

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

WELLINGTON VINICIUS BATISTA

**DESENVOLVIMENTO DE INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS
ASSOCIADO AO BENEFICIAMENTO DE GRÃOS NO ESTADO DO PARANÁ**

LONDRINA

2022

WELLINGTON VINICIUS BATISTA

**DESENVOLVIMENTO DE INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS
ASSOCIADO AO BENEFICIAMENTO DE GRÃOS NO ESTADO DO PARANÁ**

**DEVELOPMENT OF ATMOSPHERIC EMISSIONS INVENTORY ASSOCIATED
WITH GRAIN PROCESSING IN THE STATE OF PARANÁ**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador (a): Prof.^a Dra. Leila Droprinchinski Martins.
Coorientador (a): Prof.^a Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro.

LONDRINA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

WELLINGTON VINICIUS BATISTA

**DESENVOLVIMENTO DE INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS
ASSOCIADO AO BENEFICIAMENTO DE GRÃOS NO ESTADO DO PARANÁ**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 30/novembro/2022

Aulus Roberto Romao Bineli
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Jorge Alberto Martins
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Leila Droprinchinski Martins
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LONDRINA

2022

Dedico este trabalho à minha família, meus pais
Geraldo Batista e Claudemara Gonçalves que
sempre sonharam com a minha formação e minha
namorada Fernanda, pelos momentos de ausência,
em que não pude estar pelo foco no trabalho.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de maneira simples e direta, homenagear as pessoas que comigo estiveram durante o curso e que de alguma forma puderam contribuir para realização deste trabalho.

Primeiramente agradeço à Deus, pelas providências até aqui concedidas e que me deu forças e muita sabedoria para concluir mais essa etapa na minha vida.

Agradeço à minha família, minha mãe Claudemara Gonçalves que sempre sonhou com a minha formação e que se dedicou ao máximo para que esse sonho se tornasse realidade, meu pai Geraldo Batista que do seu jeito sempre me apoiou e fez de tudo para que eu conseguisse chegar até aqui e a todos da família Batista e Gonçalves que estão comigo no dia-a-dia, e que sem eles eu nada seria.

À minha namorada Fernanda Rodrigues Braz pelos momentos de apoio e incentivo, por ser meu ombro amigo nos momentos de crise e por todo amor dedicado a mim.

Agradeço à minha orientadora Profa. Dra. Leila Droprinchinski Martins, pelo tempo de dedicação do seu tempo e pelas mais variadas formas de me ajudar durante o período de desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à minha coorientadora Profa. Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro, por todo o esforço feito para me ajudar com seu conhecimento e pela dedicação do seu tempo para agregar neste trabalho.

Aos membros da banca Prof. Dr. Aulus Roberto Romao Bineli e Prof. Dr. Jorge Alberto Martins que reservaram um tempo para ler e para somar no conhecimento para este trabalho.

Aos amigos que adquiri durante a trajetória do curso, desde os que encontrei na fila da matrícula até os que estão finalizando o curso junto a mim.

Aos colegas de pesquisa do laboratório de poluição do ar (LAPAR), Camila, Iara e Janaina por todo o conhecimento passado e toda ajuda nos momentos da vida acadêmica.

Todos os professores que passaram pela minha vida que me passaram conhecimento e me prepararam para seguir em frente.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

“Mesmo que já tenha feito uma longa caminhada, sempre haverá mais um caminho a percorrer.”

Santo Agostinho de Hipona

BATISTA, Wellington Vinicius. **Desenvolvimento de inventário de emissões atmosféricas associado ao beneficiamento de grãos no Estado do Paraná**. 2022. 60 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária). – Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2022.

RESUMO

As indústrias de beneficiamento de grãos são fontes de emissão de poluentes atmosféricos primários ainda pouco estudadas no Brasil. Estes poluentes estão fortemente relacionados com a má qualidade do ar e às doenças respiratórias. O presente trabalho tem por objetivo construir um inventário de emissões atmosféricas das atividades associadas ao beneficiamento de grãos no Estado do Paraná, a fim de identificar quais as principais etapas e processos geradores de poluentes, avaliar a relevância desse setor para as emissões atmosféricas e conhecer as regiões do Estado que mais contribuem para essas emissões. Para essa construção e avaliação utilizou-se de duas metodologias distintas: i) cálculo das emissões por meio de estimativas, identificação da atividade e utilização de fator de emissão do manual AP-42; ii) através da obtenção de um banco de dados oficial do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), contendo a localização das indústrias e suas respectivas emissões para a construção de mapas contendo a distribuição espacial das emissões. Também foi possível a comparação entre as metodologias, com auxílio do banco de dados já existente. O processo considerado mais relevante para a poluição atmosférica no beneficiamento de grãos é o de secagem. Por meio de gráficos e tabelas foi possível identificar as regiões centro-sul e centro-oeste como as que mais emitem poluentes para a atmosfera por essa atividade. Além disso, através da construção de mapas e por meio da comparação com a literatura foi possível concluir que há uma contribuição significativa para as emissões atmosféricas por parte do setor em questão.

Palavras-chave: qualidade do ar; indústrias; cálculo de emissões; AP-42.

BATISTA, Wellington Vinicius. **Development of atmospheric emissions inventory associated with grain processing in the State of Paraná**. 2022. 60 p. Term paper (Bachelor of Environmental and Sanitary Engineering). – Environmental and Sanitary Engineering Graduation – Federal Technological University of Paraná, Londrina, 2022.

ABSTRACT

The grain processing industries are emission sources of primary atmospheric pollutants that are still few studied in Brazil. These pollutants are strongly related to poor air quality and respiratory diseases. The objective of this work is to build an atmospheric emission inventory from activities associated with grain processing in the State of Paraná to identify the main stages and processes that generate pollutants, assess the relevance of this sector for atmospheric emissions, and recognize the regions of the State that most contribute to these emissions. For this construction and evaluation were used two different methodologies: i) calculation of emissions through estimates, identification of the activity, and use of the emission factor from the AP-42 manual; ii) obtaining an official database from the Brazilian Institute of Environment and Renewable Natural Resources (IBAMA), containing the location of industries and their respective emissions for the construction of maps containing the spatial distribution of emissions. It was also possible to compare the methodologies with the aid of the existing database. The process considered most relevant to atmospheric pollution in grain processing is drying. Through graphs and tables, it was possible to identify the central-south and central-west regions as those that most emit pollutants into the atmosphere due to this activity. In addition, through the construction of maps and comparison with the literature, it was possible to conclude that there is a significant contribution to atmospheric emissions by the sector in question.

Keywords: air quality; industries; emission calculation; AP-42.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diagrama de fluxo de um ciclone clássico	22
Figura 2 - Filtro de mangas com sistema de limpeza por jato pulsante	23
Figura 3 - Esquema de fluxo de um precipitador eletrostático	24
Figura 4 - Área de recebimento do grão.....	26
Figura 5 - Máquina de limpeza do grão	27
Figura 6 - Secador de grãos	29
Figura 7 - Silos de armazenagem.....	30
Figura 8 - Diagrama básico do funcionamento de uma caldeira.....	32
Figura 9 - Localização da área de estudo.....	35
Figura 10 - Fluxograma da planta de uma unidade de armazenamento de grãos a) Recebimento, b) Limpeza, c) Secagem e d) Armazenamento	36
Figura 11 - Silos de armazenagem.....	37
Figura 12 - Fluxograma de descrição das atividades realizadas para obtenção dos dados	38
Figura 13 - Zoneamento agrícola no Estado do Paraná.....	42
Figura 14 - Emissões de MP _{2,5} , CO ₂ , TOC e VOC (ton/ano) para as regiões do Paraná (calculado)	44
Figura 15 - Emissões de MP ₁₀ , CO, NO _x e SO ₂ (ton/ano) para as regiões do Paraná (calculado)	45
Figura 16 - Gráficos obtidos a partir dos dados de emissão do banco de dados do IBAMA	46
Figura 17 - Localização das indústrias obtidas pelo banco de dados do IBAMA com suas respectivas faixas de emissão de CO (ton/ano).....	48
Figura 18 - Localização das indústrias obtidas pelo banco de dados do IBAMA com suas respectivas faixas de emissão de MP (ton/ano).....	49
Figura 19 - Localização das indústrias obtidas pelo banco de dados do IBAMA com suas respectivas faixas de emissão de NO _x (ton/ano)	50
Figura 20 - Localização das indústrias obtidas pelo banco de dados do IBAMA com suas respectivas faixas de emissão de SO _x (ton/ano).....	51

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 - Relações entre fontes e seus poluentes característicos	20
Tabela 1 - Umidade conforme a cultura	28
Tabela 2 - Composição elementar de biomassa em % (base seca)	31
Tabela 3 - Fatores de emissão associados aos poluentes	40
Tabela 4 - Consumo de lenha por região do Estado do Paraná em 2012.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EEA	Agência Europeia do Ambiente
EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
FE	Fator de emissão
GEE	Gases do efeito estufa
GNV	Gás Natural Veicular
IAT	Instituto Água e Terra
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IQAr	Índice de Qualidade do Ar
LCVM	Licença para Uso da Configuração de Veículo ou Motor
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NR	Norma Regulamentadora
OMS	Organização Mundial da Saúde
PCI	Poder Calorífico Inferior
SEMA	Secretaria Estadual do Meio Ambiente

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Dado de atividade relacionado com a fonte de emissão
BC	Black Carbon
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
COV	Composto Orgânico Volátil
HCl	Ácido clorídrico
HF	Fluoreto de hidrogênio
HPA	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
H ₂	Gás hidrogênio
H ₂ O	Vapor d' água
H ₂ S	Ácido sulfúrico
MP	Material Particulado Total
MP _{2,5}	Material Particulado menor que 2,5 micrometros
MP ₁₀	Material Particulado menor que 10 micrometros
N ₂	Gás nitrogênio
NO _x	Óxidos de nitrogênio
NO ₂	Dióxido de nitrogênio
PTS	Partículas Totais em Suspensão
SO _x	Óxidos de enxofre
SO ₂	Dióxido de enxofre
SO ₃	Trióxido de enxofre
O ₂	Gás oxigênio
O ₃	Ozônio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo Geral	17
2.2	Objetivos Específicos	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
3.1	Padrões de qualidade do ar, emissões e poluição atmosférica.....	18
3.2	Controle da poluição e redução das emissões.....	20
3.3	Saúde e qualidade do ar	24
3.4	Processo de beneficiamento dos grãos	25
3.4.1	Combustão da madeira	30
3.4.2	Caldeiras	32
3.5	Inventários de emissões atmosféricas	33
4	MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1	Área de estudo.....	35
4.2	Setor de estudo	35
4.3	Cálculo dos dados de emissão atmosférica	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
	REFERÊNCIAS.....	54
	APÊNDICE A - Mapa contendo as indústrias inventariadas anteriormente 60	

1 INTRODUÇÃO

A qualidade do ar é regulamentada de acordo com as concentrações de poluentes atmosféricos, desta forma visa assegurar saúde, segurança e bem-estar da população em geral, bem como evitar danos causados à flora, à fauna, aos materiais e ao meio ambiente (MMA, 2022).

A problemática da poluição atmosférica vai além de ocasionar efeitos diversos ao meio ambiente, estando atualmente entre um dos principais fatores correlacionados a doenças respiratórias, cardiovasculares e mentais (LANDRIGAN, 2017) (DA SILVA et al., 2020). Chen et al. (2015) estimam que cerca de 3 milhões de mortes por ano são em decorrência da má qualidade do ar, além de outros estudos que mostram a relação entre a qualidade do ar e a ocorrência de doenças.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA) (2022) os poluentes atmosféricos podem ser divididos em duas categorias, os poluentes primários e os secundários. São chamados poluentes primários, aqueles emitidos diretamente da fonte de emissão para a atmosfera, já os poluentes secundários são caracterizados por serem formados a partir de reações químicas entre poluentes primários e os demais componentes da atmosfera.

