100^\circ\text{C}$ ) atingidas nos regeneradores de calor, esta região do alto-forno é a principal fonte de emissões de  $\text{NO}_2$ , também é culpada por uma vasta liberação do gás  $\text{CO}$  devido às várias condições de queima e características do projeto que incluem câmaras de combustão interna (REMUS et al., 2013).

Na região do alto forno onde é processado o vazamento tanto do ferro-gusa quanto da escória incluem liberações de material particulado,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$  e  $\text{H}_2\text{S}$ . Estas emissões decorrem principalmente de contato entre o metal quente, a escória e o oxigênio. No processo de granulação da escória as emissões de ácido sulfídrico dependem do teor de enxofre contido na escória e da tecnologia que é utilizada no processo (SANTOS, 2010). A reação de água com escória fundida, em particular com compostos de enxofre gera tanto as emissões  $\text{SO}_2$  e  $\text{H}_2\text{S}$ . Estas emissões causam problemas relacionados ao odor e corrosão e variam de acordo com a técnica de processamento de escória utilizada. As emissões podem variar quanto ao tipo de plantas e em relação ao ciclo de tratamento de escória. Se a escória não é exposta à água e é refrigerada a ar, baixas emissões de  $\text{SO}_2$  podem ocorrer. As emissões dependem do tipo de sistema de granulação, taxa de fluxo de escória, proporção escória/água e da temperatura da água de granulação. Uma vez que a solubilidade do  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{SO}_2$  diminui com o aumento da temperatura da água, em sistemas de granulação de água fria, mais baixas as emissões de compostos de enxofre gasosos são observadas (REMUS et al., 2013).

O gás de alto forno contém cerca de 20-28% de  $\text{CO}$ , 1-5% de  $\text{H}_2$ , compostos inertes (50-55 % de  $\text{N}_2$ , 17-25% de  $\text{CO}_2$ ), alguns compostos de enxofre e cianeto e grandes quantidades de poeira provenientes da carga. A quantidade de cianeto pode ser especialmente elevada durante as operações de purga de alto-forno, porém isto só ocorre ocasionalmente e em seguida as adições são feitas ao sistema para minimizar a formação de cianeto. Após a limpeza, o gás é frequentemente utilizado como um combustível e para isso é enriquecido com o gás de coqueria ou gás natural, que têm valores de aquecimento mais elevados a fim de atender às



especificações de qualidade e ser reutilizado para vários processos de queima, no alto forno ou para o forno de coque. O gás também pode ser utilizado sem ser enriquecido se forem utilizados queimadores modernos ou pré-aquecimento do ar de combustão e se as precauções de segurança apropriadas forem tomadas. O tratamento do gás geralmente consiste de pré-tratamento para a remoção de pó grosseiro e lavagem úmida subsequentemente para a remoção do pó fino (e, assim, metais pesados), SO<sub>2</sub> e de compostos de cianeto. Em algumas plantas é aplicada uma precipitação eletrostática. A quantidade de poeira é muito diferente de um local para outro e também depende das condições do processo. Após a limpeza, o gás contém normalmente menos de 10 mg/Nm<sup>3</sup> de pó que é emitido no local da combustão (REMUS et al., 2013).

O Quadro 20 a seguir mostra os poluentes gerados na unidade de produção do alto forno a Coque, as fontes de emissão e também os equipamentos de controle considerados adequados para o tratamento destes poluentes.

**Quadro 20:** Poluentes e sistema de controle do alto forno.

Unidade de Produção	Fontes de emissão	Poluentes	Sistema de Controle Ambiental
Alto Forno a Coque	Casa de Estocagem	MP	Filtros de Manga
	Casa de corrida	MP	Filtros de Manga

Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010.

De acordo com a CONAMA 382, sistema de despoeiramento da casa de estocagem do alto forno a coque é um sistema destinado à captação e tratamento para remoção do material particulado gerado nos processos de transferência, carregamento e descarregamento dos silos de matérias-primas. O sistema de despoeiramento da casa ou ala de corrida dos altos fornos a coque ou a carvão vegetal é destinado à captação e tratamento para remoção do material particulado gerado durante o vazamento de gusa dos fornos e carregamento dos carros.

As tecnologias de controle normalmente utilizadas para controle das emissões de material particulado em altos-fornos são filtros de mangas. A justificativa para o limite de emissão de 50 mg/Nm<sup>3</sup>, é de que os antigos filtros de mangas possuem menor desenvolvimento tecnológico, como por exemplo, filtros com sistema de limpeza por shaker (sistema com remoção automática da poeira retida nos elementos filtrantes, através da agitação dos filtros de tecido). Da mesma forma, a questão da distribuição interna dos gases e o dimensionamento dos elementos

filtrantes limitam tanto a vida útil como o desempenho do equipamento. A partir das melhorias realizadas nos materiais dos elementos dos filtros houve um aumento na garantia e na vida útil além de um menor desgaste por abrasão e maior permeabilidade com mesma eficiência, mas sozinhos não são capazes de diminuir as concentrações de projeto. Para atender limites de emissão da Resolução CONAMA 382, seriam necessários grandes complementos de área filtrante ou até mesmo a troca completa dos equipamentos, porém a indisponibilidade de espaço e os problemas de balanceamento de vazão seriam limitantes para o projeto (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010).

Ao sair do alto-forno, o gás de alto-forno contém poeira, cianetos (HCN), amônia (NH<sub>3</sub>), compostos de enxofre, 20-28% de monóxido de carbono (CO) e de 1-5% de hidrogênio. O gás de alto forno é geralmente limpo em três etapas: a limpeza grosseira preliminar; arrefecimento, que faz parte da operação de limpeza e limpeza fina. A limpeza preliminar remove partículas grossas, o que facilita a limpeza fina subsequente. A limpeza grossa é feita usando coletores de poeira. A velocidade do gás diminui à medida que desce através da conduta e as partículas de poeira no gás são depositadas na parte inferior do coletor de pó sob a influência da gravidade. O gás então deixa a poeira e viaja através de um tubo para o equipamento que realiza a limpeza fina. Na segunda etapa, a poeira - incluindo o óxido de zinco (ZnO), carbono (C), cianeto e amônia são removidos pela lavagem úmida. Os purificadores são equipamentos como lavadores Venturi e em alguns casos, a precipitação eletrostática úmida é aplicada. Deve notar-se que os lavadores geram um fluxo de águas residuais contaminadas. As matérias-primas com um maior teor de sal necessitam de maiores fluxos, a fim de limpar o gás. O fluxo de água gerado contém sólidos suspensos como, por exemplo, carbono, metais pesados (Zn, Pb), cianeto compostos e amônia. Normalmente, a água residual é tratada por meio de precipitação dos metais pesados e do resíduo sólido (lodo) gerado. Esta lama de alto forno contém concentrações relativamente elevadas de zinco (Zn) e chumbo (Pb). Isto dificulta a reciclagem das lamas no processo de produção (REMUS et al., 2013).

O pó que sai do alto forno passa pelo sistema de limpeza por lavadores do tipo Venturi ou então por precipitadores eletrostáticos. Na área do “hot stoves” onde ocorrem liberações de SO<sub>2</sub>, material particulado, CO e principalmente NO<sub>2</sub> devem se utilizados queimadores com melhores tecnologias. Na zona de carregamento onde a

maior liberação é de materiais particulados o tratamento é realizado através de filtros. Na área do “Cast House” os equipamentos para controle das emissões atmosféricas são filtros e precipitadores eletrostáticos e atingem menos do que 10mg de pó/Nm<sup>3</sup> (REMUS et al., 2013; SANTOS, 2010).

Durante o processamento de escória a fim de reduzir as emissões, algumas plantas são operadas com a condensação de vapores. O condensado e a água da escória de desidratação são distribuídos após arrefecimento onde a água doce é utilizada. A reutilização de água não é operada quando a água do mar é utilizada para a granulação de escória e condensação de vapores. A água utilizada na granulação e no processo de pelotização, em grande parte pode ser recolhida e reutilizada. Estes sistemas podem ser operados de forma a gerar quantidades muito pequenas de águas residuais. O vapor gerado durante esse processo contém poeira, SO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S, que é normalmente emitido para a atmosfera (REMUS et al., 2013).

Utilizar minérios de alta qualidade tem como ideia principal utilizar preferencialmente sinter ou pelotas como matéria-prima com um alto teor de ferro e baixo teor de ganga. O uso de minérios de alta qualidade aumenta a produtividade e a eficiência energética do processo de fabricação de ferro. O consumo de agentes redutores é inferior, o que leva a emissões reduzidas de CO<sub>2</sub>. Além disso, o volume da escória é reduzido para cerca de 150-200 kg/t de metal que também reduz as emissões do processamento de escória (REMUS et al., 2013).

Também pode ser aplicada a técnica de injeção direta de agentes redutores que significa substituir parte do coque com outra fonte de hidrocarbonetos injetados na fornalha. Ao reduzir a necessidade de coque, a poluição e a demanda de energia reduzem. A injeção de hidrocarbonetos exige uma injeção adicional de oxigênio, a fim de alcançar as temperaturas desejadas no interior do forno. Deve notar-se que esta medida está integrada no processo e é relacionada com a operação do alto-forno em si, a estabilidade resultante, e o metal e a qualidade da escória (REMUS et al., 2013).

#### 11.4.4 Aciaria

A Aciaria é o setor da usina siderúrgica onde o gusa é refinado obtendo-se o aço. O processo mais utilizado é a conversão do gusa pelo processo a oxigênio,

conhecido como processo LD no qual o gusa é oxidado (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010). Esta dissertação trata somente do processo e das emissões geradas pela aciaria LD.

