

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
ENGENHARIA AMBIENTAL

FABIANE DOS REIS VIEIRA

Inventário de emissões atmosféricas de indústria mecânica: fatores de emissão e
medidas.

São Carlos

2017

FABIANE DOS REIS VIEIRA

Inventário de emissões atmosféricas de indústria mecânica: fatores de emissão e medições.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Wiclef Dymurgo Marra Júnior.

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos

2017

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

V65711
11
Vieira, Fabiane dos Reis
Inventário de emissões atmosféricas de indústria
mecânica: fatores de emissão e medições. / Fabiane dos
Reis Vieira; orientador Wiclef Dymurgo Marra Jr. São
Carlos, 2017.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, 2017.

1. Emissões atmosféricas. 2. Inventário. 3.
Estimativa de emissões. 4. Medições atmosféricas. 5.
AP-42. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Fabiane dos Reis Vieira**

Data da Defesa: 30/10/2017

Comissão Julgadora:

Resultado:

Wiclef Dymurgo Marra Junior (Orientador(a))

APROVADA

Marcelo Zaiat

Aprovado

Davi Gasparini Fernandes Cunha

APROVADA



Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

Para todas as Salles Cunha, pela força e determinação.

*Para o Celso e o Edison. Eu não estaria aqui se não fosse por vocês, mesmo vocês
não estando mais aqui.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço

Minha família, por aceitar, acreditar e dar suporte.

Pirassununga, por me ensinar a valorizar as pequenas coisas e os momentos junto com as pessoas queridas, afinal, qualquer pipoca com brigadeiro pode se tornar especial.

São Carlos, o CAASO e a Engenharia Ambiental, incluindo todos os grupos extracurriculares que fiz parte, pelas inúmeras oportunidades oferecidas, pelos ensinamentos e pelas vivências que estão me formando como profissional.

Todos que eu conheci pelo mundo, por me mostrarem tantas coisas bonitas, me estimularem a desbravar, a conhecer e a descobrir o que há de mais diferente e a ver o valor do que há ao meu redor.

Aos que apostaram em mim e confiaram que eu daria tudo de mim nos programas que participei.

Quem cruzou meu caminho, deixou sua marca e, principalmente, àqueles que continuaram (ão).

A Gabi e a Gi, por serem tão iguais e tão diferentes de mim, por me ensinarem todo dia sobre quem eu sou, sobre vocês e por me completarem desse jeito tão incrível. Vocês são as melhores irmãs que eu poderia pedir.

Bruna, obrigada pela amizade, pelas risadas, choros e por me conhecer tão bem.

A quem eu tive o prazer de dividir o lar, me desculpe o auê! Cada um de vocês tem um lugar especial no meu coração.

Ao questionário que colocou a Jubs no quarto do lado, no país do lado e ao meu lado.

A 012, por me acolher e proporcionar momentos inesquecíveis e não me deixarem desistir, por todas as madrugadas acordada, por todas as sonecas, por todas as risadas e abraços.

Todos os professores que tive e conheci, pela dedicação, pela inspiração e pela força de vontade. Especialmente ao Wiclef, que aceitou o desafio de me orientar de forma tão inesperada.

Acredito que o conhecimento está fundamentado na experiência e, portanto, gostaria de agradecer tudo e todos que, de alguma forma, contribuíram para que eu pudesse estar aqui hoje.

*"If you want to go quickly, go alone;
if you want to go far, go together."*

Provérbio africano

RESUMO

VIEIRA, F. R. **Inventário de emissões atmosféricas de indústria mecânica:** fatores de emissão e medições. 2017. 76 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

A poluição atmosférica é um problema tanto para os seres humanos, quanto para o meio ambiente como um todo. A poluição atmosférica por ter origem natural (como erupções vulcânicas e decomposição de matéria orgânica), mas os principais geradores de gases e partículas em suspensão que degradam a qualidade da atmosfera são originados de atividades antrópicas. Portanto, estabelecer padrões de emissão e de qualidade é fundamental para monitorar a qualidade do ar e controlar as emissões atmosféricas, desenvolver políticas públicas, criar planos de ação e definir locais críticos, por exemplo. Esse trabalho objetivou criar um inventário de emissões atmosféricas para uma indústria mecânica usando metodologias de medição *in loco* e estimativas da EPA comparar ambas e averiguar o atendimento às exigências da legislação brasileira. As medições foram realizadas apenas em pontos exigidos pela legislação, no caso onde há combustão de gás natural, e seguiram as normas técnicas da CETESB. Por sua vez, as estimativas fizeram uso de fatores de emissão da norma da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, a AP-42. O limite legal para combustão de gás natural é 400 mg/m³, as medições no forno contínuo indicaram um valor de aproximadamente 31,8 mg/m³, enquanto os cálculos indicavam 5,86 e 0,49 mg/m³. Pode-se perceber que os resultados foram discrepantes, sendo as estimativas 64 vezes menores que as medições. Mesmo ambos estando bem abaixo dos limites legais, isso demonstra uma imprecisão dos fatores de emissão. Ainda assim, é possível recomendar a combinação de ambas as técnicas pois, apesar das medições serem mais precisas, as estimativas permitem analisar fontes fugitivas e não tem custos envolvidos.

Palavras-chave: Emissões atmosféricas. Inventário. Estimativa de emissões. Medições atmosféricas. AP-42.

ABSTRACT

VIEIRA, F. R. **Mechanical industry air emissions inventory**: emission factors and measurements. 2017. 76 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

Air pollution is a problem for human beings and for the environment itself. It can be originated naturally (volcanic eruption and decomposition), but the main generators of gases and particulate matter that degrade the air quality are human activities (industries and transport). This way, establish standards is fundamental to monitor the air quality, control air emissions, develop public policies, create plan of actions and define critical locals, for example. This work aimed to create an air emissions inventory for a mechanical industry using measurements and estimates, compare both and ascertain the meeting of the minimum requirements of the Brazilian legislation. The measurements were made at the sources demanded by law, which were the ones where natural combustion happens, and followed the CETESB technical standards. The estimates were made based on the U.S. Environmental Protection Agency, the AP-42. The legal limit for natural gas combustion is 400 mg/m³, the measurements indicated an emission of 31,8 mg/m³ and the estimates 5,86 mg/m³ and 0,49 mg/m³. It's clear that the results were discrepant, but both below the requirements. This way, it is possible to recommend the combination of both methods, once the measurements are more precise but the estimates can be made to a greater variety of sources and have no cost involved.

Keywords: Air emission. Inventory. Emission estimate. Emission measurement. AP-42.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição Molar do Ar Seco	4
Tabela 2: Principais poluentes atmosféricos, áreas de atuação no sistema respiratório e efeitos sobre a saúde humana.....	5
Tabela 3: Classificação dos Poluentes.....	8
Tabela 4: Comparação do Ar Puro e Poluído	9
Tabela 5: Métodos de medição de emissões atmosféricas	12
Tabela 6: Limites de emissões atmosféricas na fábrica do estudo	17
Tabela 7: Relação das fontes de emissão da fábrica.....	19
Tabela 8: Levantamento das Fontes de emissões atmosféricas da fábrica do estudo.....	21
Tabela 9: Produtos utilizados na fábrica do estudo e suas composições.....	22
Tabela 10: Dados das estimativas - combustão de gás natural.....	25
Tabela 11: Estimativas de emissões - combustão de gás natural	26
Tabela 12 Dados das estimativas - combustão de óleo diesel	27
Tabela 13: Estimativas de emissões - combustão de óleo diesel.....	27
Tabela 14: Dados das estimativas - solda.....	28
Tabela 15: Estimativas de emissões - solda.....	28
Tabela 16: Estimativas de emissões - solda (continuação).....	29
Tabela 17: Dados das estimativas - jateamento de granalha	29
Tabela 18: Dados e Estimativas - imersão em produtos químicos	30
Tabela 19: Dados das estimativas - combustão de GLP.....	31
Tabela 20: Estimativas de emissões - combustão de GLP	31
Tabela 21 : Dados das estimativas - lavadoras	31
Tabela 22: Estimativas de emissões - lavadoras.....	31
Tabela 23: Dados e Estimativas - uso de produtos químicos	31
Tabela 24: Dados e Estimativas - usinagem	33
Tabela 25: Resultados das medições atmosféricas	34
Tabela 26: Comparativo entre legislação, medições e estimativas	34
Tabela 27: Resumo do inventário.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- CAS – Chemical Abstracts Services
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
- CO – Óxido de Carbono
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
- COV – Compostos Orgânicos Voláteis
- EPA – Environmental Protection Agency
- FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente
- GLP – Gás Liquefeito de Petróleo
- HAP – Hazardous air pollutant
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- MMA – Ministério do Meio Ambiente
- MP – Material Particulado
- O₃ - Ozônio
- ODS – Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável
- OMS – Organização Mundial da Saúde
- ONU – Organização das Nações Unidas
- ppm – Partes por milhão
- PRONAR – Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar
- WHO – World Health Organization

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Atmosfera e Poluição Atmosférica	3
2.2. Histórico	6
2.3. Emissões atmosféricas	7
2.4. Poluentes	8
2.5. Métodos de medição	11
2.6. Métodos de estimativa	13
2.7. Legislação brasileira	14
2.8. Métodos de controle	15
2.9. Indústria e a poluição atmosférica	16
3. METODOLOGIA	17
3.1. Inventário	17
3.2. Estimativas	17
3.3. Medições	20
3.4. Medições x Estimativas	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1. Levantamento das fontes	21
4.2. Estimativas	25
4.3. Medições	34
4.4. Medições x Estimativas	34
4.5. Inventário	34
4.6. Discussão	37
5. CONCLUSÃO	39
6. BIBLIOGRAFIA	41

1. INTRODUÇÃO

A atmosfera é naturalmente composta por diferentes gases em concentrações quase constantes. Nela ocorrem diversos fenômenos essenciais para a manutenção da vida na Terra, como deslocamentos de massas de ar e ventos, precipitações meteorológicas e mudanças do clima (FEAM, S/A).

Apesar da estabilidade na composição química do ar, variações podem ocorrer por influência do período do dia, da época do ano ou por atividades antrópicas no entorno, por exemplo. As principais fontes de poluição atmosférica são transporte, geração de energia elétrica, queima de resíduos e combustíveis, indústrias e erupções vulcânicas (BRAGA, PEREIRA e SALDIVA, 2001)

Com a revolução industrial, o impacto da poluição atmosférica na qualidade de vida dos seres vivos e no meio ambiente começou a se intensificar e os danos puderam ser sentidos no aumento de doenças respiratórias, redução da qualidade das águas, impacto na fauna e na flora, entre outros (BRAGA, PEREIRA e SALDIVA, 2001). Para melhorar essa situação, métodos de controle das emissões foram criados. Porém, para garantir sua eficiência e criar padrões de qualidade do ar aceitáveis, é necessário fazer uso de métodos de medição e/ou de estimativa de emissões em diferentes situações. Com o entendimento claro da situação do local e da origem dos poluentes, é possível estabelecer medidas de controle como uso de limpadores de gases, troca de combustíveis e melhorias nos processos produtivos, por exemplo (WHO, 2016).