As fontes de emissão podem estar espalhadas pelas cidades, porém, em grandes centros urbanos, grandes quantidades de compostos químicos são emitidas para a atmosfera por indústrias, veículos, dentre outras atividades que envolvem a emissão de algum poluente. Segundo Guarieiro et al. (2011) cerca de 3000 diferentes compostos provenientes da ação humana já foram identificados na atmosfera, sendo a maior parte deles orgânicos. O mesmo autor determina que essa mistura complexa de poluentes causa preocupação devido ao impacto que pode causar à saúde e ao ambiente.

Além de serem caracterizados como primários e secundários, os poluentes possuem outra classificação importante que diz respeito à fonte da qual o poluente é emitido. São divididas em fontes móveis e fontes fixas. As fontes móveis consistem nos veículos automotores, juntamente com os trens, aviões e embarcações marítimas. Já as fontes fixas têm as indústrias como principal poluidor, relacionando a combustão externa (caldeiras/fornos), existindo ainda as fontes fixas naturais, como o spray marinho, vegetação e atividade vulcânica, que também podem influenciar a composição do ar (ARBEX, 2012; CETESB, 2022).

Alguns dos poluentes que são lançados diretamente no ar são o dióxido de enxofre (SO₂), o monóxido de nitrogênio (NO), o monóxido de carbono (CO) e parte do material particulado atmosférico (MP), como a poeira decorrente de ressuspensão do solo (IAT, 2022).

As mudanças na composição do ar decorrentes da poluição atmosférica têm sido agravadas devido a ação humana, portanto vêm se tornando cada vez mais nocivas à saúde humana e ao meio ambiente.

Como a produção de grãos no Estado do Paraná tem se dado de forma acentuada, o beneficiamento de grãos pode ser uma fonte fixa significativa de emissões atmosféricas. Assim, a construção de um inventário de emissões para fontes fixas, contendo a localização e a diversidade de poluentes emitidos por esse processo realizado pós-colheita, é um elemento fundamental para a gestão da qualidade do ar.

O Brasil pode ser considerado um dos líderes mundiais na produção de grãos, tendo em vista sua grande área territorial, solo e clima. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), responsável pelo acompanhamento constante da safra de grãos, a quantidade de grãos na safra 2021/2022 foi de 265 milhões de toneladas, com o Estado do Paraná sendo o segundo maior produtor no país, com produção de cerca de 35 milhões de toneladas. Como destaque, tem-se a produção de soja recorde, que atingiu cerca de 123.830 milhões de toneladas, na safra 2021/2022, no país. O setor é de grande importância econômica para o país, sendo que mais de 50% da produção de soja, por exemplo, é exportada para países da Ásia e Europa (CONAB, 2022).

Para que sejam garantidas a qualidade e a capacidade de produção e exportação dos grãos, é necessário a realização do beneficiamento dos grãos após a colheita. Dentro da atividade de beneficiamento, estão inseridos os processos de pré-limpeza, secagem e armazenamento dos grãos, realizados em silos. O objetivo do processo de secagem consiste em retirar o excesso de umidade e impurezas contidas nos grãos, com a finalidade de preservar a aparência, as qualidades nutritivas e sua viabilidade como semente (DE SOUSA, 2008).

O processo de secagem é realizado pela passagem de ar aquecido pela massa de grãos, que remove a umidade até níveis desejáveis, que variam de 9 a 11%, a depender do tempo que se deseja armazenar. O aquecimento da massa de ar é realizado, em geral, por caldeiras (fornalhas) que utilizam como combustível, em geral,

a biomassa (madeira, lenha, cavaco) (ROCCO et al., 2012). Dessa forma, as unidades armazenadoras de grãos em silos consistem em fontes de emissão de poluentes atmosféricos. Segundo Demirbas (2005) os principais poluentes associados a essa atividade são MP, CO, hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO_x), principalmente NO, e óxidos de enxofre SO_x , principalmente como SO_2 . Gases ácidos, como ácido clorídrico (HCl), metais pesados, compostos orgânicos voláteis (COV) e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPA), também estão entre os produtos da combustão incompleta do combustível. No entanto, no Brasil pouco se conhece a respeito e não há um inventário dessas emissões atmosféricas, possuindo apenas um inventário de emissões de gases de efeito estufa emitido pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos com ano-base de 2019.

Além da relevância ampla explicitada acima, é importante conhecer as várias etapas do processo e a potencial contribuição dessas para as emissões. Dentre as várias etapas realizadas no processo de beneficiamento, tem-se a etapa de secagem (realizada através de fornalhas à lenha) como potencialmente a de maior emissão de poluentes, considerando que, por imposição da legislação, as emissões devem ser reportadas pelos grandes geradores (empresas) aos órgãos ambientais.

Assim, se torna relevante conhecer qual a contribuição e quais os tipos de poluentes são provenientes dos processos realizados para a secagem e armazenagem de grãos em silos e um dos métodos que pode ser aplicado para conhecer qual a contribuição e quais os tipos de poluentes é o inventário de emissões. Um inventário de emissões georreferenciado que contemple os vários poluentes e setores é um elemento fundamental para a modelagem e gestão da qualidade do ar (KAWASHIMA et al., 2020). No entanto, em geral, dados relativos nem sempre são públicos, confiáveis e organizados; não consistem em um inventário de emissões atmosféricas espacializado e adequado para uso como ferramenta de gestão da qualidade do ar, assim como para uso em modelos de qualidade do ar.

Tendo em vista a relevância econômica desse setor para o país e as lacunas existentes em relação às emissões atmosféricas, este trabalho objetiva elaborar um inventário de emissões atmosféricas das indústrias que fazem o beneficiamento de grãos, visando a identificação das fontes poluidoras e suas emissões para futuramente inseri-las em um inventário de emissões de fontes fixas do Estado do Paraná.

2 OBJETIVOS

Os objetivos da pesquisa foram divididos em um objetivo geral e três objetivos específicos.

2.1 Objetivo Geral

O presente estudo tem como objetivo construir um inventário de emissões atmosféricas, para o processo de beneficiamento de grãos por região do Estado do Paraná.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar as principais etapas e processos de geração de poluentes no beneficiamento de grãos e estimar suas emissões;
- b) Definir quais são as regiões do Estado do Paraná onde se encontram os maiores valores de emissões atmosféricas;
- c) Analisar a contribuição do processo de beneficiamento de grãos para as emissões atmosféricas no Estado do Paraná.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico desta pesquisa está dividido em 5 capítulos, são eles: 3.1 Padrões de qualidade do ar, emissões e poluição atmosférica; 3.2 Controle da poluição e redução das emissões; 3.3 Saúde e qualidade do ar; 3.4 Processo de beneficiamento de grãos; 3.5 Inventários de emissões atmosféricas.

3.1 Padrões de qualidade do ar, emissões e poluição atmosférica

A qualidade do ar é padronizada definindo o conceito de poluente atmosférico como toda e qualquer forma de matéria ou energia que em termos de concentração sobressaia o padrão estabelecido pela legislação. Além disso, considerando a concentração do poluente atmosférico, que pode ser prejudicial à saúde, tornando o ar impróprio para consumo humano, podendo também causar danos aos materiais, oferecer riscos para a fauna e a flora (MMA, 2022). A resolução do CONAMA n° 491 de 2018, define poluente atmosférico como sendo:

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

Em concordância com o órgão licenciador do Estado do Paraná, Instituto Água e Terra (IAT), um adulto inspira em média 10 mil litros de ar por dia. Podendo variar de acordo com a atividade física desempenhada por cada indivíduo, sendo assim, o ar consumido é exatamente o mesmo que se encontra disponível na natureza, não passando por nenhum tratamento prévio antes de chegar até o consumidor. Desta forma, se faz tão importante as medidas de padronização e preservação da qualidade do ar (IAT, 2022).

A Resolução CONAMA n° 491/18 estabelece os padrões de qualidade do ar a nível nacional, e define como indicadores os seguintes poluentes:

- Partículas totais em Suspensão (PTS);
- Fumaça;
- Partículas inaláveis (MP₁₀);
- Partículas inaláveis finas (MP_{2,5});
- Dióxido de enxofre (SO₂);
- Monóxido de carbono (CO);
- Ozônio (O₃);

- Dióxido de nitrogênio (NO₂).

A maioria dos poluentes encontrados no ar são provenientes da combustão incompleta de combustíveis fósseis, utilizada para fins de transporte, aquecimento e produção industrial. Além dos processos de combustão, existem outros processos que emitem poluentes, como a vaporização, operações de redução de tamanhos, reações químicas na atmosfera envolvendo os poluentes primários e as fontes naturais tais como polinização e vulcões (GALVÃO FILHO, 2013).

As fontes de emissões de poluentes atmosféricos podem ser caracterizadas como naturais ou antropogênicas. As fontes naturais abrangem as emissões vulcânicas, os incêndios florestais, os aerossóis dos oceanos, processos microbiológicos, e qualquer outra atividade que envolva um processo natural. Já as antropogênicas podem ocorrer com os resíduos de diversas atividades humanas, como o refino de petróleo, a queima de combustíveis fósseis e não fósseis, as indústrias de transformação, as indústrias extrativistas e a ressuspensão de poeira pelos meios de transporte (KAWASHIMA et al., 2020).

Existe ainda outra classificação que enquadra as fontes como fixas (estacionárias) e móveis. De acordo com o IAT (2022) as indústrias são as fontes mais significativas, pois utilizam de vários tipos de combustíveis, como por exemplo, o carvão, óleo combustível e gás. Dentre as fontes fixas, existem ainda as fontes fixas naturais, como maresia e vulcanismo, que também podem influenciar a composição do ar. Já as fontes móveis consistem nos veículos automotores, juntamente com os trens, aviões e embarcações marítimas. Os veículos se destacam nas cidades como as principais fontes poluidoras e são divididos em: leves de passageiro (utilizam principalmente gasolina ou álcool como combustível); leves comerciais (utilizam gás natural veicular (GNV) ou óleo diesel); e veículos pesados (somente de óleo diesel). As classificações citadas anteriormente, juntamente com seus poluentes associados podem ser observadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Relações entre fontes e seus poluentes característicos

Fontes		Poluentes
Classificação	Tipo	
Fontes Estacionárias	Combustão	Material particulado
		Dióxido de enxofre e trióxido de enxofre
		Monóxido de carbono
		Hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio
	Processo Industrial	Material particulado (fumos, poeiras e névoas)
		Gases: SO ₂ , SO ₃ , HCl e Hidrocarbonetos
		Mercaptanas, HF, H ₂ S, NO _x
	Queima de Resíduos Sólidos	Material particulado
Outros	Gases – SO ₂ , SO ₃ , HCl, NO _x ,	
	Hidrocarbonetos, material particulado	
Fontes Móveis	Veículos Automotores	Material particulado e monóxido de carbono
		Óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e óxidos de enxofre
	Aviões e Barcos	Óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio
Locomotivas etc.	Ácidos orgânicos, hidrocarbonetos e aldeídos	
Fontes Naturais		Material particulado - poeira
		Gases – SO ₂ , SO ₃ , HCl, NO _x , hidrocarbonetos
Reações Químicas		Poluentes secundários – O ₃ e aldeídos
		Ácidos orgânicos e nitratos orgânicos
		Aerossol fotoquímico etc.

Fonte: CETESB (2002 apud PIRES, 2005, p. 11)

Em relação ao controle das emissões no Paraná tem-se a Resolução SEMA – 016/14, que estabelece padrões de emissão para fontes fixas, ou seja, para processos industriais, assim como critérios de automonitoramento das emissões, considerado uma ferramenta importante para o atendimento aos padrões estabelecidos.