Os principais elementos convertidos em óxidos são carbono, silício, manganês e fósforo. O teor de enxofre é reduzido, principalmente, durante o pré-tratamento do metal quente. Os objetivos do presente processo de oxidação são descritos a seguir (REMUS et al., 2013):

- Reduzir o teor de carbono a um nível especificado (de cerca de 4-5% para tipicamente 0,01-0,4%);
- Ajustar o conteúdo de elementos estrangeiros desejáveis;
- Remover as impurezas indesejáveis na maior extensão possível.

De acordo com REMUS e outros (2013) a produção de aço por meio das aciarias é um processo descontínuo que envolve os seguintes passos:

- transferência do alto-forno e descarga;
- pré-tratamento de metal quente;
- transferência e pesagem;
- oxidação;
- tratamento metalúrgico secundário;
- moldagem.

O objetivo do pré-tratamento consiste em reduzir o teor de enxofre, fósforo e silício no metal quente. Com a melhoria da metalurgia do alto-forno e uma redução na quantidade de enxofre no coque e outros agentes de redução resultaram em níveis de enxofre inferiores. Hoje em dia, as concentrações de enxofre especificado para o carregamento no conversor são normalmente ajustadas numa instalação de dessulfuração de metal quente, localizado na aciaria. Os agentes de dessulfuração são principalmente carboneto de cálcio, cal, magnésio, óxido de cálcio e raramente materiais que contêm carbonato de sódio. O método de dessulfuração de metal quente mais amplamente utilizado na Europa é com base em carboneto de cálcio para eliminação de resíduos e para uma melhor gestão da qualidade do ar. A utilização de uma mistura de carboneto de cálcio, de magnésio e de cal permite que o metal quente seja dessulfurado para níveis finais, independentemente do teor de enxofre inicial. As desvantagens residem na exaustão relativamente baixa do agente de dessulfuração e a necessidade de intensa mistura do agente de dessulfuração

com o metal quente. Uma vantagem específica é que o processo dá origem a uma escória quebradiça que pode ser facilmente removida (REMUS et al., 2013).

A fim de cumprir os objetivos, as impurezas indesejáveis são oxidadas com a remoção subsequente da escória ou são removidas com o efluente gasoso. A energia necessária para elevar a temperatura e derreter os materiais de entrada é fornecida por meio da reação de oxidação exotérmica, de modo que não é necessária nenhuma entrada de calor adicional (REMUS et al., 2013).

A operação deve ser iniciada com o conversor LD inclinado para que a sucata possa ser carregada por uma calha ou por um vagão basculador e em seguida entra o gusa líquido. Logo após, coloca-se na posição vertical e se introduz a lança de oxigênio até uma altura pré-determinada. A pressão de oxigênio varia de 10,5 a 12,6 atmosferas. Após a ignição, faz-se o carregamento da cal através do silo montado sobre o forno. O tempo de sopro varia de 17 a 18 minutos e o tempo total se situa em torno de 30 minutos. O rendimento em aço produzido, em relação aos materiais carregados é da ordem de 90%. A lança é então retirada e o conversor movido para a horizontal. Mede-se a temperatura do banho com um pirômetro de imersão e colhe-se uma amostra para análise, que é feita entre 3 a 5 minutos. Para vazar a escória, o conversor é virado completamente para o lado oposto sobre o pote de escória e preparado para a corrida seguinte (MACHADO, 2006).

A quantidade de oxigênio consumida depende da composição do metal quente. Quando a qualidade do aço satisfaz as exigências, o sopro de oxigênio é interrompido e o aço bruto é aproveitado a partir do conversor. O aço fundido é então transportado, depois da metalurgia secundária, à máquina de lingotamento. Sucata, minério de ferro ou outros agentes de refrigeração são adicionados para arrefecer a reação e manter a temperatura a cerca de 1600 -1700°C. Durante o processo de fabricação de aço a escória é formada e após o arrefecimento esta é triturada e peneirada. As propriedades técnicas e químicas da escória tornam-na adequada para aplicações em engenharia civil e hidráulica, bem como no setor agrícola e às vezes a escória é despejada em aterros sanitários (REMUS et al., 2013).

O processo de oxidação no conversor é geralmente seguido por pós-tratamento, incluindo um número de diversas operações metalúrgicas denominado metalurgia secundária. Este tratamento foi desenvolvido em resposta às exigências de qualidade cada vez maiores e levou a aumentos substanciais de produtividade.

Os principais objetivos da metalurgia secundária são: a) mistura e homogeneização; b) ajuste de composições químicas para análises de tolerâncias; c) ajuste de temperatura em tempo para o processo de fundição a jusante; d) desoxidação; e) remoção de gases indesejáveis, tais como hidrogênio e nitrogênio e f) melhoria da pureza do óxido separando inclusões não metálicas. Uma vez que a qualidade de aço final tenha sido alcançada, o aço é transportado para as máquinas de fundição. Alguns anos atrás, o método padrão era derramar o aço fundido em moldes permanentes por um processo descontínuo. Hoje, o método de escolha é a de lingotamento contínuo, em que o aço é moldado de forma contínua (REMUS et al., 2013).

As emissões estão presentes durante a transferência do gusa-líquido para dentro do conversor, do aço e da escória vazados para fora do conversor e devido a oxidação do gusa que acarreta a liberação de gases e material particulado. Nos processos de oxidação existe a presença de monóxido e dióxido de carbono, além de nitrogênio e hidrogênio. Enquanto que na transferência de materiais ocorre a liberação de material particulado (OLIVEIRA, 2014).

A fase de sopro de oxigênio e de extração do gás de aciaria (GAC) resulta nas emissões primárias, já as emissões secundárias se originam no pré-tratamento do ferro-gusa, carregamento, vazamento, retirada da escória e metalurgia secundária (SANTOS, 2010).

Durante a sopragem do oxigênio, o gás é libertado a partir do conversor. Este gás contém monóxido de carbono (CO) e grandes quantidades de pó (principalmente constituídos por óxidos de metais, incluindo metais pesados), relativamente pequenas quantidades de óxidos de enxofre (SO<sub>2</sub>) e os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) (REMUS et al., 2013).

Dois sistemas de combustão são adotados no conversor LD:

- 1- Sistema com combustão reprimida
- 2- Sistema com combustão completa;

Na maioria das plantas de produção de aço são tomadas medidas para recuperar o gás de conversor e usá-lo como fonte de energia. Quando a combustão reprimida é aplicada, ocorre à interrupção da combustão do monóxido de carbono no duto de gás através de uma cortina retrátil que resfria a água que é levada até a abertura do conversor e o monóxido de carbono pode ser recuperado. A ausência de nitrogênio significa velocidades de sopro superior de oxigênio e assim o tempo de

processo é reduzido (REMUS et al, 2013; SANTOS, 2010). O gás de aciaria é então recolhido, limpo e tamponado para posterior utilização como combustível. O GAC possui a seguinte composição: 72,5% de CO, 16,2% de CO<sub>2</sub>, 8,0% de N<sub>2</sub> + Ar e 3,3% de H<sub>2</sub>. No sistema com combustão completa, o gás do conversor é queimado por completo devido à entrada de ar no duto e o calor pode assim ser recuperado. Uma abertura entre a fornalha e o conversor primário (ou gás) permite a entrada de ar ambiente e, portanto, permite uma combustão parcial ou total do gás de conversor. Neste caso, o gás do processo contém aproximadamente 15-20 kg de poeira e aproximadamente 7 kg de monóxido de carbono por tonelada de aço líquido. A energia é recuperada, utilizando o calor sensível em uma caldeira de aquecimento dos resíduos (REMUS et al., 2013; SANTOS, 2010).

O tipo escolhido de recuperação influencia as emissões. O gás do conversor de aciaria deve ser classificado como um gás pobre em termos do seu valor calorífico, mas pertence ao grupo dos gases ricos quando considerada suas propriedades de combustão. O processo de produção de aço de oxigênio também gera quantidades consideráveis de poeiras durante o carregamento de sucata e ferro-gusa, sopro, e durante o processamento da escória e aço líquido (REMUS et al., 2013).

As principais emissões são as de material particulado e óxido de ferro (FeO). Os pós e lamas da aciaria são gerados durante a limpeza do gás. A quantidade de zinco que vem sendo encontrada nesses subprodutos vem aumentando devido ao aumento da reciclagem do aço galvanizado. As seguintes etapas são responsáveis por uma grande liberação de material particulado: área do conversor LD, pré-tratamento do ferro-gusa, carregamento, sopro de oxigênio, vazamento do aço e metalurgia secundária. Durante o processo de aciaria, também ocorrem liberações de SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> apesar de pouco significativas. A qualidade de sucata utilizada é um fator a ser considerado, ao se tratar dos HPA (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos), pois é neste insumo que esse hidrocarboneto é encontrado.

O Quadro 21 a seguir mostra alguns dos principais poluentes gerados na unidade de produção da aciaria, as fontes de emissão e também os equipamentos de controle considerados adequados para o tratamento destes poluentes.

**Quadro 21:** Poluentes e sistema de controle da aciaria.

Unidade de Produção	Fontes de Emissão	Poluentes	Sistema de Controle Ambiental
Aciaria LD	Conversor: Sistema de Despoeiramento Primário	MP	Lavador de Gases
	Conversor: Sistema de Despoeiramento Secundário	MP	Filtros de Manga

Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010.