Atualmente, a legislação brasileira estabelece limites para alguns parâmetros dependendo da qualidade do ar da região, do empreendimento e do tipo de fonte (MMA, 2017). As medições atmosféricas incluem as técnicas mais usadas para atender a legislação, no entanto, não são aplicáveis para todas as fontes (ex.: fontes fugitivas) e possuem um custo elevado, de aproximadamente R\$500 por fonte, por parâmetro. Por esse motivo, métodos de estimativa das emissões são amplamente utilizadas na elaboração de planos de ação de controle e otimização de processos pelo custo zero e utilização holística, porém deve-se destacar que elas podem ter variações em relação à realidade (REIS JR., 2012).

1.1. Objetivos

Baseado no contexto descrito acima e na realidade de uma indústria mecânica, os objetivos do presente trabalho foram:

- Elaborar inventário de emissões atmosféricas;

- Medir emissões atmosféricas *in loco*;
- Usar a metodologia AP-42 da EPA para estimar as emissões atmosféricas;
- Comparar os métodos de medição e estimativa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Atmosfera e Poluição Atmosférica

A atmosfera é uma mistura de gases na superfície da Terra com uma concentração diversa, mas relativamente constante, conforme apresentado na

Em 2012, o contato com poluição atmosférica em ambientes externos esteve relacionado com, aproximadamente, três milhões de mortes. Dessas mortes, 87% ocorreram em países de baixa e média renda, principalmente no sudeste asiático e no pacífico ocidental. As doenças não transmissíveis são as causas mais comuns (94%), como doenças cardiovasculares, acidentes vasculares cerebrais, doenças pulmonares obstrutivas crônicas e cânceres de pulmão.

Tabela 1.

(FEAM, S/A). Sua composição química é influenciada por fatores como sazonalidade e período do dia, mas principalmente por atividades naturais e/ou antrópicas na região (FEAM, S/A).

De acordo com Brasil (1981), no artigo 3º, inciso III, poluição é

(...) a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

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

A poluição atmosférica ocorre quando, à atmosfera, é adicionada “qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora, prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade” (BRASIL, 1990).

O impacto na qualidade do ar pode ocorrer de forma natural, como por erupções vulcânicas, relâmpagos e ações bacteriológicas no solo, mas se torna problemática quando há interferência humana, principalmente nas grandes cidades (LOUREIRO, 2005) A qualidade de vida dos habitantes dos grandes centros urbanos tem decaído nos últimos anos devido ao aumento constante das fontes de emissão (LOUREIRO, 2005).

Em 2012, o contato com poluição atmosférica em ambientes externos esteve relacionado com, aproximadamente, três milhões de mortes (WHO, 2016). Dessas mortes, 87% ocorreram em países de baixa e média renda, principalmente no sudeste asiático e no pacífico ocidental (WHO, 2016). As doenças não transmissíveis são as causas mais comuns (94%), como doenças cardiovasculares, acidentes vasculares cerebrais, doenças pulmonares obstrutivas crônicas e cânceres de pulmão (WHO, 2016).

Tabela 1: Composição Molar do Ar Seco

Componente	Símbolo	Quant.
Nitrogênio	N ₂	78,08%
Oxigênio	O ₂	20,95%
Argônio	Ar	0,93%
Dióxido de Carbono	CO ₂	0,03%
Neon	Ne	18,20 ppm
Hélio	He	5,20 ppm
Crípton	Kr	1,10 ppm
Dióxido de Enxofre	SO ₂	1,00 ppm
Metano	CH ₄	2,00 ppm
Hidrogênio	H ₂	0,50 ppm
Óxido Nítrico	N ₂ O	0,50 ppm
Xenônio	Xe	0,09 ppm
Ozônio	O ₃	0,07 ppm
Dióxido de Nitrogênio	NO ₂	0,02 ppm
Iodo	I ₂	001 ppm
Monóxido de Carbono	CO	Residual
Amônia	NH ₃	Residual

Fonte: National Weather Service (2017)

De acordo com Gomes (2001), os poluentes podem penetrar no organismo de três maneiras: pelas vias respiratória, cutânea e/ou digestiva. A Tabela 2 indica os principais impactos dos poluentes no sistema respiratório.

Os impactos da poluição atmosférica não atingem apenas os seres humanos, mas também o meio ambiente. O acúmulo de gases e nuvens na atmosfera retêm parte da radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre e mantém a Terra aquecida, permitindo a existência de vida, mas também causam o aquecimento global. Esses gases se concentram na troposfera, ou seja, a uma distância de 10 a 16 km da superfície (BAIRD, 2002). O efeito estufa ocorre naturalmente, mas, com a poluição atmosférica, tem se intensificado e causado

impactos como aumento da temperatura média do planeta, derretimento de geleiras, aumento do nível do mar, alterações nos regimes de chuva/neve, entre outros (GORE, 2006).

Tabela 2: Principais poluentes atmosféricos, áreas de atuação no sistema respiratório e efeitos sobre a saúde humana.

Poluentes	Penetração no sistema respiratório	Fisiopatologia
MP₁₀	Traqueia, brônquios, bronquíolos.	Produz irritação nas vias respiratórias. Causa estresse oxidativo e, em consequência, inflamação pulmonar e sistêmica. Exposição crônica produz remodelamento brônquico e pode ser cancerígeno.
MP_{2,5}	Alvéolos	
MP_{0,1}	Alvéolos, tecido pulmonar e corrente sanguínea	
O₃	Traqueia, brônquios, bronquíolos e alvéolos.	É um agente oxidante fotoquímico e muito irritante. Provoca inflamação da mucosa do trato respiratório. Em altas concentrações, irrita os olhos, mucosa nasal e da orofaringe. Provoca tosse e desconforto torácico. Exposição por várias horas leva a lesão no tecido epitelial de revestimento das vias aéreas. Provoca inflamação e obstrução das vias aéreas a estímulos como o frio e exercícios.
NO_x, NO₂	Traqueia, brônquios, bronquíolos e alvéolos.	Irritante. Afeta a mucosa dos olhos, nariz, garganta e do trato respiratório inferior. Aumenta a reatividade brônquica e a suscetibilidade às infecções e aos alérgenos. É considerado um bom indicador da poluição veicular.
SO₂	Vias aéreas superiores, traqueia, brônquios, bronquíolos.	Irritante. Afeta a mucosa dos olhos, nariz, garganta e do trato respiratório. Causa tosse e aumenta a reatividade brônquica, facilitando a broncoconstrição.
CO	Alvéolos e corrente sanguínea.	União com a hemoglobina, interferindo no transporte de oxigênio. Provoca cefaleia, náuseas e tontura. Tem efeito deletério sobre o feto. Está associado com recém-nascidos de baixo peso e morte fetal.

Fonte: Arbex, et al (2012)

A chuva ácida é outra grave consequência para o meio ambiente, de acordo com Baird (2002). Esse fenômeno ocorre quando a água da chuva se torna contaminada ao precipitar e entrar em contato com os poluentes da atmosfera, se tornando ácida. Ao atingir a superfície,

esse ácido impacta a qualidade do solo, da água, da flora, o bem-estar da fauna e a saúde dos seres humanos.

2.2. Histórico

Na década de 1920, mais de 150 anos após o início da Revolução Industrial, a poluição atmosférica havia se tornado um problema pela piora da qualidade do ar (MILLER e MILLER, 1989). Buscando reverter essa situação, foram tomadas as primeiras medidas visando entender e controlar as emissões atmosféricas. Foram feitos levantamentos em larga escala em Salt Lake (EUA - 1926), Nova York (EUA - 1937) e Leicester (Inglaterra – 1939), cidades extremamente poluídas para os padrões da época (MILLER e MILLER, 1989). Além disso, estudos foram elaborados no estado da Califórnia por causa do uso intenso de veículos automotores e a consequente poluição emitida por esse meio de transporte (MILLER e MILLER, 1989).

As crises do petróleo assolaram o mundo em 1973 e 1979, os efeitos do uso de combustíveis fósseis e as consequências da dependência dessas matérias primas se tornaram mais evidentes pelo surgimento de problemas de abastecimento e de poluição local nos centros urbanos (MMA, 2002). Nesse período, os centros com atmosferas mais poluídas eram os Estados Unidos, Grã-Bretanha, França, Alemanha, Países Baixos, Suécia e Japão (MILLER e MILLER, 1989).

Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) reuniu líderes mundiais para definir a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, que dá orientações para combater os principais desafios mundiais de desenvolvimento baseado num comprometimento global, nos próximos 15 anos. A estrutura define 17 Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODSs) e 169 metas relacionadas, que incluem três indicadores relacionados à poluição atmosférica (WHO, 2016). Os objetivos relacionados à qualidade do ar foram elaborados visando reduzir o número de mortes e doenças causadas por essa poluição (WHO, 2016):

- ODS 3.9.1.: Taxa de mortalidade atribuída à poluição do ar dentro de residências e áreas externas para o Objetivo da Saúde (ODS 3);
- ODS 7.1.2.: Proporção da população que usa primariamente fontes renováveis de energia e tecnologias para o Objetivo da Energia Sustentável (ODS 7);
- ODS 11.6.2.: Média anual dos níveis de material particulado fino (PM25) nas cidades populosas para o Objetivo do Desenvolvimento Urbano Sustentável (ODS 11).

Em 2016, a Organização Mundial da Saúde (OMS) emitiu um relatório no qual afirma que mais de 90% da população mundial reside em áreas cuja qualidade do ar está fora dos parâmetros recomendados pela organização (WHO, 2016). Em resposta a esses resultados, a OMS aprovou um roteiro de ação rápido para atuar em prol da qualidade do ar, no qual convoca o setor de saúde a aumentar o monitoramento local de poluição do ar, avaliar os impactos na saúde e tomar frente nas tomadas de decisão dentro das políticas nacionais que afetem a poluição do ar (PAHO, 2016).