Para fontes móveis existem os programas de controle (Proconve - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores; Promot - programa de controle das emissões das motocicletas e veículos similares) de emissões, com limites de emissão estabelecidos para a comercialização de para veículos novos (CETESB, 2022).

Existe ainda, a Resolução nº 491/2018 do CONAMA, que estabelece os padrões de qualidade do ar, definindo os limites máximos de forma legal, que garantem a proteção à saúde e bem-estar das pessoas (BRASIL, 2018).

3.2 Controle da poluição e redução das emissões

Blaselbauer (2010) afirma que existem medidas diretas e indiretas de controle para poluição do ar, essas devem ser implantadas para satisfazer os níveis dos padrões de qualidade do ar. Diz ainda que exemplos de medidas indiretas são aquelas que impedem a geração de poluente por meio da proibição da realização de

queimadas, ou que diminuam a quantidade de poluente gerada pela racionalização da utilização de combustível. Já as medidas diretas, tratam-se de equipamentos dimensionados especificamente de acordo com o poluente e pela quantidade em que ele é produzido para restringir a emissão dos poluentes para a atmosfera. Os variados tipos de equipamentos contam com tecnologias específicas, podendo ser, desde lavadores de gases com coluna vertical ou horizontal, lavadores tipo Venturi, ciclones ou multiciclones, precipitadores eletrostáticos, filtros de manga, entre outros.

Existem particularidades em determinados tipos de aplicação, o que pode variar na escolha do controle mais adequado, são essas:

- O estado físico da constituição do poluente: sólido, líquido ou gasoso;
- A quantidade em massa do poluente produzido em combustão;
- A forma mais adequada para a neutralização ou retenção dos poluentes produzidos;
- A eficiência de remoção necessária;
- A presença de gases inflamáveis, explosivos, corrosivos ou alcalinos e suas respectivas concentrações.

No caso de material particulado (MP), devem ser observadas condições como:

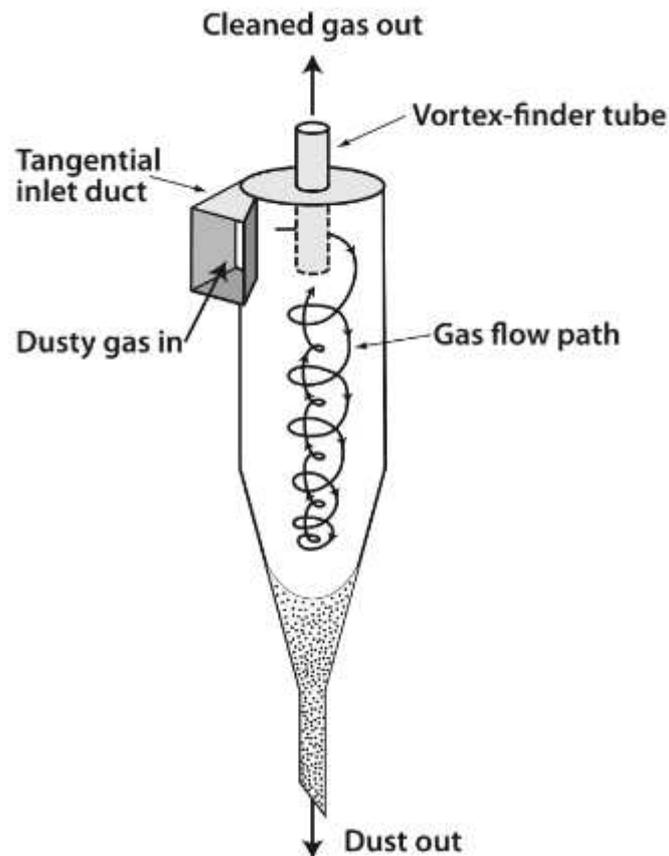
- Concentração de material produzido pela fonte poluidora (g/Nm^3);
- Densidade específica aparente do material particulado (ton/m^3) (sem compactação);
- Faixa granulométrica dos poluentes produzidos (micrometro);
- Faixa de umidade (%);
- Temperatura dos gases na chaminé ($^{\circ}\text{C}$).

Alguns dos tipos de controle mais utilizados são:

a) Ciclones

São coletores inerciais que utilizam da força centrífuga para a coleta de partículas. Possuem forma cônica-cilíndrica onde os gases entram tangencialmente por uma abertura na parte superior do equipamento, como representado na Figura 1.

Figura 1 - Diagrama de fluxo de um ciclone clássico



Fonte: David Cooper; Alley (2010)

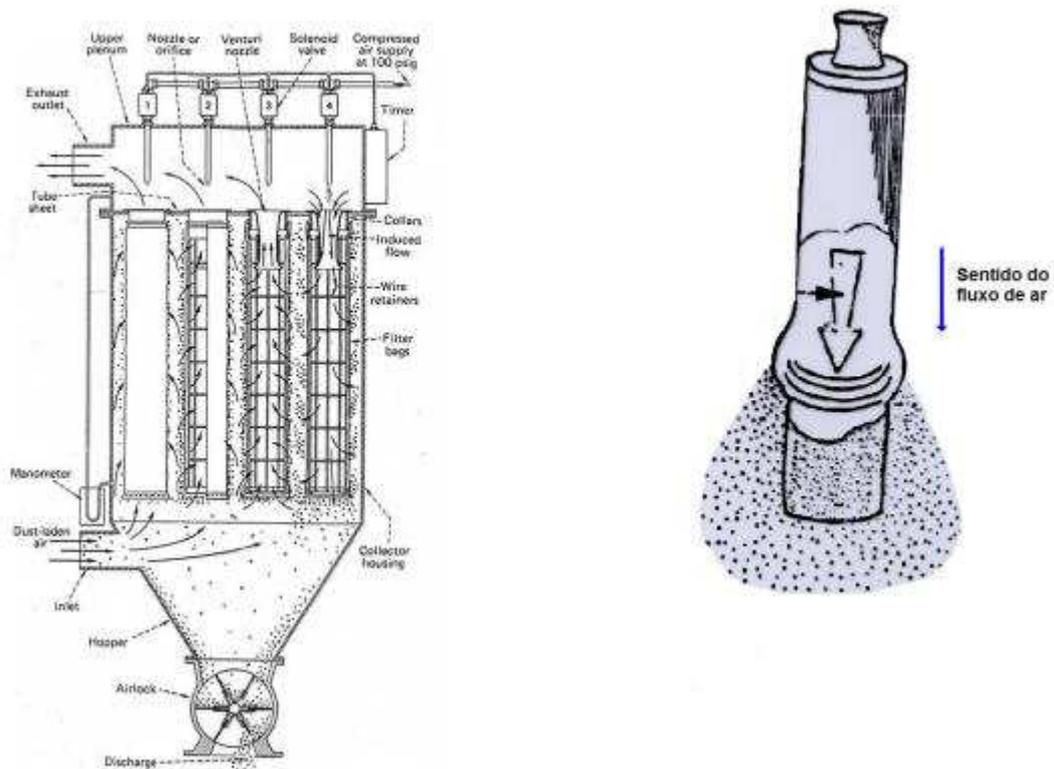
Possui vantagens como baixo custo de implantação, capacidade de operar sob altas temperaturas e os requisitos de manutenção são baixos, pois não há partes móveis. Já sua principal desvantagem é a baixa eficiência na coleta de partículas finas (DAVID COOPER; ALLEY, 2010).

b) Filtro de manga tipo jato pulsante

Os filtros de manga são os mais recomendados em casos de predominância granulométrica entre 3 a 50 micrometros. Eles têm a forma de saco alongado, tubular

e utilizam de elementos filtrantes têxteis para retenção de partículas, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Filtro de mangas com sistema de limpeza por jato pulsante



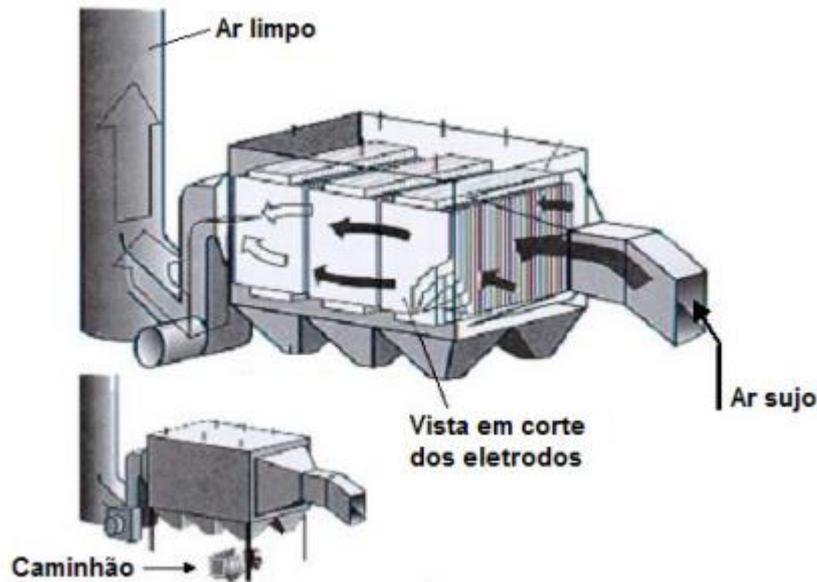
Fonte: Lisboa; Schirmer (2007)

Possui a vantagem de exigir uma área de filtragem menor que os outros sistemas, também proporciona altas eficiências de coleta, chegando a mais de 99,9%. Como desvantagens temos a temperatura máxima restringida pelo material da manga e um alto custo de manutenção (LISBOA; SCHIRMER, 2007).

c) Precipitadores eletrostáticos

O sistema de precipitação eletrostática se inicia com a formação de íons gasosos pela descarga de corona de alta voltagem no eletrodo de descarga. A seguir, as partículas são carregadas por uma forma de bombardeamento dos íons gasosos ou elétrons. O campo elétrico que fica entre o eletrodo de descarga e a coleta das partículas faz com que a mesma se desloque até a polaridade oposta, desta forma ocorre a coleta da partícula (LISBOA; SCHIRMER, 2007).

Figura 3 - Esquema de fluxo de um precipitador eletrostático



Fonte: Lisboa; Schirmer (2007)

Como vantagem deste tipo de controle pode-se destacar a alta eficiência na coleta de gases, podendo exceder os 99,9% e o mecanismo de coleta que retém até partículas com menores granulometrias. Nas desvantagens do sistema pode-se considerar o alto custo de investimento inicial, além de exigir grande áreas para sua instalação, inclusive áreas que suportem precipitadores quentes.

3.3 Saúde e qualidade do ar

A poluição do ar em ambientes internos e externos pode causar ou agravar diversas doenças, tais como: acidente vascular cerebral, doenças cardíacas, doença pulmonar obstrutiva crônica, câncer de pulmão e infecções respiratórias agudas, entre outras. É uma causa significativa de morbidade e mortalidade no mundo (MMA, 2022).

Todo ano cerca de sete milhões de pessoas morrem, devido à má qualidade do ar e a poluição que ocorre em grande escala. Dados da Organização Mundial da Saúde (OMS) registram que 99% da população respira ar que excede os padrões estabelecidos como limite. Vale ressaltar que os países mais pobres são os que mais sofrem com maiores exposições (OMS, 2022).

As doenças cardiovasculares e respiratórias são as que apresentam maiores índices de mortalidade (OMS, 2022). Doenças essas que estão significativamente

associadas ao aumento da poluição do ar, entre outros tipos de mudanças climáticas que relacionam o aumento da temperatura e sensação térmica (BRAGA, 2007).

A qualidade do ar está intimamente ligada ao clima e aos ecossistemas do planeta. A OMS (2022) tem criado políticas que visam a redução da poluição do ar, trazendo benefícios, tanto para o clima quanto para a saúde, como a mitigação das mudanças climáticas e a diminuição das doenças relacionadas a poluição do ar.