A CONAMA 382 define sistema de despoeiramento primário da aciaria LD como um sistema destinado à exaustão e tratamento dos gases gerados durante o sopro no conversor LD e sistema de despoeiramento secundário da aciaria LD como um sistema destinado à captação e tratamento para remoção do material particulado gerado nas operações de basculamento e pesagem do gusa, retirada de escória, carregamento de sucata e gusa no convertedor e vazamento do aço.

O tratamento utilizado na área do conversor LD é realizado em sua maioria com precipitadores eletrostáticos e lavadores úmidos. Para o processo de pré-tratamento do ferro-gusa, no carregamento, durante o sopro de oxigênio, vazamento do aço e também na metalurgia secundária são aplicados sistemas de alta eficiência de extração e sistemas de despoeiramento como filtros, lavadores e precipitadores eletrostáticos (SANTOS, 2010).

De acordo com REMUS e outros (2013), o despoeiramento primário é geralmente realizada por lavadores, precipitadores secos ou molhados. Antes do lavador ou precipitador, as partículas grosseiras são geralmente removidas por meio de um deflector. Os benefícios ambientais alcançados para cada uma das técnicas de despoeiramento primários são dadas a seguir:

- Despoeiramento seco e combustão suprimida: através da aplicação de um precipitador eletrostático, as concentrações de pó residual no gás pode ser reduzida para perto de 10 mg/Nm<sup>3</sup>. Antes de o gás ser tratado o pó grosso é removido em uma zona de deflexão e o gás é condicionado para um refrigerador de evaporação.

- Despoeiramento a seco e de combustão aberta: as emissões de partículas dos gases podem ser reduzidas para 20-50mg/Nm<sup>3</sup>

- Lavagem e combustão suprimida: É aplicado sistema úmido em primeiro lugar para que as partículas grosseiras sejam removidas num separador úmido, em seguida, as partículas finas são removidas por lavadores. As concentração de poeiras nos gases após lavagem é geralmente entre 15 e 50 mg/Nm<sup>3</sup>.



- Lavagem e combustão aberta: quando o gás é queimado e limpo por meio de lavadores, o teor de pó residual é entre 10 e 50mg/Nm<sup>3</sup>.

As operações de carregamento e drenagem são as operações que mais contribuem para essas emissões de poeira. Outra explicação para a ampla gama de dispersão pode ser encontrada no fato de que as emissões secundárias são difíceis de delimitar com qualquer grau de certeza e as medidas de recuperação empregadas muitas vezes não são conhecidas. Logo após o pré-tratamento do metal quente o gás é posteriormente limpo por meio de lavadores ou quaisquer outros sistemas de despoeiramento com a mesma eficiência de remoção, tais como filtros de mangas ou precipitadores eletrostáticos. Em alguns casos, o carboneto de cálcio tem sido utilizado no processo de dessulfuração onde a água tem sido usada para fins de arrefecimento, a fim de evitar emissões de partículas, porém graves problemas de odor foram observados. A razão para isto foi à formação de H<sub>2</sub>S e sulfuretos orgânicos que são provavelmente formados por enxofre e carbono residual. Através da utilização de óxido de cálcio em vez de carboneto de cálcio, a escória pode ser arrefecida no ar com significativamente menos problemas de odor (REMUS et al., 2013).

A emissão de poeira ocorre durante todos os processos mencionados. Durante o carregamento ou operações de drenagem, o conversor é inclinado. O sistema de despoeiramento ou ventilação secundária, muitas vezes é instalado para diminuir as emissões de poeira que ocorrem. O sistema de ventilação secundária consiste geralmente de uma coifa logo acima do conversor numa posição inclinada e uma casota em torno do restante 3/4 do conversor. Durante o sopro, o sistema secundário extrai a maior parte das emissões que não são capturados pelo sistema de ventilação primária. O tratamento subsequente dos gases evacuados é geralmente realizado por meio de um filtro de saco ou de um precipitador eletrostático. As emissões difusas ocorrem a partir de todos os processos, sempre que as emissões não são totalmente capturadas. As emissões difusas devem sempre ser evitadas. As técnicas gerais para prevenir ou controlar emissões secundárias difusas são descritas a seguir (REMUS et al., 2013).

1. Captação e utilização de dispositivos de despoeiramento para cada subprocesso na aciaria;

2. A gestão correta da instalação de dessulfuração para evitar emissões atmosféricas;

3. Invólucro total da instalação de dessulfuração;
4. Controle através de computadores e otimização do processo de produção de aço;
5. Fechamento de portas a partir do quarto ao redor do conversor durante o sopro de oxigênio;
6. Observação contínua da câmera do telhado para emissões;
7. A utilização de um sistema de extração de telhado.

#### 11.5 Plano de monitoramento

De acordo com o art. 6º da Resolução CONAMA 237/97, o EIA deve conter obrigatoriamente o programa de acompanhamento e monitoramento o qual abrange os impactos positivos e negativos, indicando os padrões de qualidade a serem adotados como parâmetros.

Por se tratar de uma indústria siderúrgica fictícia não é possível realizar o plano de monitoramento de forma detalhada e especificando todas as chaminés e processos monitorados.

Portanto, levando em considerações o parágrafo acima, propõe-se um programa de monitoramento, que tem como objetivo monitorar todas as chaminés dos processos siderúrgicos que emitem algum tipo de poluente atmosféricos, levando em consideração as resoluções CONAMA 382 e 436, com período mínimo entre as amostragens de no máximo 6 meses.

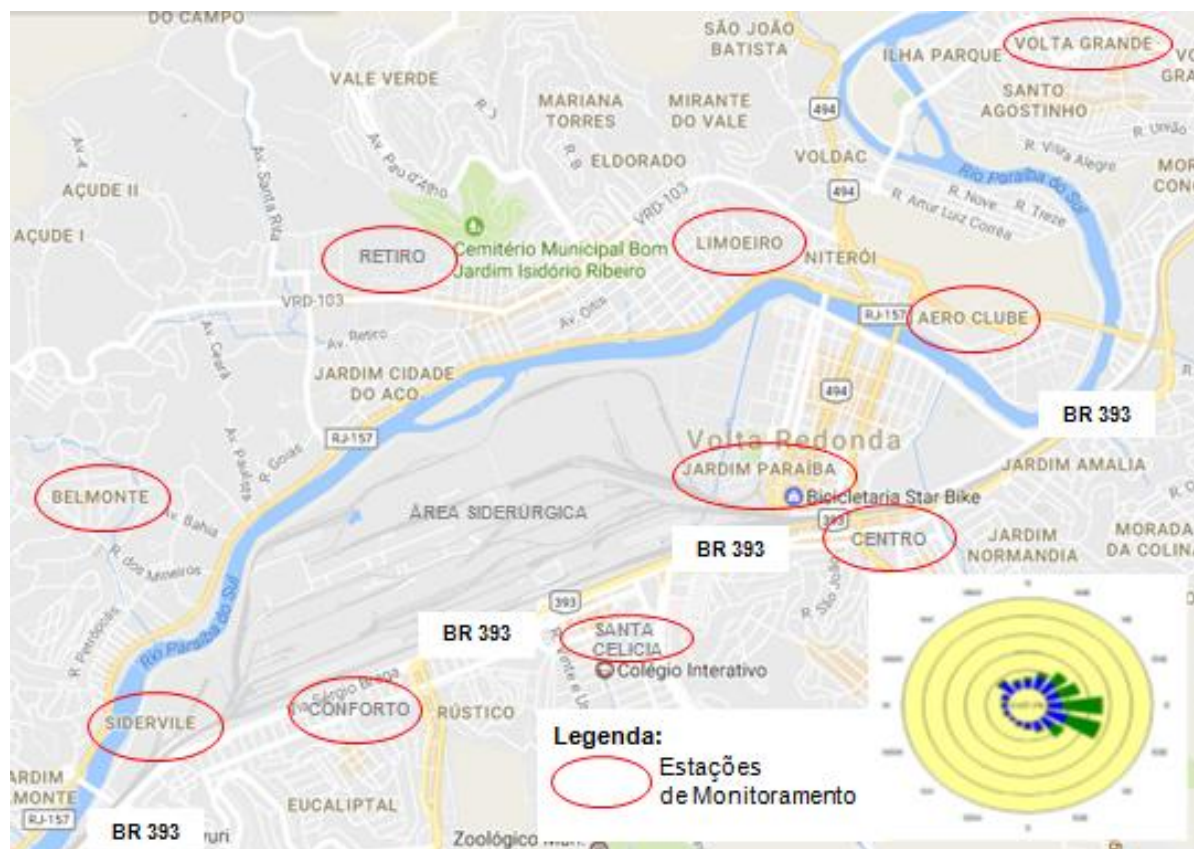
## **12 Avaliação e comparação do monitoramento da qualidade do ar no município de Volta Redonda (com as legislações e sua possível correlação com as emissões siderúrgicas).**

Primeiramente são apresentados os resultados do monitoramento da qualidade ao ar para a cidade de Volta Redonda durante os anos de 2010 a 2014 para os padrões, Particulados Totais em Suspensão (PTS), Partículas Inaláveis (MP<sub>10</sub>), Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>), Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>), Monóxido de Carbono (CO) e Ozônio (O<sub>3</sub>) gerados nas estações de monitoramento existentes na cidade e disponibilizados nos relatórios do INEA. Seus resultados foram comparados em tabelas e gráficos com os limites dos poluentes estabelecidos nas legislações

brasileira, europeia e norte-americana, no sentido de encontrar possíveis ultrapassagens e avaliar possíveis medidas mitigadoras da própria indústria. Adicionalmente, foram analisadas e comparadas as legislações citadas, buscando identificar diferenças entre os poluentes monitorados e os limites legais estabelecidos nos países considerados.