2.3. Emissões atmosféricas

A poluição atmosférica representa o aspecto ambiental que mais impacta a saúde. Em 2012, uma a cada nove mortes foi resultado de condições relacionadas à poluição atmosférica. Além disso, as fontes de poluição atmosférica também produzem poluentes que influenciam no clima e aquecimento global (ex.: CO₂) (WHO, 2016). Por esses motivos, políticas estão sendo criadas para gerir a poluição do ar, que passou a ser uma preocupação inerente ao desenvolvimento sustentável. Como exemplo de iniciativa, podemos citar os indicadores dos ODS que, além de trazerem benefícios para o meio ambiente e para a saúde, através da prevenção de doenças e pela possibilidade de realização de atividades físicas (WHO, 2016).

A degradação da qualidade do ar pode ocorrer pela adição ou subtração de partículas, gases ou aerossóis, acompanhados ou não de energia, como calor, radiação ou ruído, com intensidade, quantidade, concentração, tempo de exposição ou características acima da capacidade de assimilação da atmosfera (FEAM, 2016). Esse lançamento é considerado poluente a partir do momento em que passa a causar prejuízos ao bem-estar e à saúde de seres humanos, da fauna, da flora, do ecossistema e/ou aos recursos naturais e biológicos disponíveis no meio (FEAM, 2016).

As composições químicas da atmosfera e da emissão são fundamentais para a determinação do grau de poluição. Porém, o comportamento dos materiais particulados em suspensão também depende das propriedades físicas dos constituintes, como tamanho, forma e resistência mecânica e alguns fatores extras, como as taxas de reação e dissolução e a facilidade de escoamento e mistura.

A importância de cada uma das propriedades depende do contexto e do interesse. Para a análise de aerossóis, o tamanho é muito importante e é expresso pelo diâmetro da partícula, em micrometros ($1 \mu\text{m} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$). Esse parâmetro é fundamental pois as partículas menores que $10 \mu\text{m}$ são de difícil coleta em equipamentos de controle e são as consideradas respiráveis por penetrarem nos pulmões (GOMES, 2001).

2.4. Poluentes

O nível do impacto da poluição do ar nos receptores é determinado pelo nível da qualidade do ar, que é determinada pela interação entre os poluentes e a atmosfera. Dessa forma, de acordo

Tabela 3: Classificação dos Poluentes

	Tipo	Descrição e exemplos
Origem	Poluente Primário	São emitidos diretamente pelas fontes
	Poluente Secundário	Surgem através de reações químicas entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera
Composição	Compostos de Enxofre	SO ₂ , SO ₃ , H ₂ S, mercaptanas (CH ₃ SH), sulfatos
	Compostos de Nitrogênio	NO, NO ₂ , NH ₃ , HNO ₃ , nitratos
	Compostos Orgânicos	Hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, cetonas, ácidos orgânicos
	Óxidos de Carbono	CO, CO ₂
	Compostos Halogenados	HCl, HF, cloretos, fluoretos
	Metais Pesados	Pb, Cd, As, Ni
	Material Particulado	Mistura de compostos no estado sólido ou líquido
	Oxidantes Fotoquímicos	O ₃ , formaldeído, acroleína, PAN
	Compostos Radioativos	Iodo, plutônio, urânio e cobalto

Fonte: CETESB (2017)

A Tabela 4Tabela 4, mostra a comparação entre concentrações de diferentes poluentes em atmosferas consideradas puras e atmosferas consideradas poluídas.

Tabela 4: Comparação do Ar Puro e Poluído

Componente	Considerado “ar puro”	Típica atmosfera poluída
Material particulado	10 – 20 $\mu\text{g} / \text{m}^3$	260 – 3200 $\mu\text{g} / \text{m}^3$
Dióxido de enxofre	0,001 – 0,01 ppm	0,02 – 3,2 ppm
Dióxido de carbono	300 – 330 ppm	350 – 700 ppm
Monóxido de carbono	1 ppm	2 – 300 ppm
Óxidos de nitrogênio	0,001 – 0,01 ppm	0,30 – 3,5 ppm
Hidrocarbonetos totais	1 ppm	1 – 20 ppm
Oxidantes totais	0,01 ppm	0,01 – 1,0 ppm

Fonte: Schnelle Jr. e Brown (2000)

Apesar de todos os componentes poderem causar danos quando fora de um equilíbrio, alguns possuem maiores efeitos adversos e/ou ocorrem com mais frequência. Baseado em estatísticas, alguns poluentes foram selecionados para servirem como indicadores da qualidade do ar e, consequentemente, do nível de poluição atmosférica, conforme explicitado abaixo (CETESB, 2017):

2.4.1. Material particulado (MP):

Materiais particulados são sólidos e líquidos que se mantêm suspensos na atmosfera devido ao seu pequeno tamanho, como poeiras e fumaças. Eles podem ter origem em veículos automotores, indústrias, queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo ou reações químicas na atmosfera. Essas reações ocorrem principalmente com gases como dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COV).

Os danos desse tipo de poluente para a saúde são inversamente proporcionais ao seu diâmetro, ou seja, quanto menor as partículas, maiores os danos causados. Com isso, pode-se classificar as partículas em suspensão como:

- Partículas inaláveis (MP10): diâmetro menor que 10 μm .
 - Partículas inaláveis finas (MP2,5): diâmetro menor que 2,5 μm . São partículas respiráveis que podem atingir os alvéolos pulmonares.
 - Partículas inaláveis grossas: MP2,5-10 – diâmetro entre 2,5 e 10 μm . Ficam retidas na parte superior do sistema respiratório.
- Partículas Totais em Suspensão (PTS): diâmetro aerodinâmico menor que 50 μm .

2.4.2. Fumaça (FMC)

Relativa ao MP suspenso na atmosfera advindo de processos de combustão. Para determinar sua concentração, é utilizada a refletância da luz que incide na poeira.

2.4.3. Dióxido de enxofre (SO₂)

Proveniente principalmente da combustão de produtos que contém enxofre, como óleo diesel, gasolina e combustível industrial. É um dos principais responsáveis pela chuva ácida e pode reduzir a visibilidade na atmosfera ao reagir com outras substâncias presentes no ar e formar partículas de sulfato.

2.4.4. Óxidos de carbono (CO_x)

Resultado da queima de combustíveis orgânicos (combustíveis fósseis e biomassa, por exemplo). É emitido, principalmente, por veículos automotores, por isso é encontrado em maiores concentrações nas cidades, onde há maior circulação de veículos, mas também podem ser originados por fontes naturais. O CO é considerado o principal poluente atmosférico devido aos problemas de saúde, enquanto o CO₂ tem papel de destaque nas alterações climáticas, apesar de ser relativamente atóxico.

2.4.5. Ozônio (O₃) e oxidantes fotoquímicos

O ozônio na estratosfera tem a função de proteger a terra dos raios ultravioletas, mas o encontrado na atmosfera é tóxico. Oxidantes fotoquímicos são prejudiciais à saúde e à vegetação. Representam a mistura de poluentes secundários que se formam através de reações entre óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, na presença de luz solar, sendo o principal produto o ozônio. A névoa fotoquímica (“smog fotoquímico”) causa diminuição da visibilidade e é formada por essa categoria de poluentes.

2.4.6. Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)

São originados na queima incompleta e evaporação de combustíveis e produtos orgânicos, em veículos, indústrias, processos de estocagem e transferência de combustível, entre outros. Os gases e vapores podem ser compostos aromáticos monocíclicos, principalmente o benzeno, tolueno, etil-benzeno e xilenos. Participam da formação do ozônio e podem causar efeitos negativos na saúde.

2.4.7. Óxidos de Nitrogênio (NO_x)

Formados em processos de combustão, lançado principalmente por veículos. Quando em contato com a luz solar, se transforma de NO em NO₂, podendo causar prejuízos à saúde.

2.5. Métodos de medição

Para quantificar a concentração de poluentes presentes no ar, existem diversos métodos e equipamentos de medição com sensibilidades e precisões variáveis. Os aparelhos podem ser aplicados para monitoramento constante ou pontual. Independentemente disso, o treinamento do operador e a calibração são fundamentais. Os equipamentos podem ser escolhidos de acordo com as exigências legais ou dos recursos disponíveis para o controle (desde a compra, até operação e manutenção).

A qualidade do ar e as emissões são medidas de acordo com amostras atmosféricas. As emissões industriais são medidas de acordo com as concentrações e quantidade das emissões que saem diretamente dos dutos e chaminés, sendo fundamental para projetar e verificar a eficácia de equipamentos de controle e verificação do atendimento dos padrões legais.

As diferentes metodologias quantificam o material particulado em suspensão ou os gases e/ou vapores. Elas podem ser divididas entre: passivas, ativas, automáticas, sensores remotos e bioindicadores. As vantagens e desvantagens de cada um deles é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5: Métodos de medição de emissões atmosféricas

Equipamento	Vantagens	Desvantagens
Amostradores Passivos	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo custo • Operação simples • Não depende de energia elétrica • Útil no mapeamento espacial da poluição 	<ul style="list-style-type: none"> • Inexistente para alguns poluentes • Fornece apenas médias mensais ou semanais • Exige trabalho de desenvolvimento e análise • Resultados medidos não-imediatos
Amostradores Ativos	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo custo • Operação simples • Confiabilidade • Banco de dados/histórico 	<ul style="list-style-type: none"> • Fornece apenas médias diárias, e não horárias • Exige coleta e análise em laboratório
Analisadores Automáticos	<ul style="list-style-type: none"> • Engloba grande variedade de poluentes • Alta eficiência • Dados de hora em hora • Informações online 	<ul style="list-style-type: none"> • Em geral, são equipamentos complexos • Elevados custo • Exige especialização do operador • Altos custos de manutenção
Sensores Remotos	<ul style="list-style-type: none"> • Dados integrados espacialmente • Excelente medidor de fontes específicas • Abrange vários poluentes • Medidas integradas horizontal e verticalmente na atmosfera 	<ul style="list-style-type: none"> • Muito complexos e caros • Operação e calibração difíceis • Interferência das condições atmosféricas
Bioindicadores	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo custo 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de padronização • Requer análise

Fonte: Senai (2002)

De acordo com Lisboa e Kawano (2007), os resultados das medições são extremamente importantes para controlar os processos geradores da poluição, garantir o atendimento aos padrões de emissão, a eficiência dos equipamentos de controle, calcular fatores de emissão e avaliar impactos em alterações de processo, por exemplo. Não obstante, a análise da qualidade do ar auxilia no rastreamento da trajetória de poluentes na atmosfera, o estudo da formação e degradação de poluentes na atmosfera, a exposição aos poluentes, a necessidade da instalação de sistemas de alerta para poluentes, a análise da deposição de poluentes na fauna e na flora e o impacto de novas fontes de emissão.