3.4 Processo de beneficiamento dos grãos

Numa produção em grande escala, como é realidade no Brasil, se torna evidente a necessidade de processos que garantam a conservação dos grãos, onde são verificadas perdas de grande parte do que se produz, com isso, podendo considerar a perda de capital investido, além de dar brechas para a concorrência de mercado (ELIAS et al., 2017).

Segundo Zanolla (2019), uma unidade responsável pelo beneficiamento e pelo armazenamento de grãos conta com alguns componentes essenciais, são eles:

- **Moega de recebimento:** Componente pelo qual o grão inicia seu processo após descarga;
- **Elevador de canecas:** Transportador que recebe grãos e efetua o transporte vertical do mesmo, com altura e capacidades variáveis;
- **Máquina de limpeza:** Máquina que efetua a limpeza do grão, retirando impurezas maiores no caso da pré-limpeza, ou impurezas mais leves no caso da pós-limpeza;
- **Transportador de corrente:** Transportador que efetua o transporte horizontal do grão, sendo possível uma leve inclinação e diversas capacidades;
- **Secador:** Através da queima de combustível, aquece um fluxo de ar que é utilizado para retirar umidade do grão;
- **Silos:** Através da queima de combustível, aquece um fluxo de ar que é utilizado para retirar umidade do grão.

O primeiro processo que ocorre dentro da unidade de beneficiamento é o de recebimento dos grãos, etapa onde é feita a pesagem do produto, a verificação geral e a coleta de amostras para a avaliação da qualidade, com a determinação da

umidade, impurezas e matérias estranhas, defeitos e rendimento de grãos inteiros (EIFERT et al., 2017). A necessidade da determinação dessas propriedades está diretamente relacionada a qualidade e condições ideais para o armazenamento.

De acordo com Dantas (2017), as propriedades físicas dos grãos a serem testadas são:

- Ângulo de repouso;
- Porosidade;
- Massa específica granular;
- Velocidade terminal;
- Tamanho e forma;
- Condutividade térmica;
- Difusividade térmica;
- Calor específico;
- Propriedades dielétricas.

Figura 4 - Área de recebimento do grão



Fonte: Autoria Própria (2022)

A etapa de pré-limpeza tem como objetivo a retirada de materiais grosseiros, como ramos, poeiras, folhas entre outros. Utiliza-se normalmente, máquinas denominadas peneirões ou abanadoras, elas possuem um ventilador e peneiras que fazem a separação do material, retirando até mesmo as partículas mais leves (SILVA; PARIZZI; SOBRINHO, 2008).

Figura 5 - Máquina de limpeza do grão



Fonte: Mendonça (2021)

Dentre os processos de beneficiamento está o de secagem dos grãos que consiste em retirar parte da água neles contida, se trata de uma operação unitária que passa por um processo simultâneo de transferência de calor e de massa, entre o produto e o ar de secagem. Para que a preservação do produto seja eficiente, deve-se manter um equilíbrio entre a umidade do ar e a umidade do produto, garantindo a não perda de seus nutrientes, a preservação de sua aparência e a viabilidade como semente (DE SOUSA, 2008). Afonso Junior et al. (2006) acrescentam ainda que a escolha de um sistema mais adequado de secagem, independentemente do produto a ser trabalhado, requer prévio estudo do custo da energia gasta no processo para atingir os níveis de água desejados. Os níveis de umidade desejados e de acordo com a cultura podem ser observados na Tabela 1.

**Tabela 1 - Umidade conforme a cultura
Percentual de umidade (%)**

Produto	Colheita	Ideal	Armazenamento seguro		
	Máximo	Ótimo	Após secagem	1 ano	5 anos
Café	62	62	12	11	10
Milho	23	20-22	11	11	9-10
Arroz	21	17-19	11	11-12	9-10
Soja	18	16	11	11-12	9-10
Sorgo	26	23-26	9	11-12	9-10
Trigo	23	15-17	8	12-13	10-11

Fonte: SENAR (2018)

No Brasil, os processos de secagem forçada ou mecânica dos grãos existem desde 1500, porém, começaram a se destacar somente nas décadas de 1960-70 do século XX, por conta do pouco conhecimento que se detinha sobre o assunto. A necessidade começou a se dar, quando os sistemas de produção passaram de ser apenas para subsistência, exigindo mais organização para a exportação dos produtos (SOUZA, 2017). Essa substituição de produção com modelos típicos de subsistência para produção com comercialização de excedentes, requer cada vez mais escalas empresariais, o que caminha ao lado do avanço do conhecimento técnico-científico. Desta forma, os produtores têm sido forçados a ir em busca desse conhecimento, para trazer cada vez mais tecnologias voltadas a conservação dos produtos agropecuários, com melhorias em relação a minimização de perdas relativas a conservabilidade (ELIAS et al., 2017).

Burkot (2014) afirma que a agricultura brasileira é um dos setores que mais se desenvolveu nos últimos anos e se encontra em constante crescimento, com avanços tecnológicos, modernização nos sistemas de produção, dentre outros mecanismos que demonstram seu desenvolvimento. Desta forma, processos que aceleram o sistema de produção e garantem a qualidade do produto, se fazem necessário, que é o caso do processo de secagem dos grãos, portanto, toda uma estrutura é necessária para esse tipo de estratégia.

O processo de secagem nem sempre é necessário, pois pode depender das condições dos grãos. Desta forma, pode se dizer que nem todas as operações de beneficiamento são necessárias (AEGRO, 2022).

As indústrias que realizam o processo de secagem de grãos têm grande importância econômica para o país, pois sabe-se que o Brasil é um dos maiores produtores de grãos do mundo, em consequência de sua grande área territorial e clima

favorável, além de possuir tecnologia aplicada a essa área (BARONI, BENEDETI, SEIDEL, 2017). Com destaque para o Estado do Paraná que é o segundo maior produtor de grãos do país, ficando atrás apenas do Mato Grosso (CONAB, 2022).

Figura 6 - Secador de grãos



Fonte: Autoria Própria (2022)

Os grãos podem ser beneficiados de diferentes maneiras, ou seja, pode haver a ocorrência de processos distintos a depender do seu tipo. A soja, por exemplo, inicia

o processo de beneficiamento com a etapa da pré-limpeza, seguida da secagem, pós-limpeza, padronização, tratamento e pesagem. Após a pesagem, os grãos são embalados, amostrados, identificados e armazenados. Já as etapas de beneficiamento do milho incluem a amostragem inicial do produto, pré-limpeza do lote recebido (etapa que conta com as máquinas de pré-limpeza e mesa de gravidade), secagem e só então, é feito o armazenamento (AEGRO, 2022). Os silos onde ficam armazenados os grãos estão ilustrados na Figura 7.

Figura 7 - Silos de armazenagem



Fonte: COMIL (2022)

3.4.1 Combustão da madeira

A madeira é um tipo de biocombustível muito antigo e ainda muito utilizado em processos industriais para inúmeras finalidades, como a produção de energia elétrica, cozimento de alimentos, locomoção, entre outras (SANTOS et al., 2016b).

Em sua composição elementar apresenta carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e quantidade variável de água. A composição elementar fornece a base para a análise dos processos de combustão, tais como: cálculos dos volumes de ar, gases e entalpia, determinando o poder calorífico do combustível. A composição elementar de dois diferentes tipos de biomassa, lenha e carvão vegetal é apresentada na Tabela 2 (SANTOS, 2008).

Tabela 2 - Composição elementar de biomassa em % (base seca)

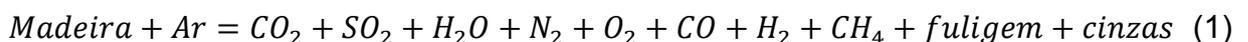
Biomassa	Composição elementar (%)					
	Carbono	Hidrogênio	Oxigênio	Nitrogênio	Enxofre	Resíduo
Pinus	49,25	5,99	44,36	0,06	0,03	0,3
Eucalipto	49,00	5,87	43,97	0,30	0,01	0,72
Eucalipto	47,50	6,00	44,00	1,00	1,50	-
Carvão	82,70	3,8	13,50	-	-	-

Fonte: SANTOS (2008)

Segundo Nussbaumer (2010) a conversão termoquímica da madeira depende de algumas tecnologias, entre elas estão: pirólise, gaseificação e combustão. O processo de combustão de fibras da madeira para produção de energia é chamado de dendroenergia. Sendo a combustão da madeira, a forma mais antiga de conversão de energia e a mais utilizada atualmente, dados apontam que 87% da bioenergia consumida mundialmente, é vinda deste processo (SANTOS et al., 2016b).

Para que o processo de combustão seja completo e eficaz, quando o combustível reage com o oxigênio e produz calor, é necessário que se tenha oxigênio disponível o suficiente para consumir todo o combustível, assim retornando como produtos, dióxido de carbono (CO₂), dióxido de enxofre (SO₂) e vapor d'água (H₂O). No caso do oxigênio insuficiente para consumo do combustível, tem-se o que se chama de combustão incompleta, retornando como produtos o monóxido de carbono (CO), o gás hidrogênio (H₂), o metano (CH₄), mais a fuligem. Quando o ar se encontra em excesso na combustão, é representado por nitrogênio (N₂) e oxigênio (O₂) na reação (PELANDA, 2016).

Segundo Nogueira et al. (2000) a reação de combustão da madeira com o ar é representada na Equação (1).



A formação dos óxidos de nitrogênio (NO_x) depende da concentração de oxigênio, tempo de residência e temperatura, além do coeficiente de excesso de ar para que a reação ocorra (SILVA FILHO, 2014). Portanto na maioria das vezes o NO_x também é um produto gerado durante o processo de combustão da madeira.

O poder calorífico inferior (PCI) é um importante aspecto a ser analisado no processo de combustão, pois se refere à quantidade de calor que é liberada quando o material entra em combustão, tendo toda a água resultante em estado gasoso (MUNOZM et al., 2013).

De acordo com Quirino (2005) no caso da madeira, o poder calorífico pode variar de acordo com suas espécies estando sempre na faixa de valores entre 3100 e 4600 kcal.kg⁻¹. O poder calorífico (kcal.kg⁻¹) de um combustível também pode sofrer alterações conforme a umidade que está contida nele.

A combustão é realizada em caldeiras, fornos e fornalhas tendo como objetivo a obtenção de calor e energia. A utilização dos fornos é mais requerida quando o interesse é trabalhar com altas temperaturas. Já as caldeiras, são mais voltadas para os processos que visam a obtenção de vapor, utilizada como fonte de energia térmica (PELANDA, 2016).

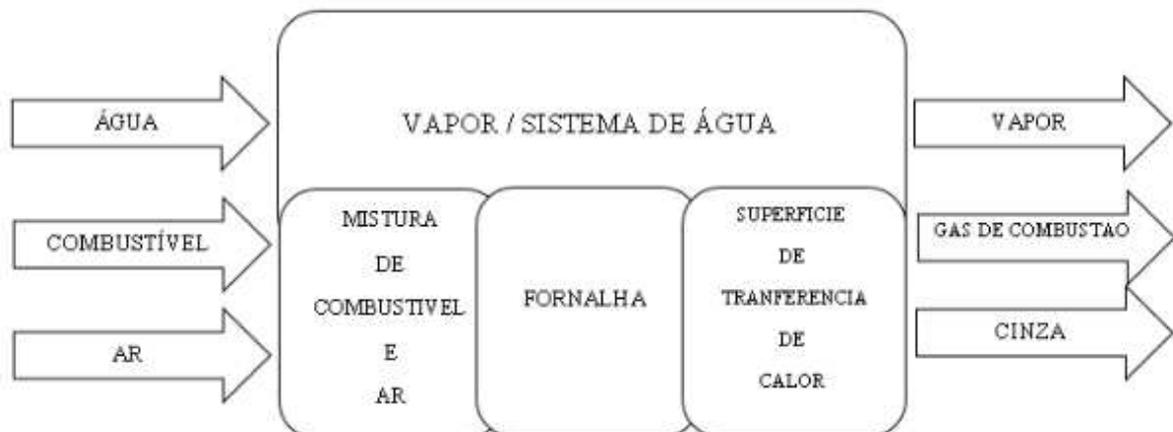
3.4.2 Caldeiras

De acordo com a Norma Regulamentadora (NR 13), as caldeiras são um tipo de equipamento com a finalidade de produzir e armazenar vapor sob pressão superior à atmosférica, podendo ser abastecida com qualquer combustível que venha atuar como fonte de energia (BRASIL, 2019).