Por fim, foram observadas a localização das estações de monitoramento e da siderúrgica, a direção do vento e as concentrações dos poluentes, de forma a correlacionar as ultrapassagens dos limites dos poluentes à influência da atividade de siderurgia.

Para que isto se torne possível, é fundamental entender e estudar a meteorologia presente naquela atmosfera e sua preponderância. Nesse sentido, analisando a rosa dos ventos, foi observado que a direção predominante ocorre no sentido noroeste. Também, na mesma análise, foram classificadas as estações de monitoramento em relação à dispersão dos poluentes pelo vento como à montante, ou seja, antes da interferência industrial, e à jusante, após interferência da siderurgia. Nesse caso, as estações consideradas à montante são as estações Centro, Aeroclub, Volta Grande, Santa Cecília e Jardim Paraíba. As estações consideradas à jusante são as estações Conforto, Belmonte, Siderville, Retiro e Limoeiro conforme apresentado na Figura 12. Para melhor entendimento dos gráficos as estações a montante estão com preenchimento sólido, e as estações consideradas a jusante estão com preenchimento hachurado.



**Figura 12:** Rosa dos ventos e mapa de localização das estações de monitoramento.

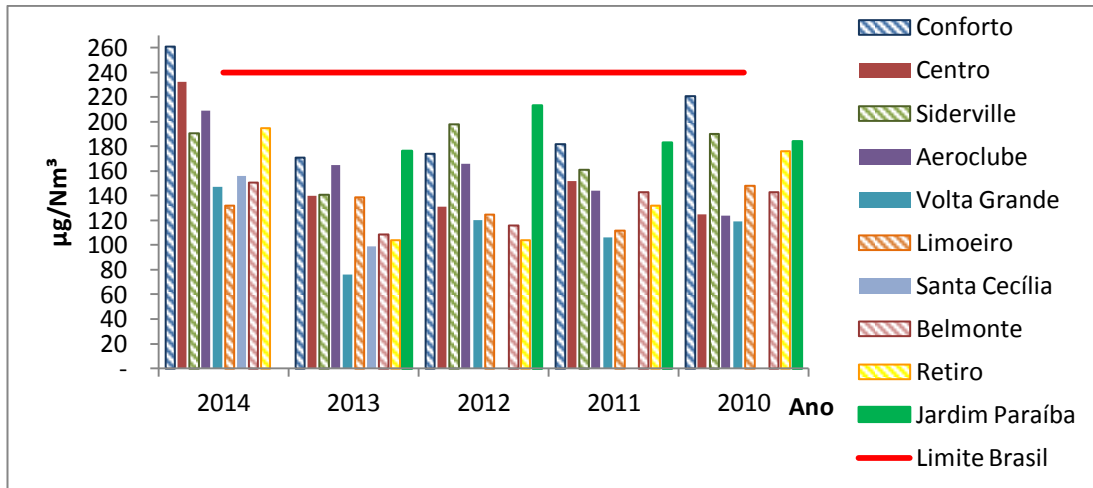
Fonte: Própria.

## 12.1 Resultados

### 12.2 Avaliação para o monitoramento das Partículas Totais em Suspensão (PTS)

#### 12.2.1 Exposição de curto período

As comparações entre as máximas concentrações médias diárias de PTS com o padrão estabelecido pela legislação para os anos de 2010 a 2014 são apresentadas na Figura 13. Dentre os anos estudados, os resultados gerados pelo monitoramento evidenciam que o nível de concentração de PTS para curto período aumentou ao longo dos anos, observando-se inclusive uma ultrapassagem frente ao limite no ano de 2014 na estação do bairro Conforto. É importante observar também que as estações do Centro e do Aero clube também apresentaram resultados próximos ao limite, demonstrando ser 2014 o pior ano, dentre os avaliados.

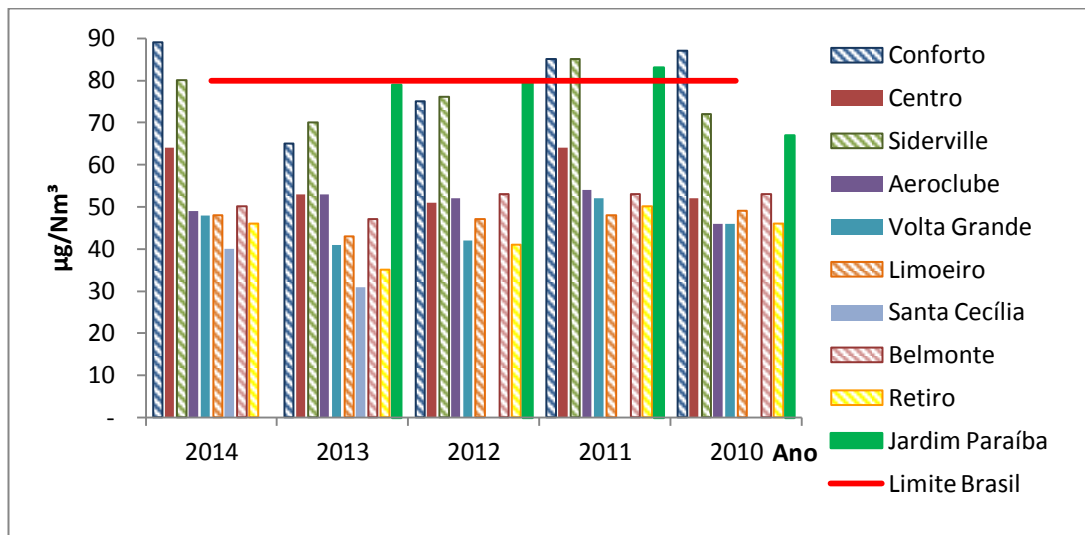


**Figura 13:** Gráfico de máximas concentrações médias diárias do poluente Partículas Totais em Suspensão (PTS).

Fonte: Própria.

### 12.2.2 Exposição de longo período

As comparações entre as concentrações médias anuais de PTS com o padrão estabelecido pela legislação são apresentadas na Figura 14. Os resultados obtidos demonstraram violação ao limite no ano de 2014 na estação do Conforto; no ano de 2011, nas estações do Conforto, Siderville e Jardim Paraíba, e no ano de 2010, somente na estação do Conforto.



**Figura 14:** Gráfico de concentrações médias anuais do poluente Partículas Totais em Suspensão (PTS).

Fonte: Própria.

Dentre as estações que estão à jusante da siderurgia, a estação Conforto apresentou ultrapassagens do limite da legislação para diversos anos, enquanto a estação Siderville apresentou unicamente no ano de 2011. Essas estações, por estarem na direção predominante do vento, tem maior possibilidade de sofrerem influência da poluição advinda da siderúrgica. Adicionalmente, observa-se que essas estações encontram-se próximas a uma rodovia de tráfego intenso, a BR 393.

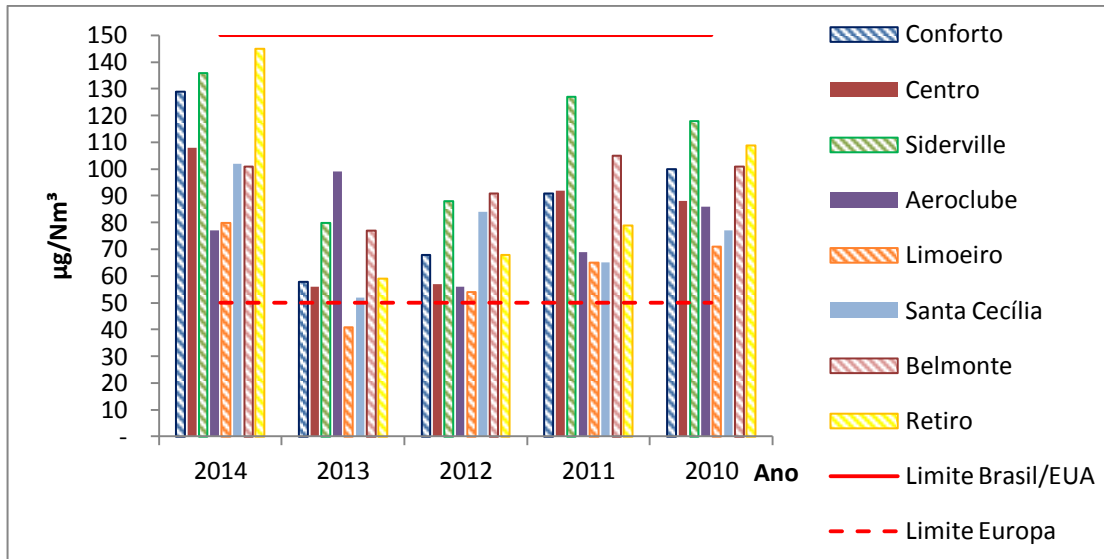
A estação Jardim Paraíba, que se encontra a montante da siderurgia, registrou violações ao limite em 2010 e resultados muito próximos ao limite em 2012 e 2013. Devido a seu posicionamento é menos provável a influencia da siderúrgica e sim do tráfego do centro da cidade. Entretanto, durante os meses de inverno e principalmente outono, a cidade passa por situação de calmaria, com a intensidade do vento somente a 25%, o que pode, durante esses períodos, elevar a possibilidade de contribuição da siderurgia para essas violações ao limite.

Por fim, para o poluente PTS, não foi possível comparar os resultados com a legislação europeia e norte-americana, pois essas legislações não trazem limites para esse parâmetro, pois este poluente não é mais monitorado nestes países. Nas ultimas atualizações, foi retirado este poluente da legislação e incluído o poluente  $MP_{2,5}$ .