2.6. Métodos de estimativa

Métodos confiáveis para estimar a exposição à poluentes atmosféricos são pontos chave para auxiliar nos processos de tomada de decisão relativos à saúde e desenvolvimento de políticas públicas, além de servir como ponto de partida para avaliações mais completas (WHO, 2016). As informações são importantes para implementar, monitorar e avaliar políticas que controlam a poluição do ar, ao mesmo tempo em que protegem a saúde e o meio ambiente (WHO, 2016).

De acordo com a EPA, fatores de emissão são representativos da quantidade de um poluente emitido para a atmosfera em uma atividade ou processo específico. Os fatores facilitam a estimativa de emissões de diversas fontes de poluição. Para calculá-los, o processo tradicional envolve uma média com diversos dados disponíveis sobre essa categoria de fontes e, com isso, se assume que o resultado pode ser utilizado para representar essas emissões à longo prazo. Fatores de emissão têm sido fundamentais para o desenvolvimento de inventários de emissões em âmbito local, regional e até nacional, que auxiliam o gerenciamento da qualidade do ar e no desenvolvimento de estratégias de controle de poluição. Mais recentemente, os fatores têm sido utilizados para estipular limites de emissões para licenças de operação para empreendimentos, de acordo com o local de implementação.

Algumas das principais metodologias para estimar a poluição industrial foram elaboradas por órgão e agências de proteção ambiental, sendo elas (REIS JR., 2012):

- OMS;
- Banco Mundial;
- Comissão Europeia (CORINAIR) e
- EPA (AP-42).

2.6.1. USEPA – AP-42

Existem diversas metodologias para estimar emissões atmosféricas, mas uma das mais reconhecidas e utilizadas atualmente é a elaborada pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA – Environmental Protect Agency) (REIS JR., 2012). Em 1972, a EPA compilou fatores de emissão para mais de 200 diferentes categorias de fontes e tipos de processo, no arquivo AP-42. Esse documento é dividido em 15 capítulos, agrupados em setores da indústria ou em grupos de fontes de emissões similares. Nesse caso, os fatores de emissão foram calculados com dados de testes, estudos de balanços de massa e estimativas. (EPA)

Algumas vantagens da AP-42 incluem a abrangência do número de fontes e a possibilidade de estimar as emissões de fontes fugitivas, relacionar poluição à quantidade de produto e matéria-prima. Por sua vez, as especificidades dos dados, que foram elaborados especialmente para a realidade dos EUA, podem não se adequar ao contexto de emissões, clima e relevo brasileiros (REIS JR., 2012).

2.7.Legislação brasileira

No âmbito federal, os limites máximos de emissões de poluentes são determinados pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), a agência regulamentadora que trabalha com base nas discussões sobre novos limites coordenadas pelo Ministério do Meio Ambiente e o IBAMA. As discussões são acompanhadas por representantes da indústria brasileira, dos governos municipais e da sociedade civil, para propiciar resoluções baseadas na realidade brasileira (MMA, 2017).

A localização do empreendimento é um fator importante pois, dependendo da topografia e condições climáticas, a qualidade do ar é influenciada, podendo favorecer a concentração ou dispersão de poluentes e ocasionar fenômenos climáticos como inversões térmicas (MMA, 2017). Por isso, as restrições de emissão determinadas na legislação variam de acordo com a qualidade do ar local, que pode estar em zonas saturadas ou não.

Em relação às emissões industriais, a participação dos órgãos estaduais de meio ambiente é fundamental, pois esses são responsáveis pelo licenciamento e fiscalização das atividades, além de conhecerem melhor seus territórios. Essas emissões são chamadas de fixas, pois ocupam uma área relativamente limitada e permitem uma avaliação direta na fonte, ao contrário das fontes móveis, que se dispersam pela comunidade. (MMA, 2017)

As principais legislações do CONAMA e da CETESB, no caso do estado de São Paulo, referentes às emissões atmosféricas e padrões de qualidade do ar são as seguintes:

- Resolução CONAMA nº5 (1989)

Instituiu o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar (PRONAR) e determinou a necessidade de estabelecer limites máximos de emissões e padrões de qualidade do ar.

- Resolução CONAMA nº 3 (1990)

Define os padrões de qualidade do ar previstos no PRONAR, baseado nas recomendações e normas da Organização Mundial da Saúde (OMS) de acordo com estudos sobre o impacto das emissões na saúde e bem-estar humanos.

- Resolução CONAMA nº 8 (1990)

Complementou o PRONAR com limites para concentração de determinados poluentes no ar, além de definir limites máximos de emissões por processos de combustão externa de fontes de poluição.

- Resolução CONAMA nº 382 (2006)

Estabelece limites máximos de emissão de poluentes de fontes fixas. Passou a definir os limites de acordo com o tipo de fonte e/ou combustível utilizados, enquanto as resoluções anteriores consideravam apenas a qualidade do ar, permitindo maiores emissões em locais com melhor qualidade do ar. É válida para fontes fixas instaladas a partir de 2007, sua data de vigência.

- Resolução CONAMA nº 436 (2011)

Semelhante e complementar à Resolução CONAMA nº 382, estabelece limites para fontes instaladas antes de 2 de janeiro de 2007. Restringe as emissões de 13 principais setores da indústria nacional, com limites de emissões e prazos de implementação para as mudanças necessárias nos processos.

- Lei Estadual nº 997 (1976)

Institui o Sistema de Prevenção e Controle da Poluição do Meio Ambiente.

- Decreto Estadual nº 8468 (1976)

Aprova o regulamento da Lei nº 997, determina regiões de controle da qualidade do ar de acordo com a situação do local, estabelece padrões de qualidade a serem atendidos, proibições e exigências, além de padrões de emissão de acordo com o tipo de fonte.

Além das legislações citadas acima, há normas de amostragem da ABNT, CETESB e da EPA, que estabelecem padrões para preservar a amostra, medir a vazão do gás, número e posicionamento de pontos de amostragem, entre outras especificações (REIS JR., 2012).

2.8. Métodos de controle

Por conhecimento do processo e/ou por determinações de órgãos ambientais, é possível instalar equipamentos de tratamento ou controle de poluição atmosférica. Eles são fabricados com diferentes níveis de eficiência de remoção de substâncias poluentes na corrente gasosa, normalmente determinados por um diâmetro, ou faixa de diâmetros, específicos (FERNANDES, 2003). Por essa peculiaridade de cada equipamento, muitas vezes apenas um não será capaz de remover todas os poluentes. Para garantir a remoção necessária,

uma sugestão é a combinação de mais de um equipamento, em série, em uma mesma unidade (FEAM, 2015). O uso de pré-coletores, dessa forma, melhora o desempenho e aumenta a vida útil dos equipamentos de coleta final, que são mais caros e complexos (FERNANDES, 2003).

Para a problemática das emissões advindas de transporte, uma linha de ação a ser considerada é a substituição de veículos antigos por novos, com menores fatores de emissão (FEAM, 2015).

De acordo com Fernandes (2003), para o controle das emissões de fontes pontuais, têm-se diversos equipamentos, que incluem câmaras gravitacionais, ciclones, precipitadores eletrostáticos, lavadores de gases, condensadores, incineradores, filtros, absorção e adsorção. Cada uma dessas tecnologias tem suas limitações e são recomendadas para usos diferentes, de acordo com os mecanismos de controle envolvidos, o uso ou não de água na ação de controle, o tipo e natureza dos poluentes, a vazão das fontes, a eficiência de retenção desejada, as condições locais e a forma desejada para apresentação e destinação do poluente coletado.

2.9. Indústria e a poluição atmosférica

Indústrias são consumidoras de grandes quantidades de matéria prima e gerados resíduos sólidos e efluentes líquidos. No contexto da poluição atmosférica, a queima de combustível, gás ou óleo para gerar calor e energia libera gases tóxicos que prejudicam a qualidade do ar. Esse conjunto de fatores é responsável por boa parte da degradação ambiental e esgotamento dos recursos naturais que vem ocorrendo atualmente. Dessa forma, o controle das emissões através do uso de tecnologias mais limpas e processos mais eficientes é fundamental para garantir um meio ambiente adequado para todos.

3. METODOLOGIA

O estudo de caso foi realizado em uma indústria mecânica de grande porte, localizada no interior do estado de São Paulo.. Foi realizado um inventário com a compilação das fontes de emissão atmosféricas da fábrica, as estimativas anuais de emissões atmosféricas pontuais e fugitivas, baseado na norma AP-42 da USEPA, medições atmosféricas de acordo com o exigido pela legislação brasileira (Tabela 6).

Tabela 6: Limites de emissões atmosféricas na fábrica do estudo

POLUENTES	CONAMA Nº 436 (mg/m ³)		CONAMA Nº 8 (g/m kcal)
	COMBUSTÃO EXTERNA DE GÁS NATURAL	COMBUSTÃO EXTERNA DE ÓLEO COMBUSTÍVEL	COMBUSTÃO EXTERNA DE ÓLEO COMBUSTÍVEL
PM ₁₀	-	250	1500
SO ₂	-	2700	5000
NO ₂	400	1000	-

Fonte: O autor

3.1. Inventário

Primeiramente, foi necessário fazer um levantamento de todos os tipos de fontes de emissão atmosféricas da fábrica e a quantidade de cada uma delas.

Para as emissões pontuais, foram analisados os processos cujas emissões saiam diretamente por uma chaminé. As fontes identificadas foram os fornos de tratamento térmico, máquinas de lavar, geradores de emergência e casa de bombas.

Já as fontes fugitivas foram definidas por conhecimento de processo, tendo os potenciais de emissão sido separados entre originados por processo, podendo ocorrer reação química ou apenas consumo de matéria prima. As principais fontes foram uso de produtos químicos, usinagem, solda e imersão.

3.2. Estimativas

O método utilizado para os cálculos foi o AP-42, da U.S.E.P.A, que os elabora de acordo com o consumo de matéria prima ao longo de um ano inteiro, com os fatores de emissão e dados da fábrica e dos equipamentos (Equação 1):

$$E = A * EF * (1 - ER/100) \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

E = Emissão atmosférica (ton. /Ano);

A = Taxa de execução da atividade (variável de acordo com a categoria de emissão);

EF = Fator de emissão característico da atividade (variável de acordo com a categoria de emissão);

ER = Eficiência do equipamento de controle de poluição utilizado (%).