Esta forma de adquirir calor através do vapor de água para ser utilizado em processos industriais, é atualmente o modo mais comum dentre as indústrias por conta de sua economia e praticidade, além de ser utilizado também para produzir trabalho mecânico (TROVATI, 2012).

As caldeiras são equipamentos muito utilizados para queima de combustíveis e geração de energia térmica, pois são equipamentos que elevam a temperatura da água e a transforma em vapor (ROCCO; MORABITO, 2012). Um exemplo genérico do sistema pode ser observado na Figura 5.

Figura 8 - Diagrama básico do funcionamento de uma caldeira



Fonte: Cruz et al. (2022)

As principais atividades que necessitam da geração de vapor para serem desempenhadas são as das indústrias químicas e petroquímicas em geral, como as refinarias de petróleo, açúcar e álcool, entre outras diversas indústrias alimentícias e farmacêuticas. Assim, a geração de vapor é um importante processo para uma infinidade de segmentos (MIRIAM; POGGI, 2016).

Grande parte das agroindústrias consomem vapor d'água saturado em seu processo de produção. O vapor d'água é utilizado em processos como a concentração e pasteurização de sucos e polpas, o cozimento dos alimentos e da celulose, a limpeza de equipamentos, entre outras atividades. No Brasil, a produção desse vapor, geralmente se dá pelas caldeiras que são alimentadas por óleo, carvão, eletricidade ou biomassa. A biomassa é o combustível mais utilizado, podendo ser diversos tipos de materiais vegetais, como o bagaço de cana-de-açúcar, o cavaco de madeira, a lenha e a palha de arroz (ROCCO; MORABITO, 2012).

As agroindústrias que produzem cereais têm preocupações muito relevantes em relação aos teores de umidade do produto, pois se armazenado com alto teor de umidade corre o risco de sofrer perdas em termos de quantidade e de qualidade, o teor de água é o principal fator em que as indústrias devem ater-se (AFONSO, OLIVEIRA, COSTA, 2006). Para manter o controle em relação a esse requisito tão importante é necessário um pré-processamento do produto, que consiste na retirada parcial de água através do processo de secagem. A energia utilizada nesse processo provém da queima dos combustíveis citados anteriormente, principalmente da queima de lenha, e dos mais variados tipos de madeira, levando sempre em conta a minimização dos impactos ambientais e a escassez de recursos não renováveis para a escolha do combustível a ser utilizado. Uma fonte renovável que vem ganhando destaque dentre os tipos de combustíveis envolvendo madeira, é o eucalipto, madeira originada de reflorestamentos (AFONSO, OLIVEIRA, COSTA, 2006).

3.5 Inventários de emissões atmosféricas

Os inventários de emissões consistem basicamente na compilação de dados e informações que permitem a caracterização de fontes emissoras de poluentes (EPA, 2022).

Esses inventários são desenvolvidos de acordo com as regiões de maior potencial poluidor, podendo ser fundamentais para o desenvolvimento de estudos científicos sobre monitoramento e análise da qualidade do ar. Além disso, sua

especialização é fundamental para estudos envolvendo modelagem atmosférica, assim como podem prover informação de grande relevância para governantes e órgãos gestores da qualidade do ar (IBAGUE REY, 2022).

A utilização dessa ferramenta objetiva ajudar a determinar fontes significativas de poluentes atmosféricos e direcionar ações regulatórias. Através dessa ferramenta é possível alimentar modelos matemáticos desenvolvidos para estimar a qualidade do ar em determinadas regiões.

Um inventário de emissões deve incluir estimativas da localização das fontes de poluição numa determinada área, além de incluir os poluentes associados a essas fontes e a problemática de qualidade do ar encontrada na área (IBAGUE REY, 2022).

Os fatores de emissão são estimativas da quantidade do poluente emitido associado ao tipo de atividade desempenhada pela fonte, um exemplo de unidade de fator de emissão é quilogramas de material particulado emitido por megagrama de carvão queimado na atividade realizada pela fonte (EPA, 2022).

As estimativas são importantes pois auxiliam no desenvolvimento de estratégias de controle, determinando a aplicabilidade e facilitando a elaboração de programas, assim como os efeitos das fontes e as estratégias apropriadas de mitigação para as emissões. O tipo de fonte de emissão é uma informação muito importante para a estimativa da emissão, trazendo maior representatividade, pois uma fonte de uso não frequente pode não refletir a variabilidade das emissões no tempo. Desta forma, o fator de emissão se faz uma importante ferramenta para avaliar a estimativa das emissões, dentro de suas limitações (SANTOS et al., 2016a)

Ao utilizar de fatores de emissão para estimativas de emissões, se faz necessário o conhecimento dominante dos processos, tais como: a tecnologia envolvida, a composição química dos gases e os combustíveis utilizados, pois a escolha do fator depende de diversas condições, sendo uma tarefa bastante complexa e com muitas incertezas (DOS SANTOS; FERNANDES, 2012).

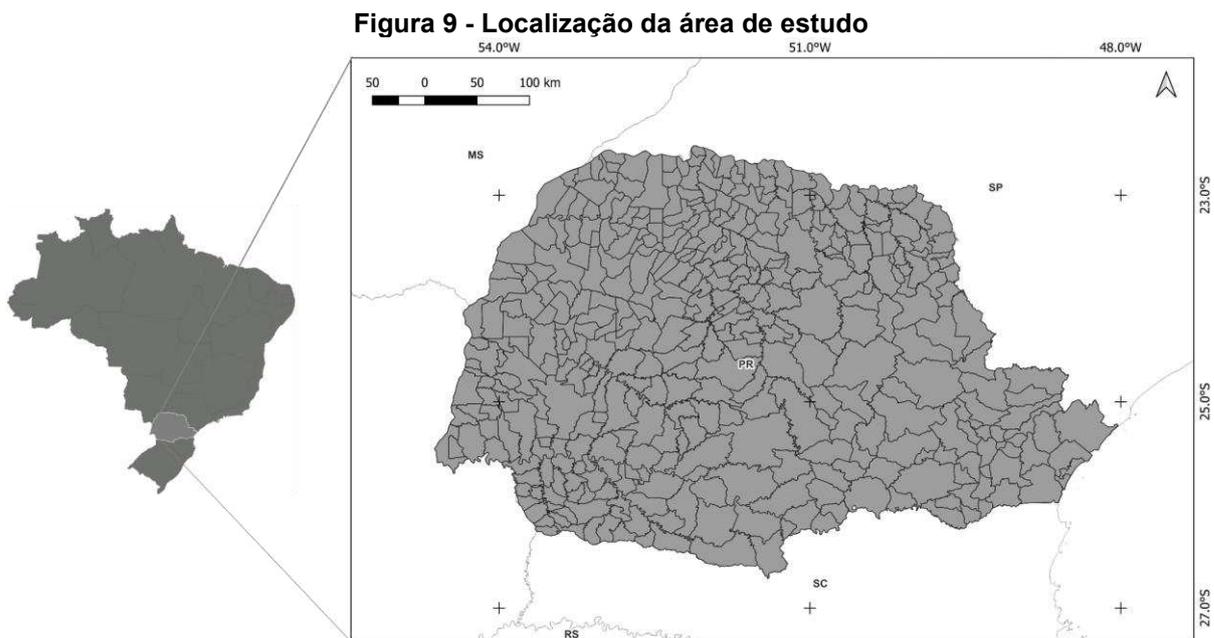
4 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir, apresenta-se o processo metodológico utilizado na realização desta pesquisa.

4.1 Área de estudo

O Paraná é um estado localizado no sul do Brasil (Figura 9), sua área de superfície territorial corresponde a 199.315 km². A população total do Paraná, segundo a projeção do Banco Mundial atual, é de 11,5 milhões de habitantes (IBGE, 2022).

O Estado do Paraná é atualmente o segundo maior produtor de grãos no país, com cerca de 35 milhões de toneladas produzidas na safra 2021/22, o que contempla em média 12% da safra de 2021/22 do país, ficando atrás apenas do estado do Mato Grosso (CONAB, 2022).



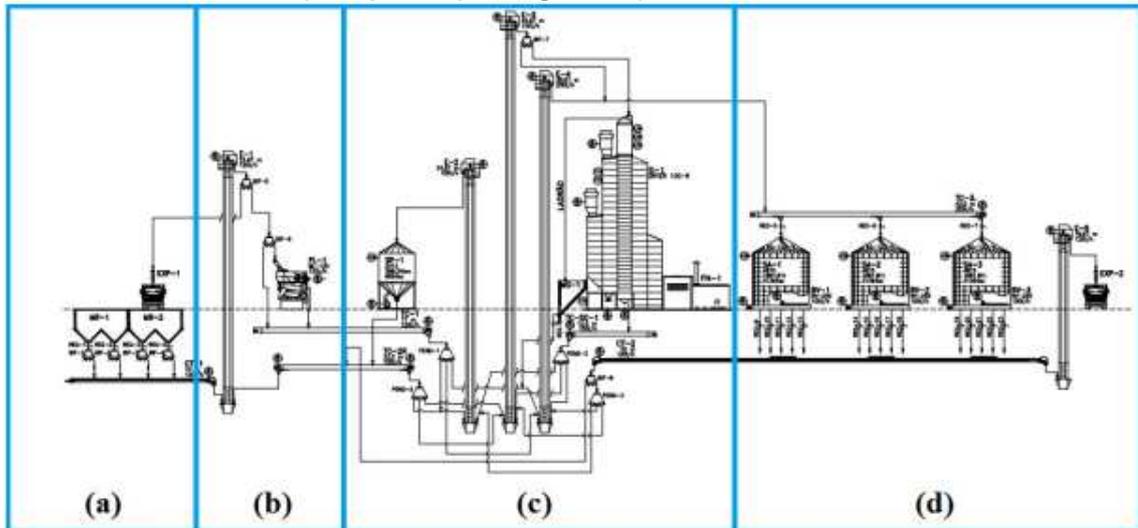
Fonte: Autoria própria (2022)

4.2 Setor de estudo

Sabe-se que o Paraná é um dos maiores produtores de grãos do país, devido, principalmente, a grande extensão territorial, clima e solo favoráveis e utilização de tecnologia para manejo da lavoura. Mas, além de produzir, é de fundamental importância efetuar o armazenamento correto para conseguir minimizar as perdas de

grãos, juntamente com prejuízos financeiros e logísticos. Atualmente, a produção de grãos vem aumentando em grandes proporções se comparada com a capacidade estática por diversos fatores (BARONI, BENEDETI, SEIDEL, 2017). A Figura 10 ilustra as etapas do processo de armazenagem de grãos nas unidades de armazenagem.