## 12.3 Avaliação para o monitoramento do Material Particulado ( $MP_{10}$ )

### 12.3.1 Exposição de Curto Período

As comparações entre as máximas concentrações médias diárias de  $MP_{10}$  com o padrão estabelecido pela legislação durante os anos de 2010 a 2014 para exposição de curto período (24h) estão apresentadas na Figura 15. Nos resultados apresentados pode ser observado que não houve violação do limite durante todos os anos monitorados, sendo que a estação Retiro chegou mais próxima ao padrão no ano de 2014, atingindo  $145,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Cabe ainda ressaltar, após análise do gráfico, que o ano de 2014 apresentou o maior valor histórico considerando-se todas as estações avaliadas.



**Figura 15:** Gráfico de máximas concentrações médias diárias para o poluente Partículas Inaláveis (MP<sub>10</sub>)

Fonte: Própria.

### 12.3.2 Exposição de Longo período

As comparações entre as concentrações médias anuais de MP<sub>10</sub> com o padrão estabelecido pela legislação para exposição a longo período (média aritmética anual) são apresentadas na Figura 16. Os valores das concentrações de Partículas Inaláveis indicam somente uma ultrapassagem ao limite estabelecido pela legislação, no ano de 2011, na estação Siderville.



**Figura 16:** Gráfico das concentrações anuais para o poluente Partículas Inaláveis (MP<sub>10</sub>).

Fonte: Própria.

Historicamente a cidade de Volta Redonda não tem grandes problemas quanto ao poluente  $MP_{10}$ , como podemos observar para os dados monitorados. Durante os cinco anos monitorados, somente houve ultrapassagem do limite na estação Siderville no ano de 2011.

Essa estação se encontra a jusante da área siderúrgica e, sendo assim, é possível que parte da contribuição para violação do padrão tenha ocorrido devido a emissões da siderurgia. Porém, cabe ressaltar que essa estação também se localiza próxima a uma rodovia de fluxo intenso, a BR393.

Em relação aos limites estabelecidos pelos outros países em análise, foi possível observar que o limite da União Europeia para curto e longo período comparado com o do Brasil, é bem mais restritivo, denotando uma maior preocupação desta região, possivelmente, face o seu maior índice de desenvolvimento. Com relação ao limite norte americano, os valores são os mesmos da legislação brasileira, porém cabe destacar que, no Brasil, o limite não deve ser excedido mais de uma vez ao ano, enquanto nos Estados Unidos essa ultrapassagem anual não é permitida de forma recorrente. Além disso, seus padrões são revistos pela EPA a cada cinco anos, em um processo que contempla etapas de planejamento, avaliações científicas, de risco/exposição e políticas, e regulamentação. É importante que no Brasil haja um trabalho no sentido de se rever a atual legislação (a mesma sem revisão há 20 anos), com o objetivo de diminuir e mitigar as emissões dos poluentes atmosféricos e evitar a contaminação da população e ambiente.

Em relação aos resultados das estações, foi observada a violação do limite europeu para curto período de forma generalizada em todos os anos avaliados.

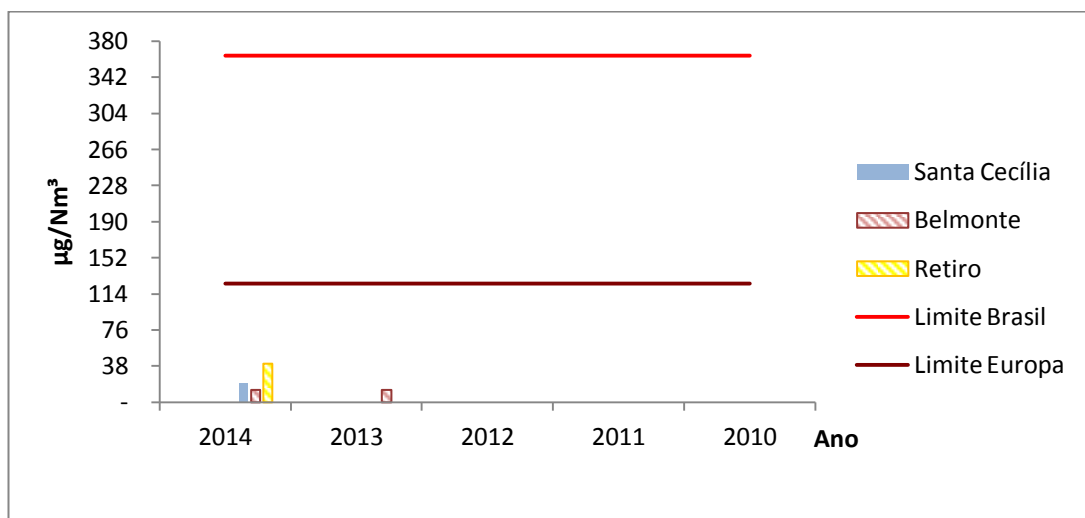
## 12.4 Avaliação para o monitoramento do Dióxido de Enxofre ( $SO_2$ )

### 12.4.1 Exposição de curto período

As comparações entre as máximas concentrações médias diárias de  $SO_2$  com o padrão estabelecido pela legislação, durante os anos de 2010 a 2014 estão apresentadas na Figura 17. Não houve registro de ultrapassagem do padrão de qualidade do ar de  $SO_2$  em nenhuma das estações de monitoramento para os anos em questão, porém cabe ressaltar que a análise de qualidade do ar para este poluente demonstrou uma grande deficiência de monitoramento, pois, além de ser



unicamente medido em apenas três das estações (Belmonte, Santa Cecília e Retiro), apresentou ausência de dados para diversos anos, evidenciando a falta de controle na rede de monitoramento.



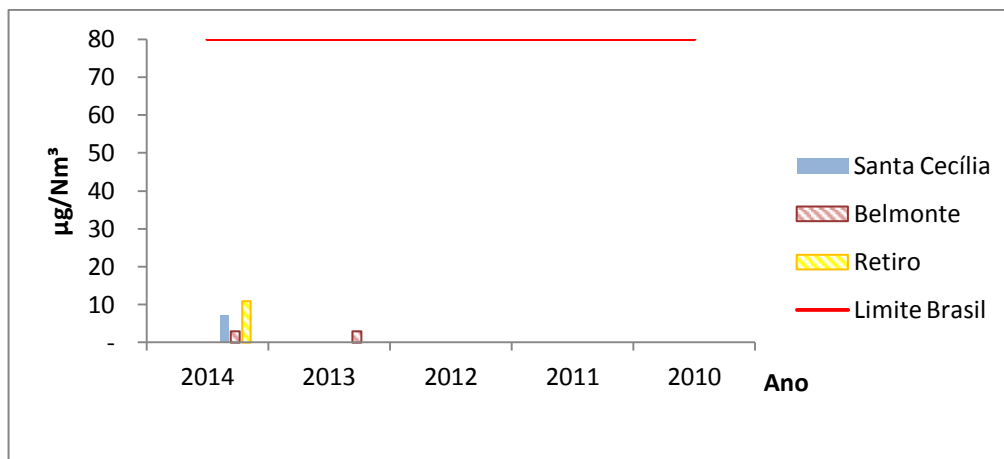
**Figura 17:** Gráfico de máximas concentrações médias diárias para o poluente Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>).

Fonte: Própria.

Comparando com os limites da legislação da União Europeia se pode observar que apesar de muito mais restritivo, ainda assim não ocorreram ultrapassagens, porém na Europa ainda é permitido à ocorrência de três ultrapassagens durante um ano, enquanto que no Brasil, é permitida somente uma ultrapassagem no ano.

#### 12.4.2 Exposição de longo período

As comparações entre as concentrações médias anuais de SO<sub>2</sub> com o padrão estabelecido pela legislação para os anos de 2010 ao ano de 2014 são apresentadas na Figura 18. Os resultados obtidos através dos dados do monitoramento mostraram que não houve registro de ultrapassagem do limite em nenhuma das estações para os anos em questão, além disso, os valores dos índices estão muito abaixo do limite permitido pela CONAMA, porém novamente a falta de dados para este poluente impossibilita uma análise de melhor qualidade.



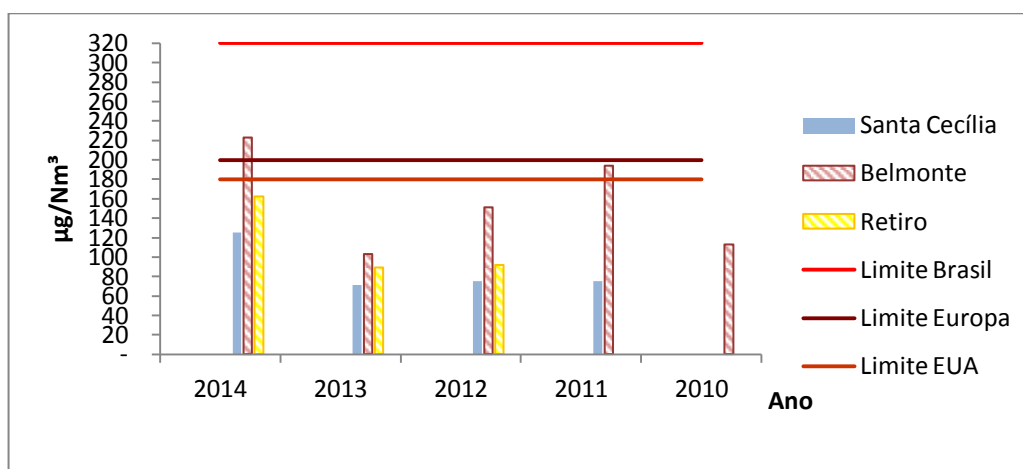
**Figura 18:** Gráfico de concentrações médias anuais para o poluente Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>).