As fontes de emissão foram categorizadas de acordo com seu processo, dependendo do uso de produtos e possíveis reações químicas. Foi elaborado um banco de dados com o consumo da fábrica de insumos em 2016. As categorias de emissões, a quantidade delas e os dados necessários para os cálculos estão na Tabela 7:

Tabela 7: Relação das fontes de emissão da fábrica

Categoria	Nº de fontes	Capítulo AP-42	Dados necessários
Combustão de Gás Natural	9	1.4	<ul style="list-style-type: none"> • Quantidade máxima de calor • Nº de fontes idênticas • Poder de aquecimento do Gás Natural (AP-42) • Nº horas trabalhadas
Gerador à Diesel	4	3.3	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo de diesel • Capacidade calorífica do diesel • Nº máximo de horas no ano (AP-42)
Solda	2	12.19	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de barra de solda • Quant. utilizada • Fatores de emissão (AP-42) • Concentração de metais nas barras (FISPQ e fichas técnicas)
Granalha	1	13.2.6	<ul style="list-style-type: none"> • Quant. de abrasivo utilizado • Tempo de jateamento no ano • Fator de emissão (AP-42)
Imersão	6	4.2.2.	<ul style="list-style-type: none"> • Quant. de produto químico utilizado • Porcentagem volátil • Porcentagem de HAP
Lavadoras	39	4.6	<ul style="list-style-type: none"> • Número de máquinas • Fator de emissão (AP-42) • Horas de operação
Produtos Químicos	-	-	<ul style="list-style-type: none"> • Quant. de produto químico utilizado • Porcentagem volátil • Porcentagem de HAP
Usinagem	280	12.5	<ul style="list-style-type: none"> • Quant. de produtos químicos utilizados (óleo) • Porcentagem volátil • Porcentagem de HAP • Quant. de material processado (aço forjado) • Fator de emissão (AP-42)
Combustão de GLP	-	1.5	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo de GLP • Fatores de emissão (AP-42)

Fonte: O autor

A AP-42 fornece uma listagem dos componentes voláteis e hidrocarbonetos que são prejudiciais à saúde e ao meio ambiente. Para verificar os riscos oferecidos pelos produtos utilizados na fábrica, foi feito um levantamento da composição química de todos os produtos químicos. Ambas as listagens (da AP-42 e da fábrica) foram utilizadas para estimar as emissões atmosféricas por evaporação de químicos.

3.3. Medições

A licença de operação da fábrica em estudo não determina a frequência que o monitoramento deve ser realizado, portanto, foi determinado que seriam realizadas medições a cada 3 anos e o acompanhamento das estimativas de emissões seria atualizado anualmente para garantir que nenhuma mudança de processo teve efeito crítico nas emissões.

As medições foram realizadas nas fontes de combustão externa de gás natural (exigência legal), por uma empresa especializada no assunto. A combustão do gás natural, que ocorre em alguns fornos da fábrica, tem como parâmetro de controle apenas o NO₂. Por sua vez, as medições das fontes de combustão externa de óleo diesel foram agendadas para o início de 2018 e, portanto, não estão inclusas nesse trabalho.

Os equipamentos utilizados foram:

- Gasômetro;
- Pitot;
- Barômetro;
- Orsat – analisador químico de gases de combustão;
- Balança;
- Sistema de coleta isocinética;
- Testo 327 – analisador eletrônico de gases de combustão e
- Sistema de coleta para óxidos de nitrogênio.

Os parâmetros analisados, por sua vez, foram as emissões de NO₂ e amônia, quando aplicável.

3.4. Medições x Estimativas

Para analisar a aplicabilidade dos fatores de emissão utilizados, foi realizada uma comparação entre os resultados estimados e os medidos. As unidades dos cálculos, fornecidas em toneladas por ano, foram convertidas para mg/m³.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do inventário, das medições na fonte e a comparação entre eles estão descritas abaixo.

4.1. Levantamento das fontes

O inventário, apresentado na .

Tabela 8, é um resumo do trabalho do levantamento das fontes de emissão atmosféricas e as emissões das respectivas categorias.

Tabela 8: Levantamento das Fontes de emissões atmosféricas da fábrica do estudo

Categoría	Fontes	Quant.	Saída	Controle
Combustão GN				
	Fornos Contínuos	2	Chaminé	Não há
	Fornos Rotativos	2	Chaminé	Não há
	Geradores RX	5	Chaminé	Não há
Gerador a diesel				
	Casa de Bombas	2	Chaminé	Não há
	Geradores de Emergência	2	Chaminé	Não há
Solda				
	Soldadora	2	Fugitiva	Não há
Granalha				
	Shot de Granalha	1	Chaminé	Filtro úmido
Imersão				
	Banho de óleo	3	Fugitiva	Não há
	Banho temp.	2	Fugitiva	Não há
	Queima de Retífica	1	Fugitiva	Não há
Lavadoras				
	Fornos Contínuos	5	Chaminé	Não há
	Nitretação	2	Chaminé	Não há
	Prédio 20	16	Chaminé	Não há
	Prédio 40	7	Chaminé	Não há
	Retífica	9	Chaminé	Não há
Produtos Químicos				
	Produtos Químicos	-	Fugitiva	Não há
Usinagem				
	Brochadeira	28	Fugitiva	Não há
	Brunidora	21	Fugitiva	Não há
	Chanfradora	7	Fugitiva	Não há
	Faceadora	6	Fugitiva	Não há
	Fornos Contínuos	5	Fugitiva	Não há
	Hobber	41	Fugitiva	Não há
	Hobber	41	Fugitiva	Não há

Categoria	Fontes	Quant.	Saída	Controle
	Nitretação	2	Fugitiva	Não há
	Prensa	2	Fugitiva	Não há
	Retífica	33	Fugitiva	Não há
	Revenimento	5	Fugitiva	Não há
	Shaver	21	Fugitiva	Não há
	Torno	68	Fugitiva	Não há
Combustão GLP				
	Empilhadeiras e Paleteiras	-	Chaminé	Não há

Fonte: O autor

A Tabela 9 apresenta o levantamento dos produtos químicos utilizados em 2016 e as respectivas composições químicas (Chemical Abstracts Services – CAS).

Tabela 9: Produtos utilizados na fábrica do estudo e suas composições

Nome Comercial	Substância	CAS
ACETILENO	Acetileno	00074-86-2
ÁCIDO MURIÁTICO	Ácido Clorídrico	7647-01-0
ADESIVO INDUSTRIAL	Acetona	67-64-1
	Metil etil cetona	78-93-3
	Polímero de Acrilonitrila-butadieno	9003-18-3
	Resina p-terc-butilfenol-formaldeído	25085-50-1
	Amônia, o-cresol, formaldeído, resina fenólica	55185-45-0
	Ácido Salicílico	69-72-7
	Óxido de Zinco	1314-13-2
	Fenol	108-95-2
	o-Cresol	95-48-7
ALCOOL 96%	Etanol	64-17-5
	Água	7732 – 18-5
ALCOOL EM GEL - BIOGEL	Triclosan	3380-34-5
	Álcool	64-17-5
	Álcool Isopropílico	67-63-0
ALCOOL ISOPROPÍLICO	Álcool Isopropílico	67-63-0
CASCOLA TRADICIONAL	Hidrocarboneto C6-C8, n-alcanos, isoalcanos	1174918-85-4
	Acetona	67-64-1
	Acetato de etilo	141-78-6
	Acetato de sec-butila	105-46-4
	Butanona	78-93-3

Nome Comercial	Substância	CAS
	Colofónia	850-09-7
	Óxido de Zinco	1314-13-2
GÁS AMÔNIA	Amônia	7664-41-7
GÁS GLP	Gás liquefeito de petróleo	68476-85-7
GÁS NATURAL	Hidrogênio	1333-74-0
	Oxigênio	7782-44-7
	Nitrogênio	7727-37-9
	Dióxido de Carbono	124-38-9
	Metano	74-82-8
	Etano	74-84-0
	Propano	74-98-6
	Iso Butano	75-28-5
	Normal Butano	106-97-8
	Iso Pentano	78-78-4
	Normal Pentano	109-66-0
	Hexano e superiores	110-54-3
	Enxofre total	7704-34-9
	Gás sulfídrico	7783-06-04
	Tetrahidrotiofeno	110-01-0
HIDRÓXIDO DE SÓDIO 0,1N ou 1N	2-metilpropano-2-tiol-(terc butil mercaptana)	75-66-1
	Soda Caustica	1310-73-2
HIDRÓXIDO DE SÓDIO A 50%	Hidróxido de sódio	1310-73-2
LIMPA CONTATO	n-hexano	110-54-3
	n-propano	74-98-6
	n-butano	106-97-8
LIMPADOR INDUSTRIAL (AEROSOL)	n-hexano	110-54-3
	Toluol	108-88-3
	Propano	74-98-6
	Butano	106-97-8
LOCTITE 242	hidroperóxido de cumeno	80-15-9
	Dietiltoluidina	613-48-9
	1,4 Naftoquinona	130-15-4
SOLUÇÃO DE THIOUREIA	Tioureia	62-56-6
SOLVENTE SS	Etanol	64-17-5
	Éter Butílico do Etilenoglicol	111-76-2
TINTA SPRAY BRANCO	Propano	74-98-6

Nome Comercial	Substância	CAS
TINTA SPRAY PRETO	Butano	106-97-8
	Solvente Hidrocarboneto Alifático	64742-88-7
	Etil Benzeno	100-41-4
	Xileno	1330-20-7
	Acetona	67-64-1
	Carbonato de Cálcio	471-34-1
	Dioxido de Titânio	13463-67-7
TINTA SPRAY VERM	n-Butano	106-97-8
	Acetona	67-64-1
	Etilbenzeno	100-41-4
	Xileno	1330-20-7
	1,2,4-Trimetilbenzeno	95-63-6
	Nafta de baixo ponto de ebulação	64742-95-6
	Negro de Fumo	1333-86-4
	1,3,5-Trimetilbenzeno	108-67-8
	Ácidos Graxos de amina	147900-93-4
	Ácidos Graxos de amina	85711-55-3
SUPERCRL REMOVEDOR	Etilbenzeno	100-41-4
	Xileno	1330-20-7
	n-Butano	106-97-8
	Acetona	67-64-1
	2 Butoxietanol	111-76-2
BIO- GERM FRESH	Isopropanol	67-63-0
	Hidróxido de Sódio	1336-21-6
	Monoetanolamina	141-43-5
	Nonilfenol etoxilado	9016-45-9
	Álcool etílico 95%	64-17-5
POT&PAN DETERGENT	Nonilfenol etoxilado 9 MOE	9016-45-9
	Cloreto de Alquil Dimetil Benzil Amônio: 1,00%	68424-85-1
	EDTA tetrassódico 40%	64-02-8
	Dodecilbenzeno sulfonato de sódio	25155-30-0
	Alquibenzenosulfonatos lineares	27323-41-7
	Álcool éter sulfatos	9004-82-4
	Alcalonaminas de ácidos gordos	68603-42-9

Nome Comercial	Substância	CAS
TINTAS EPOXI	Etanol	64-17-5
	Propano-1,2-diol	57-55-6
	Etanolamina	102-71-6
	Sulfatos	10034-99-8
	Ácido Sulfúrico em solução	7664-93-9
HHS 2000	Resina epóxi	25068-38-6
	Xileno	1330-20-7
	Dióxido de silício	14808-60-7
	Polímero de alto peso molecular	-
	Butil Glicol	111-76-2
	Etil glicol	-
RESÍDUO INFLAMÁVEL**	Hidrocarboneto aromático	64742-95-6
	Butano	106-97-8
	Propano	74-98-6
RESÍDUO INFLAMÁVEL**	n-Hexano	110-54-3
	Etanol	64-17-5
	Éter Butílico do Etilenoglicol	111-76-2

Fonte: O autor

4.2. Estimativas

As emissões atmosféricas foram estimadas individualmente para cada fonte. Os cálculos realizados e os dados utilizados para cada uma das categorias estão descritos a seguir.