Figura 10 - Fluxograma da planta de uma unidade de armazenamento de grãos a) Recebimento, b) Limpeza, c) Secagem e d) Armazenamento



Fonte: Adaptado de Engenharia Kepler Weber (2022)

De acordo com Nunes (2019) nas unidades de armazenamento os grãos passam por diversas etapas, de forma geral, são elas:

(a) Recebimento. Esta é a primeira etapa de uma unidade armazenadora, onde, após a pesagem e a retirada de amostra, o produto é descarregado do meio de transporte e fica disponível para passar para as outras etapas;

(b) Limpeza. Após a etapa de recebimento, o produto é levado através de transportadores mecânicos até a máquina de limpeza, onde as impurezas transportadas junto com os grãos devem ser retiradas;

(c) Secagem. Após o processo de limpeza, o responsável pela unidade faz a análise da necessidade de secagem do grão, que muitas vezes é necessária, decorrente da alta umidade em que o mesmo é colhido. Para isso, é utilizado o secador, equipamento por onde o grão percorre o interior recebendo ar quente, provido geralmente por fornalhas no intuito de ter sua umidade reduzida. Basicamente, o equipamento contém exaustores no lado contrário ao da fornalha, que servem para sugar ar quente e fazê-lo passar pelos grãos que ficam em movimento em todo o centro do equipamento, chamado de torre;

(d) Armazenamento. Por fim, após o produto ter percorrido todas as etapas, o mesmo é levado para o depósito onde será armazenado por determinado período, estes depósitos são os silos metálicos, que podem ser observados na Figura 11.

Figura 11 - Silos de armazenagem



Fonte: Engenharia Kepler Weber (2022)

Desta forma, foi iniciado o levantamento das fontes de emissão industriais (fontes fixas) com foco no beneficiamento de grãos (unidades de armazenamento), baseado nas respectivas localizações.

Maiores detalhamentos da metodologia a ser utilizada, é dado no fluxograma abaixo, demonstrado pela Figura 12.

Figura 12 - Fluxograma de descrição das atividades realizadas para obtenção dos dados



Fonte: Autoria própria (2022)

Descrição das etapas do fluxograma:

1. Identificação da localização das Indústrias, através do site das cooperativas, associações e pelo banco de dados do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA);
2. Extração das coordenadas geográficas das Indústrias e as respectivas cidades onde operam (unidades), com auxílio do software Google Earth;
3. Organização e tratamento dos dados obtidos anteriormente com o auxílio do software Microsoft Excel e software R;
4. Verificação da existência do dado de emissão dos dados obtidos manualmente no banco disponibilizado pelo IBAMA (banco de dados oficial 2019);
5. Cruzamento dos dados de localização geográfica obtidos manualmente com os dados disponibilizados pelo IBAMA;
6. Construção de mapas com o auxílio do software Qgis, contendo a distribuição geográfica das fontes fixas de acordo com as coordenadas extraídas manualmente e complementadas com os dados de localização do banco de dados do IBAMA;
7. Cálculo da emissão por meio da equação de emissões para fins comparativos, representada pela Equação 2 (a seguir).

4.3 Cálculo dos dados de emissão atmosférica

Como etapa importante o cálculo das emissões será utilizado como ferramenta adicional ao inventário de emissões, a partir do fator de emissão e atividade específica. O cálculo da estimativa das emissões de poluentes para a atmosfera será orientado por critérios técnicos e referências internacionais, como alguns documentos da Environmental Protection Agency (EPA) e do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006). Como descrito na Equação (2) representada abaixo:

$$Emiss\tilde{a}o = FE * A \quad (2)$$

Onde:

FE, corresponde ao fator de emissão para um poluente em uma categoria de fonte de emissão específico definido pela (EPA). Este valor é apresentado em quantidade da espécie poluente por unidade de atividade, denominada A.

Dada uma atividade específica relacionada ao fator de emissão. A atividade A é um valor representado por quantidade de combustível usado, ou quantidade de matéria prima utilizada em função do tempo, objeto da estimativa.

Para efeitos de cálculo, foram adotados os fatores de emissão e a Equação descrita pela AP-42 da EPA (EPA, 1995). Foram utilizadas como abordagens de cálculo das emissões:

- a) Extração direta (por meio do banco de dados do IBAMA) e
- b) Estimativa de emissões (utilizando estimativa da taxa de emissão calculada a partir do fator de emissão para a atividade condizente).

A obtenção dos fatores de emissão se deram de acordo com a 5ª edição do manual AP-42: Compilation of Air Emissions Factors da US EPA, na sessão 1.6, em seu capítulo Wood Residue Combustion In Boilers, esse capítulo apresenta a atividade mais próxima possível do setor trabalhado. Os poluentes que constam com fatores de emissão associados a essa atividade, são MP₁₀, MP_{2,5}, CO, NO_x, SO_x, CO₂, TOC e VOC. Esses podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 - Fatores de emissão associados aos poluentes

Poluente	Fator de emissão (lb/MMBtu)
MP ₁₀	0,29
MP _{2,5}	0,017
NO _x	0,355
CO	0,6
SO ₂	0,025
TOC	0,06
VOC	0,04
CO ₂	195,2

Fonte: EPA (2001)

A partir da organização e tratamento dos dados obtidos, foi feita uma análise para determinar a distribuição geográfica das fontes, onde foi possível a identificação das regiões de maior potencial poluidor. Podendo assim, ser feita a determinação dos tipos de poluentes que se dão de forma significativa na área determinada e descobrir qual a contribuição do setor analisado, para as emissões atmosféricas do Estado do Paraná.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

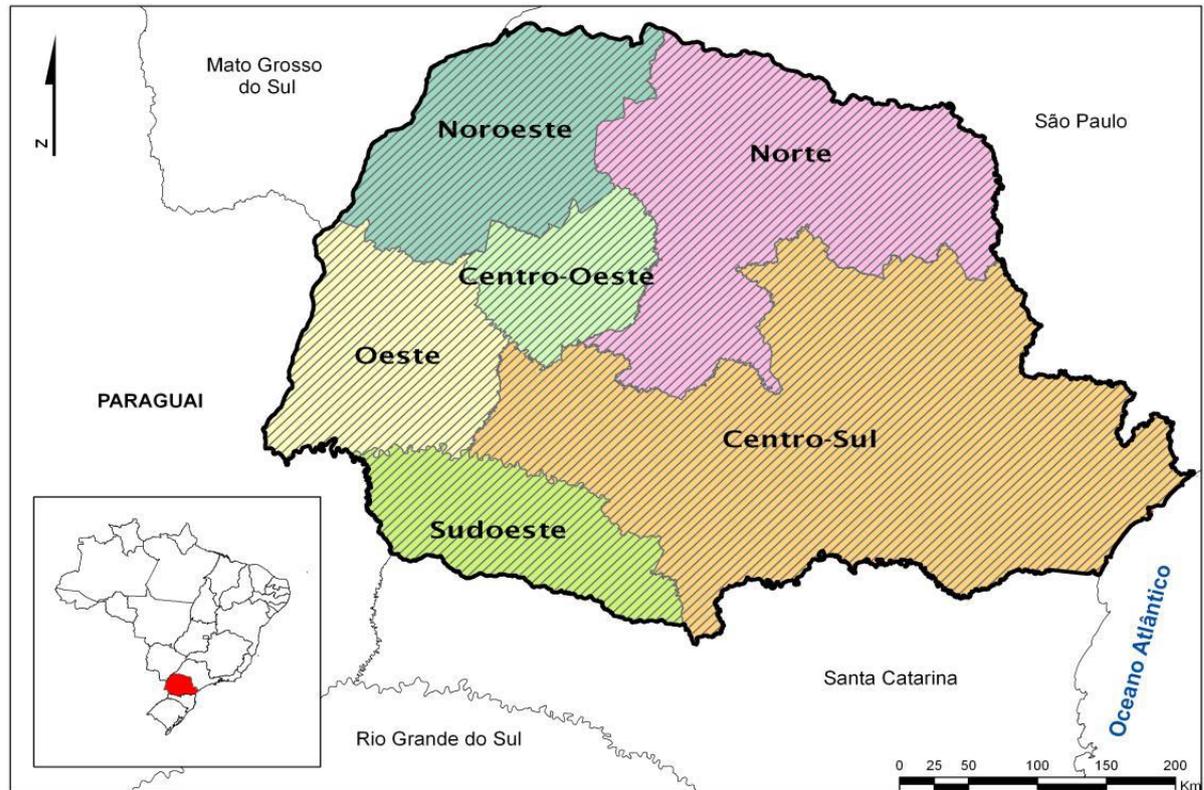
Os resultados deste trabalho estão apresentados de forma que se possa verificar os principais poluentes emitidos e suas contribuições para a poluição atmosférica, em determinadas regiões, do Estado do Paraná. Dessa forma, a fim de identificar a relevância dessas fontes e caracterizá-las, considerando uma margem de incerteza associada aos cálculos das emissões ou de erros de medição.

Ao todo foram levantadas 242 indústrias de beneficiamento de grãos no Brasil, representadas por um mapa de localização no Apêndice A do trabalho. O projeto continua em andamento para que se consiga levantar o máximo possível, com projeção para alcance de outros setores na finalidade de construir um inventário de emissões com indústrias de todo o Brasil.

Após ser feito o levantamento de dados de localização das indústrias manualmente, uma inconsistência nos dados pôde ser identificada, uma vez que a maioria dos dados de emissão das indústrias levantadas não puderam ser encontrados no banco de dados disponibilizado pelo IBAMA. Sendo assim, optou-se por fazer a análise apenas com os dados do IBAMA do ano de 2019 para o Estado do Paraná que já possuem a localização das indústrias e os respectivos poluentes com os valores de emissões (ton/ano).

Para fins de uma melhor compreensão adotou-se um método utilizado por Bell (2012), que divide o Estado do Paraná em seis regiões afim de uma melhor representatividade das áreas. As regiões foram classificadas como: norte, noroeste, centro-oeste, oeste, sudoeste e centro-sul, que estão representadas na Figura 13. Essa classificação foi instituída pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Paraná (SEAB), essa que utiliza dessas classificações para disponibilizar informações a respeito da produção de grãos no Estado.

Figura 13 - Zoneamento agrícola no Estado do Paraná



Fonte: SEAB (2011 apud BELL, 2012)

Após ser feito um estudo detalhado dos processos em que o grão passa, nessa cadeia de beneficiamento, até poder ser armazenado, é possível chegar à conclusão de que o processo de secagem dos grãos é o que gera poluente de forma mais significativa, dentre os processos. Isso ocorre devido a reação química de combustão da biomassa, que gera quantidades significativas de poluentes pelas variadas composições do material lenhoso utilizado nas fornalhas usadas para aquecimento das massas de ar para a retirada de umidade dos grãos.

A informação do consumo de lenha para secagem de grãos também é necessária para efeitos do cálculo das emissões, portanto, com base no estudo feito por Bell (2012), para determinação da demanda de lenha para tal atividade no Estado do Paraná, pôde ser levantado esse consumo (fator de atividade A). Os dados se encontram apresentados na Tabela 4.