Fonte: Própria.

## 12.5 Avaliação para o monitoramento do Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>).

### 12.5.1 Exposição de curto período.

As comparações entre as máximas concentrações horárias de NO<sub>2</sub> com o padrão estabelecido pela legislação, durante 2010 a 2014 estão apresentadas na Figura 19. Em nenhuma das estações de monitoramento as concentrações de NO<sub>2</sub> medidas ultrapassaram o limite de qualidade do ar Brasileiro, porém, este parâmetro foi unicamente medido nas Belmonte, Santa Cecília e Retiro, e ainda assim apresentou ausência de dados para diversos anos, o que impossibilita uma melhor análise.



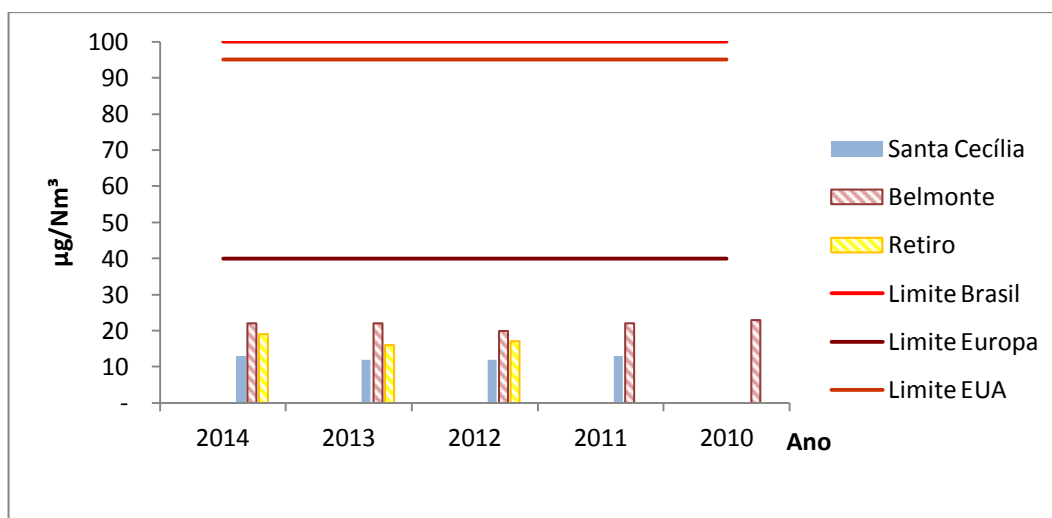
**Figura 19:** Gráfico das máximas concentrações horárias para o poluente Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>).

Fonte: Própria.

Quando se comparou no gráfico as máximas concentrações horárias das estações com os limites internacionais, pode ser observado que a estação Belmonte ultrapassou tanto o limite europeu como o norte-americano, no ano de 2014, bem como também, no ano de 2011, ultrapassou o limite americano e ficou bem próximo ao limite europeu. Tais discrepâncias nos resultados de ultrapassagens, quando comparados os valores às diferentes legislações, demonstram novamente a maior permissividade da legislação brasileira.

#### 12.5.2 Exposição de longo período.

As comparações entre as concentrações médias anuais de NO<sub>2</sub> com o padrão estabelecido pela legislação brasileira para o ano de 2010 ao ano de 2014 são apresentadas na figura 20. De acordo com os resultados do monitoramento obtidos, todas as regiões monitoradas apresentavam-se em conformidade com limite de qualidade do ar, não ocorrendo registro de violação ao mesmo.



**Figura 20:** Gráfico das concentrações médias anuais para o poluente Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>).

Fonte: Própria.

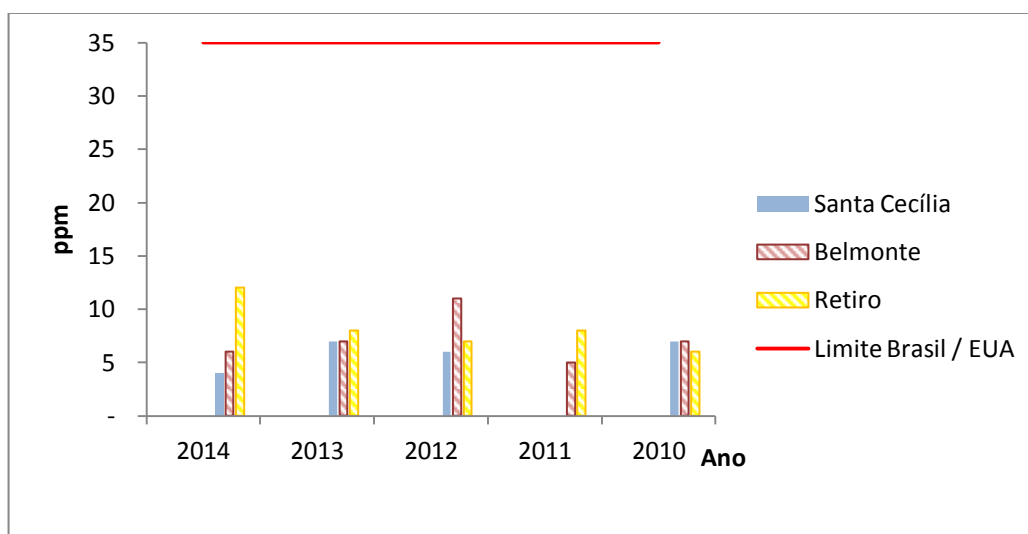
Conforme demonstrado nos últimos anos, foi observada uma tendência estável para todas as estações de monitoramento. Alguns dados de estações não estão apresentados devido ao insuficiente quantitativo de dados gerados pelas estações. Em relação aos limites estabelecidos pelos outros países em análise, não houve

ultrapassagem para os limites europeus e norte americanos, porém é notada uma grande diferença nos padrões sendo os internacionais muito mais restritivos.

## 12.6 Avaliação para o monitoramento do Monóxido de Carbono (CO)

### 12.6.1 Exposição de curto período.

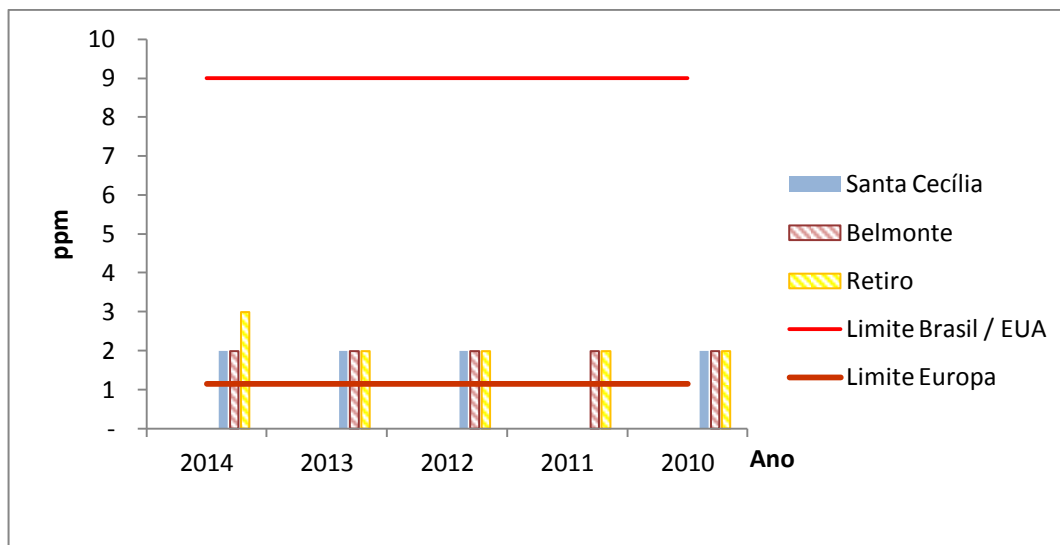
As comparações entre as máximas concentrações horárias de CO com o padrão estabelecido pela legislação para o limite brasileiro e americano, para o ano de 2010 ao ano de 2014 são apresentadas na Figura 21. Nenhuma das estações de monitoramento da qualidade do ar apresentou ultrapassagem ao limite de qualidade do ar estabelecidos para este parâmetro durante os anos em questão, entretanto, existe uma quantidade pequena de dados disponíveis. O poluente monóxido de Carbono somente apresentou medições em apenas três das estações (Belmonte, Santa Cecília e Retiro).



**Figura 21:** Gráfico das máximas concentrações horárias para o poluente Monóxido de Carbono (CO).

Fonte: Própria.

Em referencia ao padrão de media de 8 horas, para CO, também não houve registro de ultrapassagem em nenhuma das estações para os anos monitorados, como se pode observar na Figura 23, tanto para o limite americano quanto para o brasileiro.