4.2.1. Fontes de combustão de gás natural

Os dados utilizados foram os seguintes (Tabela 10):

Tabela 10: Dados das estimativas - combustão de gás natural

	Quant.	Unidade	Fonte
Máx. Quant. De Calor	0,75	MJ/hr	Aba Inventário GN
Poder de Aquecimento do Gás Natural:	992	J/JGN	AP-42, Tabelas 1.4-1, 2 e 3 Joule de Gás Natural
Max. Horas:	8760	hrs/ano	Assumido – 24h/dia, 365 dias/ano
Quant. Max. De Gás Natural:	6,61	MJGN/ano	(Máx. Quant. De Calor/Poder de Aquecimento do Gás Natural) x Hrs

Fonte: O autor

Assim, as emissões referentes à combustão de gás natural foram (Tabela 11):

Tabela 11: Estimativas de emissões - combustão de gás natural

Poluentes Críticos	Fator de Emissão	Taxa de Potencial de Emissão
NOx	0,0418 ton./MJGN	0,28 tpa
CO	0,0351 ton./MJGN	0,23 tpa
PM ₁₀	0,0032 ton./MJGN	0,02 tpa
VOC	0,0023 ton./MJGN	0,02 tpa
SO2	0,0003 ton./MJGN	0,00 tpa
Lead	0,0000 ton./MJGN	0,00 tpa
Gases do Efeito Estufa		
CO ₂	50,1583 ton./MJGN	331,70 tpa
N ₂ O	0,0009 ton./MJGN	0,01 tpa
CH ₄	0,0010 ton./MJGN	0,01 tpa
HAP		
Arsenic	0,0000 ton./MJGN	0,00 tpa
Benzene	0,0000 ton./MJGN	0,00 tpa
Beryllium	0,0000 ton./MJGN	0,00 tpa
Cadmium	0,0000 ton./MJGN	0,00 tpa
Chromium	0,0000 ton./MJGN	0,00 tpa
Cobalt	0,0000 ton./MJGN	0,00 tpa
Dichlorobenzene	0,0000 ton./MJGN	0,00 tpa
Formaldehyde	0,0000 ton./MJGN	0,00 tpa
Hexane	0,0008 ton./MJGN	0,00 tpa
Manganese	0,0000 ton./MJGN	0,00 tpa
Mercury	0,0000 ton./MJGN	0,00 tpa
Naphthalene	0,0000 ton./MJGN	0,00 tpa
Nickel	0,0000 ton./MJGN	0,00 tpa
PAHs	0,0000 ton./MJGN	0,00 tpa
Selenium	0,0000 ton./MJGN	0,00 tpa
Toluene	0,0000 ton./MJGN	0,00 tpa

Fonte: O autor

4.2.2. Fontes de geração de energia de emergência à diesel

Os dados utilizados foram os seguintes (Tabela 12):

Tabela 12 Dados das estimativas - combustão de óleo diesel

	Quant.	Unidade	Fonte
Uso Máximo de Combustível:	0,2	m ³ /h	Dados do equipamento
Capacidade Calorífica do Diesel:	5	MMBtu/m ³	AP-42, Tabela 3.3-1
Calor Máx. Inserido:	0,965	MMBtu/hr	Uso de Combustível x Capacidade Calorífica
Máx. de Horas:	500	hrs	Guia para Geradores de Emergência EPA - EPA memorandum 9/6/1995

Fonte: O autor

Assim, as emissões referentes à combustão de óleo diesel em geradores de emergência foram (Tabela 13):

Tabela 13: Estimativas de emissões - combustão de óleo diesel

Poluentes Críticos	Fatores de Emissão Baseado na Geração de Calor	Taxa de Potencial de Emissão
NOx	0,0020 ton./MMBtu	0,97 tpa
CO	0,0004 ton./MMBtu	0,21 tpa
PM	0,0001 ton./MMBtu	0,07 tpa
PM ₁₀	0,0001 ton./MMBtu	0,07 tpa
PM _{2,5}	0,0001 ton./MMBtu	0,07 tpa
VOC	0,0002 ton./MMBtu	0,08 tpa
SO ₂	0,0001 ton./MMBtu	0,06 tpa
Lead	0,0000 ton./MMBtu	0,00 tpa
Gases do Efeito Estufa		
CO ₂	0,0744 ton./MMBtu	35,89 tpa
N ₂ O	0,0000 ton./MMBtu	0,00 tpa
CH ₄	0,0000 ton./MMBtu	0,00 tpa
HAP		
1,3-Butadiene	0,0000 ton./MMBtu	0,02 tpa
Acetaldehyde	0,0008 ton./MMBtu	0,37 tpa
Acrolein	0,0001 ton./MMBtu	0,04 tpa
Benzene	0,0009 ton./MMBtu	0,45 tpa
Formaldehyde	0,0012 ton./MMBtu	0,57 tpa
Naphthalene	0,0001 ton./MMBtu	0,04 tpa
PAH	0,0002 ton./MMBtu	0,08 tpa
Toluene	0,0004 ton./MMBtu	0,20 tpa
Xylene	0,0003 ton./MMBtu	0,14 tpa

Fonte: O autor

4.2.3. Fontes de solda

Os dados utilizados foram os seguintes (Tabela 14):

Tabela 14: Dados das estimativas - solda

			Concentração de Metais nas Barras de Solda (FSPQ e Fichas Técnicas)						
Eletrodo	Quant. Máx. (kg/ano)	Fator de Correção	FE kg/kg barra	Cr kg/kg barra	Cr VI kg/kg barra	Co kg/kg barra	Mn kg/kg barra	Ni kg/kg barra	Pb kg/kg barra
GMAW, MIG, TIG									
		0,5464	0,01						
SMAW, FCAW	18,14								
E309L-17	0,60	0,2865	0,02	0,25			0,025	0,25	
61.30	1,90	0,2865	0,02	0,25			0,025	0,125	
46	1,27	0,2865	0,02				0,1		
48		0,2865	0,02				0,08		
Outros									
			0,05						

Assim, as emissões referentes à solda foram (Tabela 15 e Tabela 16):

Tabela 15: Estimativas de emissões - solda

		Fator de Emissão						
Eletrodo	PM10,2,5 kg/kg barra	Cr kg/kg barra	Cr VI kg/kg barra	Co kg/kg barra	Mn kg/kg barra	Ni kg/kg barra	Pb kg/kg barra	
GMAW, MIG, TIG								
	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SMAW, FCAW								
E309L-17	0,006	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	
61.30	0,006	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	
46	0,006	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	
48	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Outros								
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	

Fonte: O autor

Tabela 16: Estimativas de emissões - solda (continuação)

Eletrodo	Potencial de Emissões						
	PM10,2,5 Tons/ano	Cr Tons/ano	Cr VI Tons/ano	Co Tons/ano	Mn Tons/ano	Ni Tons/ano	Pb Tons/ano
GMAW, MIG, TIG							
	0,000099	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
SMAW, FCAW							
E309L-17	0,000003	0,000001	0,000000	0,000000	0,000000	0,000001	0,000000
61.30	0,000003	0,000001	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
46	0,000011	0,000000	0,000000	0,000000	0,000001	0,000000	0,000000
48	0,000007	0,000000	0,000000	0,000000	0,000001	0,000000	0,000000
Outros							
	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

Fonte: O autor

4.2.4. Fontes de jateamento de granalha

Os dados utilizados e as emissões referentes ao jateamento de granalha foram (Tabela 17):

Tabela 17: Dados das estimativas - jateamento de granalha

	Quant.	Unidade	Fonte
Fator de Emissão:	0,69	kg/ton. abrasivo	AP-42, Tabela 13.2.6-1
Tempo Máx. de Jateamento:	8760	hr/ano	Assumido, pode ser ajustado de acordo com produção máxima
Quant. De Abrasivo:	55,3288	ton./ano	Consumo de 2016
Emissões PM₁₀:	0,04	tpa	Quant. Usada x FE x tempo / 1000

Fonte: O autor

4.2.5. Fontes de imersão de peças em produtos químicos

Os dados utilizados e as emissões referentes à imersão de peças em produtos químicos foram (Tabela 18):

Tabela 18: Dados e Estimativas - imersão em produtos químicos

Ácido Nítrico			
Quant. Máx.:	0,102195	m ³ /ano	Máxima Quantidade Utilizada
Porcentagem Volátil (VOCp):	0	ton./m ³	FISPQ, composição máxima volátil
Porcentagem HAP (HAPp):	0	ton./m ³	FISPQ, composição máxima de HAP
Emissões Voláteis:	0,00	tpa	Max Usado x VOC
Emissões HAP:	0,00	tpa	Max Usado x HAP
Álcool Etílico			
Quant. Máx.:	1,8925	m ³ /ano	Máxima Quantidade Utilizada
Porcentagem Volátil (VOCp):	0,99434	ton./m ³	FISPQ, composição máxima volátil
Porcentagem HAP (HAPp):	0	ton./m ³	FISPQ, composição máxima de HAP
Emissões Voláteis:	1,88	tpa	Max Usado x VOC
Emissões HAP:	0,00	tpa	Max Usado x HAP
Ácido Clorídrico			
Quant. Máx.:	0,09841	m ³ /ano	Máxima Quantidade Utilizada
Porcentagem Volátil (VOCp):	0	ton./m ³	FISPQ, composição máxima volátil
Porcentagem HAP (HAPp):	0,44	ton./m ³	FISPQ, composição máxima de HAP
Emissões Voláteis:	0,00	tpa	Max Usado x VOC
Emissões HAP:	0,04	tpa	Max Usado x HAP
Surtec DR 043			
Quant. Máx.:	0,3028	m ³ /ano	Máxima Quantidade Utilizada
Porcentagem Volátil (VOCp):	0	ton./m ³	FISPQ, composição máxima volátil
Porcentagem HAP (HAPp):	0	ton./m ³	FISPQ, composição máxima de HAP
Emissões Voláteis:	0,00	tpa	Max Usado x VOC
Emissões HAP:	0,00	tpa	Max Usado x HAP