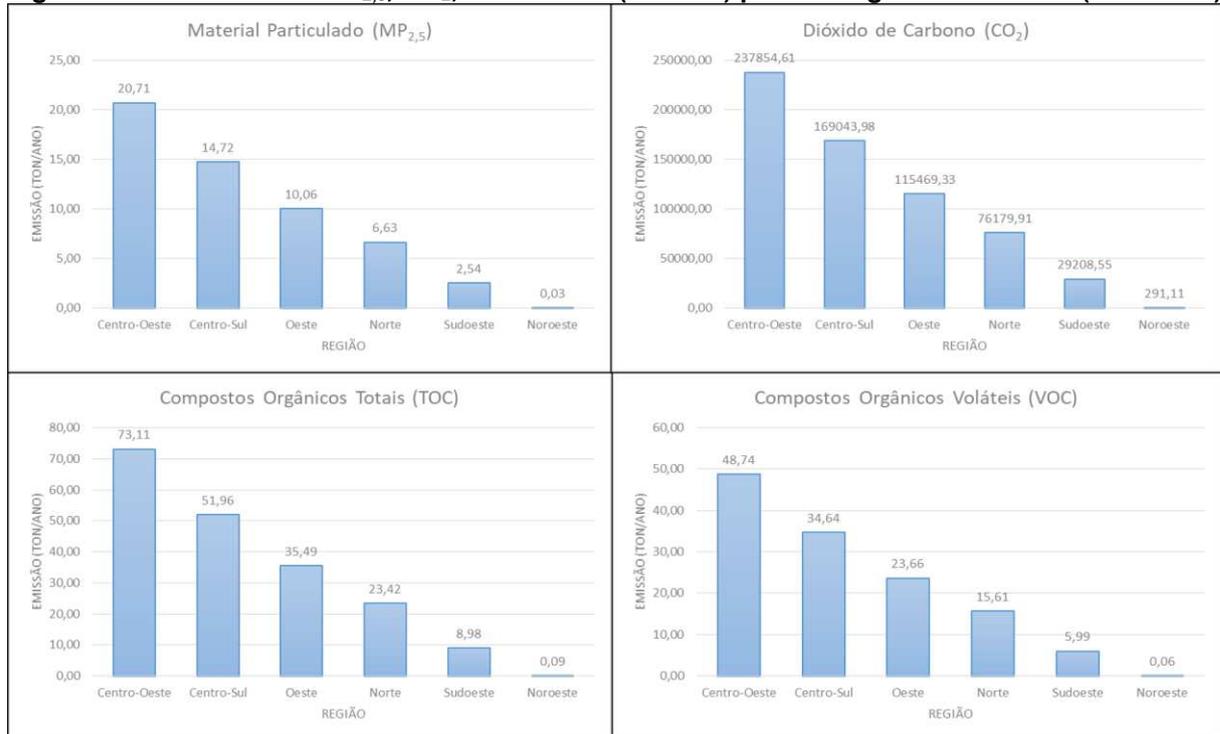
Tabela 4 - Consumo de lenha por região do Estado do Paraná em 2012

Regiões	Consumo de lenha (m³)
Centro-oeste	485.342
Centro-sul	344.934
Oeste	235.615
Norte	155.445
Sudoeste	59.600
Noroeste	594
TOTAL	1.281.530

Fonte: Adaptado de BELL (2012)

Apesar das emissões terem uma relação direta com a atividade, no caso o consumo de lenha, isso deve ser analisado com cautela, pois a demanda de lenha pode variar com o grau de umidade que o grão chega nas cooperativas, podendo depender das condições climáticas da região, em características como a pluviosidade ou a incidência de radiação solar. Assim, não necessariamente as regiões reconhecidas do Estado como maiores produtoras de grãos podem ser as que apresentem maiores emissões decorrentes do processo de secagem.

Pela limitação do cálculo com base na atividade (consumo de lenha/ por região do Estado), não foi possível demonstrar essa variação, pois para o cálculo foi utilizado o mesmo valor de consumo para todas as unidades de cada região do Estado. Desta forma foi permitido demonstrar apenas a variação das emissões (massa do poluente emitido em toneladas por tempo, dado em ano) dos poluentes por região do Estado, como apresentado na Figura 14.

Figura 14 - Emissões de MP_{2,5}, CO₂, TOC e VOC (ton/ano) para as regiões do Paraná (calculado)

Fonte: Autoria Própria (2022)

Dos poluentes mencionados podemos ver que o dióxido de carbono (CO₂) pôde ser encontrado em valores de emissão mais expressivos relativamente, se aproximando da casa de 240.000 (ton/ano) na região centro-oeste, região essa que sobressaiu às outras em todos os tipos de poluentes. A grande emissão de CO₂ pode ser justificada por conta do processo de combustão de biomassa (lenha), que quando completo, há oxigênio suficiente para reagir com o combustível e retorna como produtos o dióxido de carbono (CO₂), dióxido de enxofre (SO₂) e vapor d'água (H₂O) (PELANDA, 2016).

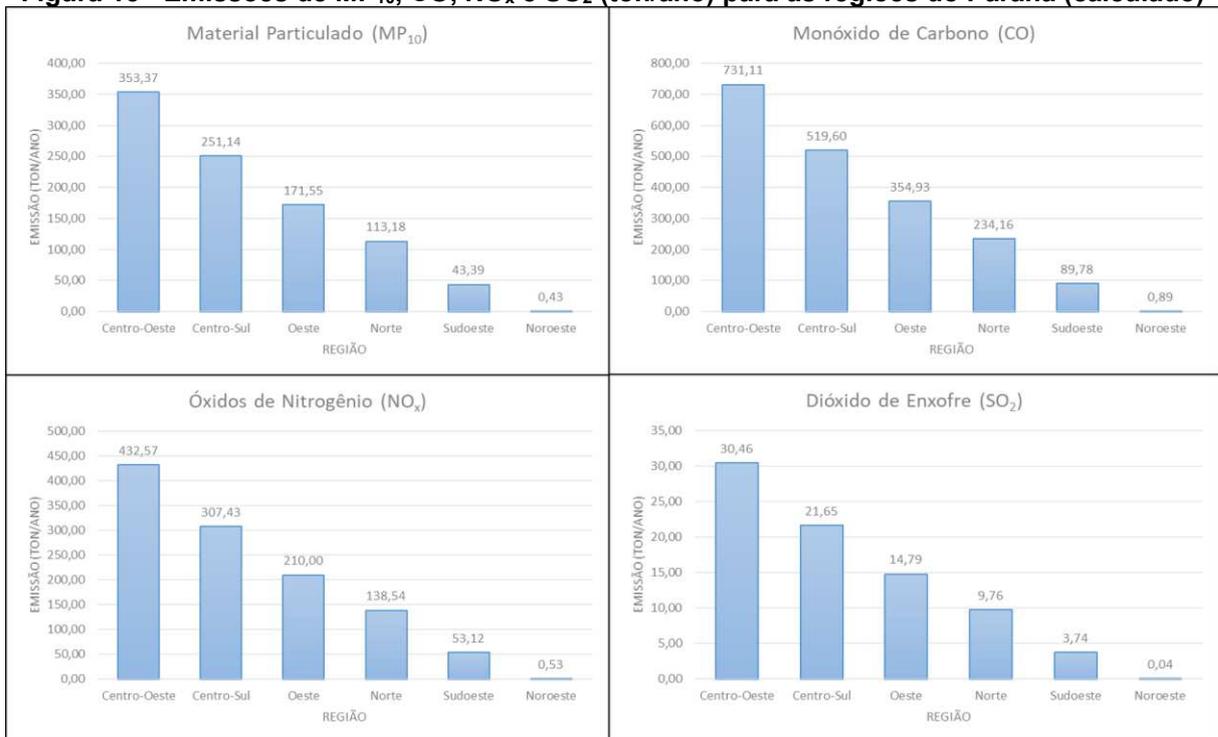
A atividade de queima de lenha pelas características do combustível esperase consideráveis emissões de substâncias orgânicas, como os Compostos Orgânicos Totais (TOC) e com parte significativa desses sendo de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC). O material particulado fino (MP_{2,5}), embora em menores quantidades em relação aos demais, constitui-se de elementos e espécies químicas com impactos adversos reconhecidos ao clima e à saúde humana. Em geral, nesse material estão contidas partículas de black carbon (BC – espécie contendo carbono com características particulares), metais, HPA, íons (cloreto, sulfato, nitrato etc.) etc. Da mesma forma que para o CO₂, também podemos verificar que no centro-oeste os valores também são sempre mais elevados para os demais poluentes, o que pode ser

justificado pela região ter um maior consumo de lenha destinado para esse tipo de atividade, cerca de 38% do total consumido pelo Estado do Paraná.

Na região noroeste do Estado, as emissões se encontram em valores significativamente menores, o que pode ser justificado pelo mesmo motivo citado acima, ou seja, pela região ter um menor consumo de lenha destinado para esse tipo de atividade, apenas cerca de 0,046% do total consumido pelo Estado do Paraná (BELL, 2012).

Outros poluentes que também estão associados a atividade do setor inventariado são o MP₁₀, CO, NO_x e o SO₂, com o particulado, CO e NO_x teoricamente esperados apresentarem maiores emissões, por conta do processo de combustão, que se constitui no principal processo de geração e emissão de poluentes antrópicos para a atmosfera. As emissões por região desses poluentes são mostradas na Figura 15.

Figura 15 - Emissões de MP₁₀, CO, NO_x e SO₂ (ton/ano) para as regiões do Paraná (calculado)



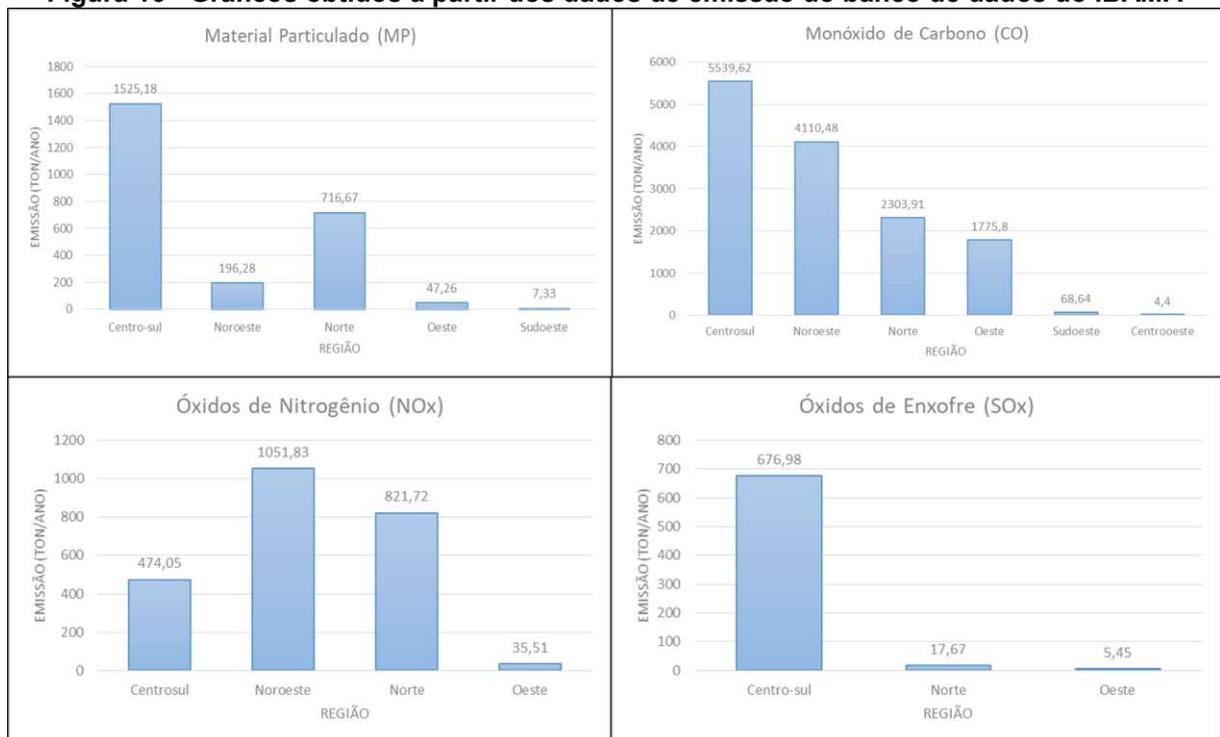
Fonte: Autoria Própria (2022)

Os poluentes material particulado com partículas inferiores a 10 micrometros (MP₁₀), CO, NO_x e o SO₂, se deram em maiores concentrações, com exceção do dióxido de enxofre que variou na mesma faixa de concentração do MP_{2,5}, TOC e VOCs, sendo justificado, visto que a concentração de enxofre na biomassa é baixa. O

principal motivo para que as concentrações de CO tenham se dado de forma elevada é a ocorrência da combustão incompleta do combustível. Isso ocorre pela falta de oxigênio no processo de combustão, em que o combustível está sendo consumido, produzindo, dentre outros poluentes, o CO (PELANDA, 2016). No processo de combustão o oxigênio é oriundo do ar que contém grande quantidade de nitrogênio e com as temperaturas no processo ocorre a geração de NOx, principalmente de NO. Já para o MP₁₀ sua maior emissão se justifica no fato de englobar partículas maiores que contribuem de forma mais significativa para a massa, quando comparado com as da fração fina (MP_{2,5}). Além disso, em geral, são inexistentes sistemas de controle de emissão nas fornalhas à lenha utilizadas para geração de calor no processo de secagem de grãos.