**Figura 22:** Gráfico das máximas concentrações médias de 8 horas para o poluente Monóxido de Carbono (CO).

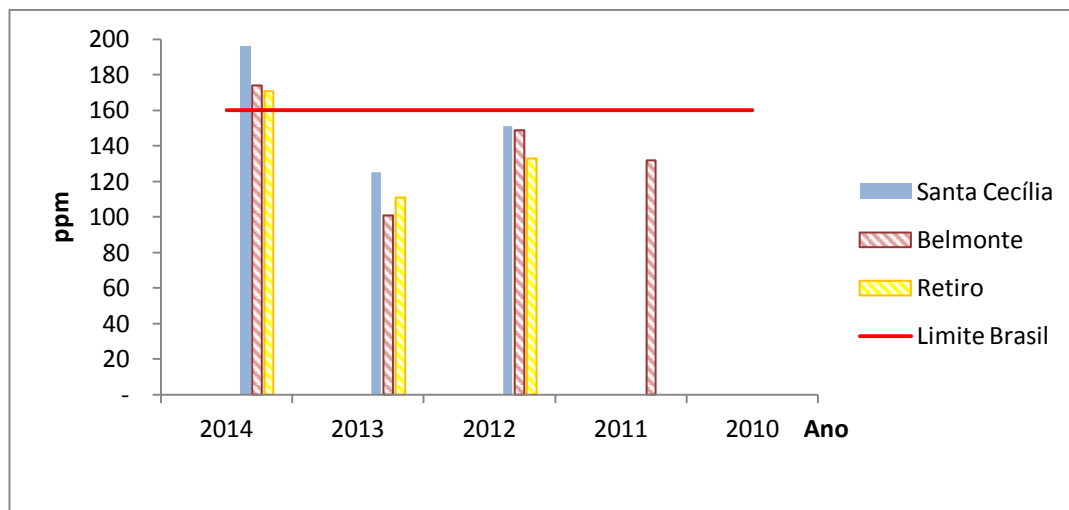
Fonte: Própria.

Em relação ao limite estabelecido pela União Europeia podemos observar que todas as estações de monitoramento ultrapassam o limite estabelecido, denotando mais uma vez a enorme necessidade de uma revisão da atual legislação brasileira para poluentes atmosféricos.

## 12.7 Avaliação para o monitoramento do Ozônio (O<sub>3</sub>)

### 12.7.1 Exposição de curto período.

As comparações, quanto ao ozônio, durante anos de 2010 a 2014 para as máximas concentrações horárias com o padrão estabelecido pela legislação são apresentadas na figura 23. Ressalta-se que esse poluente somente é monitorado nas estações do Belmonte, Santa Cecília e Retiro. Quanto aos resultados dos monitoramentos, ocorreram violações do limite para todas as estações, no ano de 2014, episódio não registrado anteriormente no histórico dos demais anos.



**Figura 23:** Gráfico de máximas concentrações horárias para o poluente Ozônio (O<sub>3</sub>).

Fonte: Própria.

Devido às características de formação do O<sub>3</sub> (poluente secundário gerado através de reações fotoquímicas), as maiores concentrações não essencialmente se localizam próximas as maiores fontes emissoras de poluentes primários, tornando sua análise, frente a possível influência da siderurgia, complexa e dependente de modelos cinéticos, os quais não são objetos deste estudo.

Ainda assim, analisando as violações, observa-se que as estações Belmonte e Retiro, estações a jusante e próximas da siderurgia, possivelmente recebem parte da contribuição das emissões siderúrgicas. Quanto à estação de monitoramento Santa Cecília, a montante da siderurgia, foi observado uma violação do limite e tal fato pode ser devido ao tráfego intenso do centro da cidade de Volta Redonda.

### 13 Considerações finais

Neste trabalho pode ser observada a necessidade da realização do licenciamento ambiental em uma indústria, em especial, aquelas de alto potencial de poluição ambiental. O licenciamento ambiental é a elaboração de um estudo complexo envolvendo todas as áreas ambientais. Por se tratar de um assunto extenso, o trabalho abordou somente os aspectos relacionados à poluição atmosférica e uma das principais etapas do licenciamento, o estudo de impacto ambiental (EIA).

A partir do relatório de qualidade do ar é possível identificar as fontes potencialmente poluidoras, os poluentes em desacordo com os limites impostos pelos órgãos ambientais, os impactos negativos e planejar as possíveis mitigações.

Analisando-se o monitoramento da qualidade do ar da cidade de Volta Redonda, foi possível identificar as potenciais fontes contaminantes e os poluentes que ultrapassaram os limites previstos e regulamentados pelos órgãos ambientais permitindo realizar procedimentos operacionais no sentido de reduzir as emissões e tomadas de decisão. Pode-se observar que, a partir dos resultados da análise do monitoramento da qualidade e poluição do ar de Volta Redonda, o maior problema enfrentado pela cidade quanto a poluição atmosférica diz respeito as emissões de material particulado PTS e MP<sub>10</sub>, sendo esses, os poluentes que ultrapassaram o limite imposto pela legislação mais de uma vez ao longo dos anos monitorados. A partir daí, pode-se reconhecer a maior necessidade frente ao controle ambiental destes parâmetros.

Em relação ao controle realizado pela indústria para a redução das emissões atmosféricas e conseqüente melhora da qualidade do ar foi verificado a implementação e utilização de diversos equipamentos de tratamentos de emissão, assim como o reaproveitamento de poluentes em outras etapas do processo siderúrgico, possíveis alterações dos combustíveis utilizados e mudanças nos procedimentos, além da utilização de medidas indiretas. Isto demonstra que o passivo ambiental pode trazer retorno financeiro para a própria siderúrgica e não só preocupação ambiental baseada nos limites de legislação.

Neste estudo verificamos o grande investimento e preocupação na etapa de controle e monitoramento da qualidade do ar, sendo necessários investimentos de milhões de reais pela própria indústria, ainda assim, foi verificada, em alguns casos, a ausência de dados de monitoramento. Tal fato cabe atenção especial dos órgãos responsáveis, afim de, garantir o correto funcionamento das estações de monitoramento, mesmo considerando o alto custo de investimento feito do inicio ao fim de cada ciclo, além da mão de obra qualificada e custos operacionais.

No que diz respeito aos poluentes, parâmetros e limites de emissão do monitoramento da qualidade do ar, fica evidente a necessidade de uma completa revisão e atualização da legislação brasileira, pois através da comparação geral dos parâmetros de qualidade do ar do Brasil com os limites dos EUA e UE, verificamos uma grande deficiência e atraso de atualização, não apenas quanto aos valores

estabelecidos, mas também nas limitações dos parâmetros monitorados. Um exemplo é a obrigatoriedade do monitoramento do poluente  $MP_{2,5}$  nos demais países estudados e ausência do mesmo na legislação do Brasil. Outra fato importante a destacar trata-se da data da última atualização da legislação sobre a poluição e qualidade do ar brasileira que não é revisada desde 1990 denotando a urgente necessidade de revisão dos padrões brasileiros.

Apesar de todas as deficiências enfrentadas pelos órgãos ambientais no País em controlar e monitorar a poluição do ar devido às emissões de fontes fixas, móveis e fugitivas, pode ser observado, neste trabalho, que o processo de licenciamento ambiental é de extrema importância mesmo contendo falhas que permitem diversas situações de contaminação ambiental. O processo de licenciamento e os estudos responsáveis pelas informações apresentadas são subsidiados pelo proponente do empreendimento e o empreendedor, o que não deveria acontecer, pois este fato abre margem para distorção dos seus resultados e impede futuras avaliações próximas a realidade provocando danos ambientais e comprometendo não só o ambiente, mas a sociedade e a economia em pequena e grande escala.

Haja vista a importância da siderurgia na região onde se situa, no estado e no País fica evidente que as questões ambientais estão diretamente relacionadas com as questões sociais e políticas de uma sociedade, dessa forma, o estudo de impacto ambiental (EIA), um dos instrumentos centrais no processo de licenciamento na prática, fica parecendo mais um atendimento burocrático em que os resultados carecem de credibilidade devido aos interesses dos envolvidos, sendo assim não é direcionado para o sentido técnico, criterioso e restrito para o ambiente e a sociedade.



## Referencias Bibliográficas

- BAIRD, COLIN. **Química Ambiental**. 2. ed. Porto alegre: Bookman, 2002.
- BARRY, Roger G.; CHORLEY, Richard J. **Atmosfera, tempo e clima**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 528p.
- BRAGA, Alfesio; BÖHM, György Miklós; PEREIRA, Luiz Alberto; SALDIVA, Paulo. Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, São Paulo, n. 51, p. 58-71, set./nov. 2001.
- BRAGA, Benedito; HESPANHOL, Ivanildo; CONEJO, João G. Lotufo; MIERZWA, José Carlos; BARROS, Mario Thadeu L.; SPENCER, Milton; PORTO, Monica; NUCCI, Nelson; JULIANO, Neusa; EIGER, Sérgio. **Introdução a Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- BRASIL, **DZ-041.R.13**, Rio de Janeiro, Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, 1997.
- BRASIL, **DZ-548.R1**, Rio de Janeiro, Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, 1986.
- BRASIL, **Constituição Federal da Republica Federativa do Brasil**, Brasília, Diário Oficial da União, 1988.
- BRASIL, **Lei 6938**, Brasília, Diário Oficial da União, 1981.
- BRASIL, **Resolução CONAMA 01**, Brasília, Diário Oficial da União, 1986.
- BRASIL, **Resolução CONAMA 03**, Brasília, Diário Oficial da União, 1990.
- BRASIL, **Resolução CONAMA 237**, Brasília, Diário Oficial da União, 1997.
- BRASIL, **Resolução CONAMA 382**, Brasília, Diário Oficial da União, 2006.
- BRASIL, **Resolução CONAMA 436**, Brasília, Diário Oficial da União, 2011.
- BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Cartilha de licenciamento ambiental**/Tribunal de Contas da União; com colaboração do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2.ed. Brasília: TCU, 4ª Secretaria de Controle Externo, 2007.
- BÓ, Marcelo Dal; NEVES, Wenceslau Fernandes das. Tratamento Químico em Hidrociclones Utilizados no Processamento de Revestimentos Cerâmicos por Via Úmida. **Cerâmica Industrial**. V. 16, n. 4, jul./ago. 2011.
- CANÇADO, José Eduardo Delfini; BRAGA, Alfesio; PEREIRA, Luiz Alberto Amador; ARBEZ, Marcos Abdo; SALDIVA, Paulo Hilário Nascimento; SANTOS, Ubiratan de Paula. **Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica**. Departamento de Patologia – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CASTRO, Cleber Marques de.; MELLO, Eduardo Vieira de. Evolução Urbana na Cidade de Volta Redonda (RJ). **Cadernos da FAEL**, Iguaçú, v. 1, n. 3, Set./Dez. 2008. Disponível em: [http://www.unig.br/cadernosdafael/vol1\\_num3/ARTIGO%20CLEBER%20E%20EDUARDO%20CADERNOS%203.pdf](http://www.unig.br/cadernosdafael/vol1_num3/ARTIGO%20CLEBER%20E%20EDUARDO%20CADERNOS%203.pdf) Acesso: Set/2016.