Fonte: O autor

4.2.6. Fontes de combustão de GLP

Os dados utilizados foram os seguintes (Tabela 19):

Tabela 19: Dados das estimativas - combustão de GLP

	Quant.	Unidade	Fonte
Número de Unidades	24,2	ton./ano	Consumo de 2016
Fatores de emissão			
PM Total	95,84	kg/m ³	
SO₂	0,010782	kg/m ³	
NO_x	1,797	kg/m ³	
CO₂	1713,14	kg/m ³	
CO	1,00632	kg/m ³	
CH₄	0,02396	kg/m ³	
N₂O	0,10782	kg/m ³	
Densidade	579,832	kg/m ³	Dados do fornecedor

Fonte: O autor

Assim, as emissões referentes à combustão de GLP foram (Tabela 20):

Tabela 20: Estimativas de emissões - combustão de GLP

Poluente crítico	NO _x	CO	VOC	PM	PM ₁₀	PM _{2,5}	SO ₂	Lead	HAPs	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
Quant. (ton/ano)	0,08	0,04		4			0			71,55	0	0

Fonte: O autor

4.2.7. Fontes de lavadoras

Os dados utilizados foram os seguintes (Tabela 21):

Tabela 21 : Dados das estimativas - lavadoras

	Quant.	Unidade	Fonte
Número de Unidades:	41		Real
Fator de Emissão:	0,33	ton./ano/unidade	AP-42, Table 4.6-2
Horas de Operação:	8760	hr	Assumido
Eficiência de Controle:	0	%	AP-42, Tabela 4.6-3 - formas de controle

Fonte: O autor

Assim, as emissões referentes à lavadoras de peças foram (Tabela 22):

Tabela 22: Estimativas de emissões - lavadoras

	Quant.	Unid.	Equação
Emissões Voláteis:	13,53	tpa	No. Unidades x FE x (1 - % eficiência)

Fonte: O autor

4.2.8. Fontes de uso de produtos químicos

Os itens da Tabela 9 foram comparadas às listas de substâncias voláteis e hidrocarbonetos da AP-42 (Anexos 1 e 2). A Tabela 23 traz os produtos que tiveram alguma substância listada na norma dos Estados Unidos e os cálculos referentes às suas emissões.

Tabela 23: Dados e Estimativas - uso de produtos químicos

ÁCIDO MURIÁTICO			
Quant. Máx.:	0,204	m ³ /ano	
Porcentagem Volátil (VOCp):	0%	por peso	FISPQ

Porcentagem HAP (HAPp):	37%	por peso	FISPQ
Densidade (D):	1,16	ton./m ³	SG x 8.34 ton./m ³
Comp. Volátil (VOC _m):	0,00	ton./m ³	VOC _p x D
Comp. HAP (HAP _m):	0,43	ton./m ³	HAP _p x D
Emissões - Volátil:	0,00	tpa	Q x VOCm
Emissões - HAP:	0,088	tpa	Q x HAPm
ALCOOL EM GEL – BIOGEL			
Quant. Máx.:	0,152	m ³ /ano	
Porcentagem Volátil (VOCp):	10%	por peso	FISPQ
Porcentagem HAP (HAPp):	0	por peso	FISPQ
Densidade (D):	0,89	ton./m ³	SG x 8.34 ton./m ³
Comp. Volátil (VOC _m):	0,09	ton./m ³	VOC _p x D
Comp. HAP (HAP _m):	0,00	ton./m ³	HAP _p x D
Emissões - Volátil:	0,01	tpa	Q x VOCm
Emissões - HAP:	0,00	tpa	Q x HAPm
ALCOOL ISOPROPÍLICO			
Quant. Máx.:	0,038	m ³ /ano	
Porcentagem Volátil (VOCp):	100%	por peso	FISPQ
Porcentagem HAP (HAPp):	0	por peso	FISPQ
Densidade (D):	0,80	ton./m ³	SG x 8.34 ton./m ³
Comp. Volátil (VOC _m):	0,80	ton./m ³	VOC _p x D
Comp. HAP (HAP _m):	0,00	ton./m ³	HAP _p x D
Emissões - Volátil:	0,03	tpa	Q x VOCm
Emissões - HAP:	0,00	tpa	Q x HAPm
CASCOLA TRADICIONAL			
Quant. Máx.:	0,0043	m ³ /ano	
Porcentagem Volátil (VOCp):	60%	por peso	FISPQ
Porcentagem HAP (HAPp):	5%	por peso	FISPQ
Densidade (D):	0,86	ton./m ³	SG x 8.34 ton./m ³
Comp. Volátil (VOC _m):	0,52	ton./m ³	VOC _p x D
Comp. HAP (HAP _m):	0,04	ton./m ³	HAP _p x D
Emissões - Volátil:	0,00226	tpa	Q x VOCm
Emissões - HAP:	0,00019	tpa	Q x HAPm
LIMPA CONTATO			
Quant. Máx.:	0,028	m ³ /ano	
Porcentagem Volátil (VOCp):	80%	por peso	FISPQ
Porcentagem HAP (HAPp):	70%	por peso	FISPQ
Peso Específico (SG):	1		FISPQ
Densidade (D):	1,80	ton./m ³	SG x 8.34 ton./m ³
Comp. Volátil (VOC _m):	1,44	ton./m ³	VOC _p x D
Comp. HAP (HAP _m):	1,26	ton./m ³	HAP _p x D
Emissões - Volátil:	0,04	tpa	Q x VOCm
Emissões - HAP:	0,04	tpa	Q x HAPm

LIMPADOR INDUSTRIAL (AEROSOL)			
Quant. Máx.:	0,163	m ³ /ano	
Porcentagem Volátil (VOC _p):	55%	por peso	FISPQ
Porcentagem HAP (HAP _p):	55%	por peso	FISPQ
Peso Específico (SG):	1		FISPQ
Densidade (D):	1,80	ton./m ³	SG x 8.34 ton./m ³
Comp. Volátil (VOC _m):	0,99	ton./m ³	VOC _p x D
Comp. HAP (HAP _m):	0,99	ton./m ³	HAP _p x D
Emissões - Volátil:	0,16	tpa	Q x VOC _m
Emissões - HAP:	0,16	tpa	Q x HAP _m
TINTA SPRAY			
Quant. Máx.:	0,646	m ³ /ano	
Porcentagem Volátil (VOC _p):	65%	por peso	FISPQ
Porcentagem HAP (HAP _p):	45%	por peso	FISPQ
Peso Específico (SG):	0,8		FISPQ
Densidade (D):	0,80	ton./m ³	SG x 8.34 ton./m ³
Comp. Volátil (VOC _m):	0,52	ton./m ³	VOC _p x D
Comp. HAP (HAP _m):	0,36	ton./m ³	HAP _p x D
Emissões - Volátil:	0,34	tpa	Q x VOC _m
Emissões - HAP:	0,23	tpa	Q x HAP _m
TINTAS EPOXI			
Quant. Máx.:	0,665	m ³ /ano	
Porcentagem Volátil (VOC _p):	50%	por peso	FISPQ
Porcentagem HAP (HAP _p):	50%	por peso	FISPQ
Densidade (D):	1,32	ton./m ³	SG x 8.34 ton./m ³
Comp. Volátil (VOC _m):	0,66	ton./m ³	VOC _p x D
Comp. HAP (HAP _m):	0,66	ton./m ³	HAP _p x D
Emissões - Volátil:	0,44	tpa	Q x VOC _m
Emissões - HAP:	0,44	tpa	Q x HAP _m

Fonte: O autor

4.2.9. Fontes de Usinagem

Os dados utilizados e as emissões referentes à usinagem foram (Tabela 24):

Tabela 24: Dados e Estimativas - usinagem

Emissões HAP e Voláteis	Quant.	Unidade	Fonte
Quant. Máx.:	390	m ³ /ano	
Porcentagem Volátil	10%	por peso	
Porcentagem HAP	0%	por peso	
Densidade	1,07	ton./m ³	
Porcentagem Volátil	0,11	ton./m ³	%VOL x Densidade
Porcentagem HAP	0,00	ton./m ³	%HAP x Densidade (HAP é Glycol Ether)
Emissões Voláteis	41,89	tpa	Quant. Máx. x VOL
Emissões HAP	0,00	tpa	Quant. Máx. x HAP
Emissões de PM10			
Máx. Material Processado	7.000	ton./ano	
Fator de Emissão	0,045	kg/ton.	AP-42, Tabela 12.5-1, Sem controle de poluentes
Emissões PM10	0,32	tpa	Max Processado x FE

Fonte: O autor

4.3. Medições

As medições das emissões atmosféricas foram realizadas para as fontes que realizam combustão do gás natural no seu processo. Essas devem ser monitoradas por exigências legais (Resolução CONAMA nº436), tais quais as fontes de combustão de óleo diesel (Resolução CONAMA nº 436 e nº 8), cujas medições foram agendadas para o início de 2018.

O gás natural é utilizado nos fornos contínuos, nos fornos rotativos e nos geradores de gás RX, que é utilizado nos outros fornos. A medição do gerador de gás RX foi inviabilizada pela baixa vazão de gases, que não atingiu o valor mínimo para ser analisada.

O forno contínuo, por sua vez, foi medido em três pontos diferentes: o queimador, saída da parte que realiza efetivamente a combustão para aquecer o forno, e a entrada e saída dos fornos, que queimam gás natural para criar uma cortina de fogo que impede a atmosfera controlada do gás de sair pelas portas quando estas são abertas para entrada e saída de peças.

O resultado das medições é (Tabela 25):

Tabela 25: Resultados das medições atmosféricas

NO ₂	Concentração nos gases (mg/Nm ³)	Vazão nas condições normais: Base seca (Nm ³ /h)	Taxa de emissão (kg/h)
Forno rotativo	31,9	4145	0,133
Forno contínuo: entrada	31,7	1297	0,042
Forno contínuo: saída	31,5	1152	0,037
Forno contínuo: queimador	31,6	12400	0,392

Fonte: O autor

4.4. Medições x Estimativas

Foi realizado um comparativo entre os valores determinados pela legislação, os valores medidos e os estimados (Tabela 26).

Tabela 26: Comparativo entre legislação, medições e estimativas

NO ₂ (mg/m ³)	CONAMA Nº 436	Medições	Estimativas
Forno rotativo	400	31,9	5,86
Forno contínuo (total)		31,7	0,49

Fonte: O autor

4.5. Inventário

O inventário foi elaborado com a compilação dos dados das fontes, das exigências legais, das estimativas de emissões e das medições *in loco* (Tabela 27).

Tabela 27: Resumo do inventário

Categoria	Fontes	Quant.	Saída	Ton. /Ano											
				NO _x	CO	VOC	PM	PM ₁₀	PM _{2,5}	SO ₂	Lead	HAPs	CO2	N ₂ O	CH ₄
TOTAL				1,32	0,48	58,42	4,45	0,44	0,44	0,07	0,00	2,91	439,14	0,01	0,01
Produtos Químicos				0,00	0,00	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	0,00	0,00	0,00
Usinagem	Produtos Químicos	-	Fugitiva												
	Brochadeira	28	Fugitiva												
	Brunidora	21	Fugitiva												
	Chanfradora	7	Fugitiva												
	Faceadora	6	Fugitiva												
	Fornos Contínuos	5	Fugitiva												
	Hobber	41	Fugitiva												
	Nitretação	2	Fugitiva												
	Prensa	2	Fugitiva												
	Retífica	33	Fugitiva												
	Revenimento	5	Fugitiva												
	Shaver	21	Fugitiva												
	Torno	68	Fugitiva												
Combustão GLP				0,08	0,04	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	71,55	0,00	0,00
	Empilhadeiras e Paleteiras	-	Chaminé												

Fonte: O autor

4.6. Discussão

O monitoramento das emissões atmosféricas por estimativas (fatores de emissão) e por medições *in loco*, ambas abordadas no presente trabalho, trouxeram à tona vantagens e desvantagens dos métodos.

Comparando as duas alternativas, é visível a diferença entre os resultados, com as medições correspondendo a até 5.000 vezes o valor estimado. Para explicar essa discrepância, é importante mencionar que os fornos trabalham com uma atmosfera controlada formada por diversos gases. A chama formada pela combustão do gás natural para aquecimento e para a cortina de chamas (que impedem a troca das atmosferas) acaba queimando também a atmosfera interna e externa dos fornos. As estimativas, por sua vez, consideram apenas a queima do gás natural e não levam em consideração essas interferências.

Além do mais, os fatores de emissão perdem exatidão pelas incertezas inerentes à extração de dados. Os dados são baseados em indústrias dos Estados Unidos, ou seja, com tecnologias, condições climáticas e exigências diferentes. A incerteza dos fatores de emissão depende do número de fontes utilizadas no banco de dados, o número de testes realizados, do tipo de emissão e do número de fontes similares na mesma área, entre outros. Apesar disso, as estimativas são vantajosas pelo baixo custo e pela ampla aplicação, podendo calcular as emissões das fontes tanto pontuais, quanto fugitivas.

A medição de cada parâmetro nas fontes demora entre quatro e cinco horas em cima do telhado da fábrica. A realização das mesmas foi dificultada pelo mau tempo, que impedia a permanência dos técnicos no telhado por tanto tempo. Portanto, as medições são mais precisas do que os cálculos, mas têm desvantagens como seu custo elevado, a necessidade de contratar o serviço de outra empresa, a amostra pontual e não englobar todas as categorias de fontes, o tempo consecutivo de amostragem, a necessidade de condições climáticas adequadas para viabilizar as coletas, os riscos envolvidos na amostragem em altura, entre outros.

Quanto ao atendimento à legislação, tanto as medições quanto as estimativas forneceram valores bem abaixo do permitido.

Sendo assim, e tendo em vista a importância do controle e do monitoramento das emissões atmosféricas para a manutenção de uma qualidade do ar adequada, o uso das técnicas em conjunto se mostrou adequado, por garantir o cumprimento das obrigações legais com precisão através das medições, e por fornecer uma visão holística da origem das emissões críticas.

5. CONCLUSÃO

O monitoramento da qualidade do ar e das emissões atmosféricas são fatores chave para auxiliar na tomada de decisão pelo poder público e pelo setor privado no que diz respeito ao controle da poluição e otimização de processos. Esses dados podem auxiliar na elaboração de projetos, avaliação de desempenho de equipamentos de controle e na criação de programas de melhoria da qualidade do ar. Pelo elevado custo das medições das concentrações das emissões atmosféricas, elas costumam ser realizadas apenas nos pontos exigidos pelos órgãos ambientais. Dessa forma, o uso de fatores de emissão para estimar o lançamento de poluentes ao longo do ano representa uma maneira de conhecer e entender melhor as entradas e saídas dos processos produtivos de uma indústria.

Inventários de emissões são um resumo ou previsão de emissões, no caso atmosféricas. Eles servem como base para análises de tendências, modelagem da qualidade do ar, avaliações de impacto e modelagens de exposição humana.

Não há ainda uma compilação de fatores de emissão para a realidade do Brasil, por isso, a escolha por uma metodologia consolidada e confiável, como a da EPA, é recomendada apesar das variações de realidades entre os países.

O poluente que mais é emitido pela fábrica do estudo é o CO₂, que é gerado quase que em sua totalidade pela combustão de gás natural, seguido pela combustão do GLP, ambas emissões pontuais. O segundo poluente mais emitido são compostos voláteis, advindos de emissões fugitivas. Isso demonstra a importância de um controle de ambos os tipos de emissão, mesmo que apenas na forma de cálculos.

Através das medições, foi possível demonstrar a conformidade da fábrica em estudo às suas obrigações legais, estando dentro dos limites exigidos a nível federal e estadual.

Portanto, esse trabalho possibilitou identificar que as medições e as estimativas trabalham de forma complementar, uma vez que as medições fornecem dados mais precisos, enquanto as estimativas abordam uma maior variedade de fontes sem custos.

6. Bibliografia

- ARBEX, M. A. et al. **A poluição do ar e o sistema respiratório**. Núcleo de Estudos em Epidemiologia Ambiental, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2012.
- BAIRD, C. **Química Ambiental**. Bookman. Porto Alegre. 2002.
- BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. H. N. **Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana**. Faculdade de Medicina da USP. São Paulo - SP, p. 20. 2001.
- BRASIL. Lei Federal nº 6.938, 31 de de 1981. **Política Nacional de Meio Ambiente**, Brasília, DP, 31 ago 1981.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 5, 15 de junho de 1989**. Brasília - DF: , 1989.
- BRASILa. **Resolução CONAMA nº 3, 28 de junho de 1990**. Brasília-DF: , 1990.
- BRASILb. **Resolução CONAMA nº 8, 6 de dezembro de 1990**. Brasília-DF: , 1990.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 382, 26 de dezembro de 2006**. Brasília-DF: , 2006.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 436, 22 de dezembro de 2011**. Brasília-DF: , 2011.
- CETESB. Poluentes. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**, 2017. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>>. Acesso em: 2 out 2017.
- EPAa. AP-42: Compilation of Air Emission Factors. **United States Environmental Protection Agency**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emission-factors>>. Acesso em: 10 mai 2017.
- EPAb. Basic Information of Air Emissions Factors and Quantification. **United States Environmental Protection Agency**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/basic-information-air-emissions-factors-and-quantification#About>>. Acesso em: 10 mai 2017.
- FEAM. **Metodologia para Estimativa dos Impactos Ambientais Associados ao Tráfego Veicular Urbano**. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte. 2015.
- FEAM. Emissões de Fontes Fixas. **Fundação Estadual do Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://www.feam.br/noticias/1/1332-emissao-fontes-fixas>>. Acesso em: 30 set 2017.
- FEAM. Qualidade do Ar e Emissões Atmosféricas. **Fundação Estadual do Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://www.feam.br/qualidade-do-ar>>. Acesso em: 20 set 2017.
- FERNANDES, P. S. **Emissões Atmosféricas**. , 2003.
- GOMES, M. J. M. **Ambiente e Pulmão**. Laboratório de Poluição Atmosférica - Universidade de São Paulo. São Paulo. 2001.
- GORE, A. **Uma verdade inconveniente**. 1^a. ed. Manole, 2006.
- JUNIOR, O.; LACAVA, C.; FERNANDES, P. **Emissões Atmosféricas**. Senai, 2002.

- LISBOA, H. D. M.; KAWANO, M. **Controle da Poluição Atmosférica**. Montreal: , 2007.
- LOUREIRO, L. N. **PANORÂMICA SOBRE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 153. 2005.
- MANAHAN, S. E. **Environmental Chemistry**. 7^a. ed. New York: CRC Press LLC, 2000.
- MILLER, E. W.; MILLER, R. **Contemporary World Issues – Environmental Hazards: Air Pollution: a reference handbook**. 1^a. ed. Califórnia: ABC-CLIO, 1989.
- MMA. **Avaliação do Programa de inspeção e manutenção de veículos em uso do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Ministério do Meio Ambiente, 2002.
- MMA. **Fontes fixas**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília-DF. 2017.
- NATIONAL Weather Service. **Introduction to Atmosphere**, 2017. Disponível em: <http://www.srh.noaa.gov/jetstream/atmos/atmos_intro.html>. Acesso em: 28 set 2017.
- PAHO. OMS divulga estimativas nacionais sobre exposição à poluição do ar e impacto na saúde. **Organização Pan-Americana da Saúde - PAHO**, 2016. Disponível em: <http://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5249:oms-divulga-estimativas-nacionais-sobre-exposicao-a-poluicao-do-ar-e-impacto-na-saude&Itemid=839>. Acesso em: 1 out 2017.
- SAOPAULO. **Decreto Estadual n 8468, 8 de setembro de 1976**. São Paulo-SP: , 1976.
- SAOPAULO. **Lei Estadual nº 997**. São Paulo-SP: , 1976.
- REIS JR., N. C. **Técnicas de Controle da Poluição do Ar**. UFES.
- SCHNELLE JR., K. B.; BROWN, C. A. **Air Pollution Control Technology**. CRC Press LLC, 2000.
- STERN, A. C. et al. **Fundamentals of Air Pollution**. 2^a. ed. Orlando: Academic Press, 1984.
- WHO. **Ambient air pollution**. World Health Organization. Geneva, p. 121. 2016.
- WHO. Modelled Global Ambient Air Pollution estimates. **World Health Organization**, 2016. Disponível em: <http://who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/modelled-estimates/en/>. Acesso em: 3 out 2017.