CASTRO, Pablo Renan Carvalho de. **Caracterização Tecnológica do Efluente Sólido Existente na Região de Volta Redonda/RJ**. 2013. 38f. Trabalho de Graduação (Curso de Geologia) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2013.

CAPITANIO, Edson; SOUZA, Leopoldina Algaba; BERNINI, Lívea Peres. **Estudo de Impacto Ambiental**. 2010. 31f. Trabalho de Conclusão de Módulo (Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Direito Ambiental) - Faculdade Senai de Tecnologia Ambiental - Mário Amato, São Bernardo do Campo, 2010.

CAVALCANTI, Pedro Porto Silva. **Gestão Ambiental na Indústria siderúrgica – Aspectos relacionados às emissões atmosféricas**. 2012. 54f. Monografia (Curso de Engenharia Metalúrgica) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - **Padrões de Qualidade do Ar**. Disponível em: <http://ar.cetesb.sp.gov.br/padroes-de-qualidade-do-ar/> Acesso em: Ago/2016.

CÓNSUL, Julia María Díaz; THIELE, Daneil; VESES, Renato Cataluña; BAIBICH, Ione Maluf; DALLAGO, Rogério Marcos. Decomposição catalítica de óxidos de nitrogênio. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 3, maio./jun. 2004.

ECOLOGUS – Engenharia Consultiva. **Planos Municipais de Saneamento Básico e Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Volta Redonda. Documento 2. Plano Municipal de Saneamento Básico**. Prefeitura Municipal de Volta Redonda, Secretaria Municipal de Planejamento, 2015.

EPA – United States Environment Protection Agency - **Particulate Matter (PM)**. Disponível em: <https://www3.epa.gov/airquality/particlepollution/> Acesso: Jul/2016.

EPA – United States Environment Protection Agency - **Nitrogen Dioxide**. Disponível em: <https://www3.epa.gov/airquality/nitrogenoxides/index.html> Acesso: Jul/2016.

EPA – United States Environment Protection Agency - **Criteria Air Pollutants**. Disponível em: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants> Acesso: Jul/2016.

EPA – United States Environment Protection Agency - **Sulfur Dioxide**. Disponível em: <https://www3.epa.gov/airquality/sulfurdioxide/> Acesso: Jul/2016.

EPA – United States Environment Protection Agency - **Ozone Pollution**. Disponível em: <https://www.epa.gov/ozone-pollution> Acesso: Jul/2016.

EPA – United States Environment Protection Agency – **Carbon Monoxide**. Disponível em: <https://www3.epa.gov/airquality/carbonmonoxide/> Acesso: Jul/2016.

FERNÍCOLA, Nilda A. Gallego Gandara de; LIMA, Ernesto Ronchini. Avaliação do grau de exposição de amostras populacionais de São Paulo ao monóxido de carbono. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 13, n. 2, Jun. 1979.

FRONDIZI, Carlos Alberto. **Monitoramento da qualidade do ar: teoria e prática**. Rio de Janeiro: E-papers, 2008.

GIODA, Adriana; NETO, Francisco Radler Aquino; SALES, José Arnaldo; MAIA, Luis Francisco Pires Guimarães; CAVALCATI, Paulina Maria Porto Silva; MAIA, Marilza F. Diagnóstico da Qualidade do Ar em Volta Redonda-RJ - A Partir das Análises do Teor de BTX. **Congresso Brasileiro de Meteorologia**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2000.

HINRICHS, Roger A; KLEINBACH, Merlin; REIS, Lineu Belico. **Energia e meio ambiente**. 4.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Sistema Informatizado de Licenciamento Ambiental Federal - **EIAs - Relatórios - Monitoramento disponíveis**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/licenciamento/> Acesso: Mar/2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **Cidades – Rio de Janeiro, Volta Redonda**. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=330630> Acesso: Jun/2016.

INEA – Instituto Nacional do Ambiente Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/MegaDropDown/Monitoramento/Monitoramentodoar-EmiQualidade/Qualidoar/Boletimdiriodaqualidoar/index.htm&lang=> Acesso: Ago/2016.

INEA. **Relatório da Qualidade do ar do Estado do Rio de Janeiro 2014**. Rio de Janeiro, 2015. 198p.

INEA. **Relatório da Qualidade do ar do Estado do Rio de Janeiro 2013**. Rio de Janeiro, 2014. 188p.

INEA. **Relatório da Qualidade do ar do Estado do Rio de Janeiro 2012**. Rio de Janeiro, 2013. 148p.

INEA. **Relatório da Qualidade do ar do Estado do Rio de Janeiro 2010 e 2011**. Rio de Janeiro, 2012. 141p.

INEMA – Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.inema.ba.gov.br/> Acesso: Mar/2016

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia - **Instrumentos Meteorológicos**. Disponível em:

<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=instrumentos> Acesso: Ago/2016.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – **Meteorologia Básica**. Disponível em: [http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=meteorologia\\_basica](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=meteorologia_basica) Acesso: Ago/2016.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. **1º Diagnostico da rede de monitoramento da qualidade do ar do Brasil**. 2014.

INSTITUTO AÇO BRASIL - **Proposição de Limites Máximos de Emissão de Poluentes Atmosféricos de Fontes Fixas Existentes Para a Indústria Siderúrgica em Nível Nacional** – Justificativa Técnica. Rio de Janeiro, 2010.

LACERDA, Adriana; LEROUX, Tony; MORATA, Thais. Efeitos ototóxicos e exposição ao monóxido de carbono: uma revisão. **Pró-Fono Revista de Atualização Científica**. Barueri, v. 17, n. 3, set./dec. 2005.

MACHADO, Marcelo Lucas Pereira. **Apostila de siderurgia da matéria prima ao aço laminado**. Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo, Vitória, 2006. (MACHADO, 2006)

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Ventilação Industrial e controle da poluição**. 2. ed. Rio de janeiro: LTC, 2008.

MILANEZ, BRUNO; PORTO, MARCELO. **A ferro e fogo: impactos da siderurgia para o ambiente e a sociedade após a reestruturação dos anos 1990**, IV Encontro Nacional da Anppas, 2008.

MMA – Ministério do Meio Ambiente – **Poluentes Atmosféricos**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos> Acesso: Fev/2016.

MOURÃO, Marcelo Breda; YOKOJI, Akira; MALYNOWSKYJ, Antonio; TAKANO, Cesar Alves da Silva Leandro; QUITES, Eduardo Emery Cunha; GENTILE, Erberto Francisco; SILVA, Guilherme F. B. Lenz; BOLOTA, José Roberto; GONÇALVES, Marcelo; FACO, Rubens José. **Introdução à siderurgia**. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2007.

NOLLI, THALITA.; ANDRADRE, VAGNER. **Oferta de Exportação de Laminados Planos no Brasil Frente à Nova Organização Produtiva do Setor Siderúrgico**, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2012.

OLIVEIRA, André Albuquerque Bittencourt. **Inventário das emissões atmosféricas na indústria siderúrgica**. 2014. 85f. Monografia (Curso de Engenharia Metalúrgica) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

OLIVEIRA, Carla Maria Frantz de Vasconcelos. **Licenciamento Ambiental**. 2012. 123f. Monografia (Curso de Pós-Graduação em Direito) - Faculdade de Direito - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

PORTALVR – Prefeitura Municipal de Volta Redonda - **Característica**. Disponível em: <http://www.portalvr.com/2012-12-20-11-24-20/caracteristica> Acesso: Jun/2016.

PWC - Price Water House Coopers Auditores Independentes. Disponível em: <[www.pwc.com.br](http://www.pwc.com.br)> Acesso em: 02 de setembro 2015.

REMUS, Rainer; MONSONET, Miguel; ROUDIER, Sarge; SANCHO, Luis. **Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production**. Espanha: European Commission, 2013.

SANTANA, Eduardo.; CUNHA, Kamyla Borges da.; FERREIRA, André Luis.; ZAMBONI, Ademilson. **Padrões de qualidade do ar** - Experiência comparada Brasil, EUA e União Europeia. São Paulo: Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2012.

SEINFELD, John H.; PANDIS, Spyros N. **Atmospheric chemistry and physics**. 1. Ed. Wiley-Interscience, 1997.

SOUZA, Chauvet Rodrigo. **Análise dos Impactos de Emissões Atmosféricas Locais da Indústria Siderúrgica: Um Estudo de Caso no Rio de Janeiro**. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

SANTOS, Antonio Leonardo. **Inventário dos Rejeitos, Efluentes e Sub-Produtos das Indústrias Siderúrgicas Integradas na Fabricação de Aço Líquido**. 2010. 79f. Monografia (Curso de Engenharia Metalúrgica) – - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

VALLERO, Daniel. **Fundamentals of air pollution**. 4. Ed. Durham: Elsevier, 2008 [1973].