O banco de dados do IBAMA, disponível de forma aberta em <https://dadosabertos.ibama.gov.br/dataset/>, pôde contribuir na análise dos dados, podendo assim atuar de forma comparativa, e são apresentados na Figura 16 também por regiões do Estado do Paraná para as indústrias disponíveis no banco de dados. É importante lembrar que as emissões não são exatamente para as mesmas indústrias que foram inventariadas e apresentadas as emissões anteriormente.

Figura 16 - Gráficos obtidos a partir dos dados de emissão do banco de dados do IBAMA



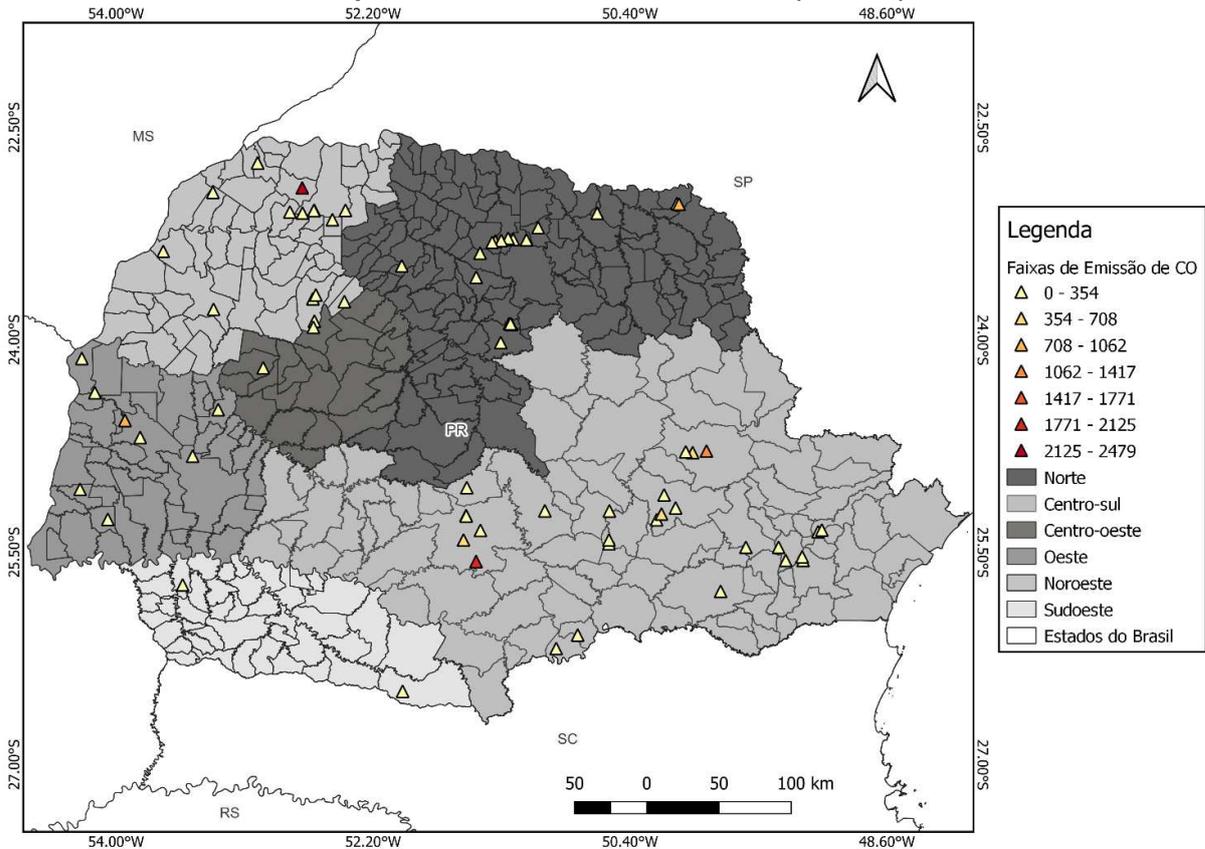
Fonte: Autoria Própria (2022)

É possível notar uma boa diferença entre os resultados originados dos dados calculados e os extraídos do banco de dados do IBAMA, tanto em valores de emissão, onde os dados calculados deram bem abaixo, mesmo sem aplicar nenhum tipo de controle de remoção, quanto aos poluentes emitidos. Essa diferença pode ser justificada por diversos fatores: i) não envio de dados pelas fontes para o órgão responsável; ii) apenas indústrias que se enquadrem como atividades potencialmente poluidoras (estabelecimentos que emitiram poluentes atmosféricos por meio de uma chaminé e que exerceram pelo menos uma das atividades (beneficiamento, moagem, torrefação e fabricação de produtos alimentares no ano) serem obrigadas a reportarem seus dados de emissão; iii) por equívocos ao se fazer a medição, cálculo ou estimativa pelas empresas; iv) por erros no preenchimento do formulário pelo responsável na empresa; v) pela falta de fiscalização; vi) falta da disponibilização organizada dos dados com as coordenadas, emissões e de demais parâmetros de emissão e por fim vii) a forma como foi coletada a informação de emissões do IBAMA, que variam, entre medição, cálculo e estimativa.

Quanto a região que mais gera poluentes oriundos da atividade em questão, fica evidente o equívoco em considerar exclusivamente a região centro-oeste como maior poluidora para todos os tipos de poluentes, como considerada anteriormente, ao analisar apenas os dados calculados. No banco de dados reportado pelo IBAMA, a região aparece com concentrações apenas de CO, ainda assim, com baixas concentrações e de pouca significância. A inconsistência aqui está relacionada ao fato da dependência do consumo de lenha, obtido por Bell por região e a falta da localização (coordenadas geográficas e número de fontes) das fontes de uso da lenha para o cálculo, que possibilite uma análise mais detalhada e a unificação dos dados inventariados com os reportados pelo IBAMA, para a obtenção de um inventário mais completo.

A distribuição das indústrias que reportaram dados de emissão nessa região do Estado ao IBAMA foi analisada, assim como suas faixas de emissão nos respectivos pontos, isso pode ser observado na Figura 17.

Figura 17 - Localização das indústrias obtidas pelo banco de dados do IBAMA com suas respectivas faixas de emissão de CO (ton/ano)



Fonte: Autoria Própria (2022)

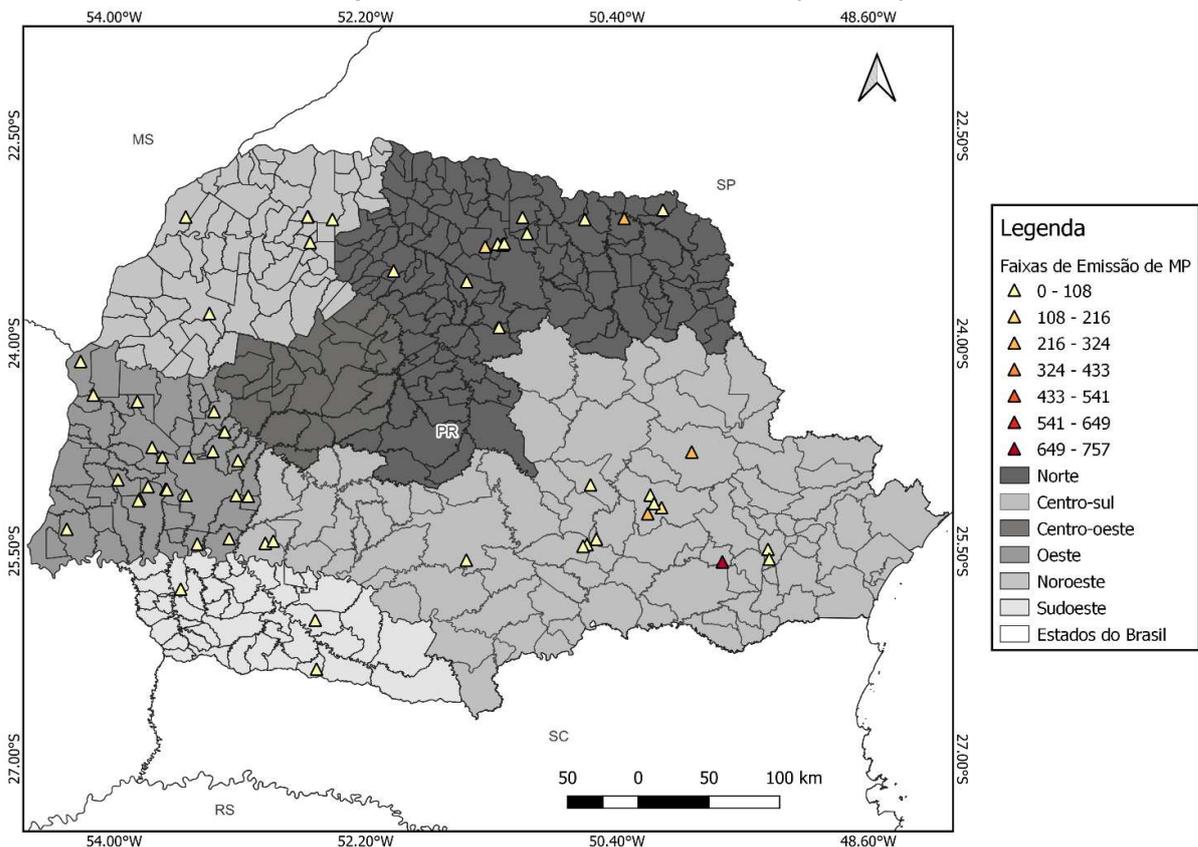
Vale ressaltar que a região centro-oeste do Estado obteve maiores valores de concentração a partir dos cálculos feitos, considerando fatores de emissão e a atividade baseada no consumo de lenha por região destinado para secagem dos grãos. Já com base nas emissões reportadas pelo banco de dados do IBAMA, essa região teve pouca influência para as emissões do Estado, porém, como é possível observar acima apenas uma indústria da região reportou dados de emissão para o órgão responsável, além da região possuir a menor extensão territorial do Estado, comparada as outras. Esses fatores devem ser levados em consideração, uma vez que quanto menor a região, menor a chance de ter várias outras indústrias que não reportaram os dados para o órgão.

As fontes que reportaram como poluente o CO, como é visível, estão concentradas na região centro-sul como é possível analisar na distribuição das mesmas. Analisando as faixas de emissão do poluente a região também foi a que mais apresentou variação nas concentrações, contemplando as faixas de 0-354, 354-708, 708-1062, 1062-1417 e a de 1771-2125 (ton/ano). Já as outras regiões obtiveram

no máximo duas faixas contempladas em seu território, na maioria delas se encontra na faixa de 0-354, como é o caso da região sudoeste que possui fontes apenas com essa faixa de emissão. A região noroeste possui algumas fontes de emissão de CO espalhadas pela sua extensão territorial, e o ponto vermelho mais escuro do mapa se encontra localizada nesta região, ou seja, para o ano de 2019 foi a fonte que mais emitiu CO para a atmosfera no Paraná na faixa de 2125-2479 (ton/ano).

O material particulado total (MP) também é outro poluente bem comum de ser identificado, estando contemplado em todos as regiões do Estado, exceto a centro-oeste, como pode ser observado na Figura 18.

Figura 18 - Localização das indústrias obtidas pelo banco de dados do IBAMA com suas respectivas faixas de emissão de MP (ton/ano)



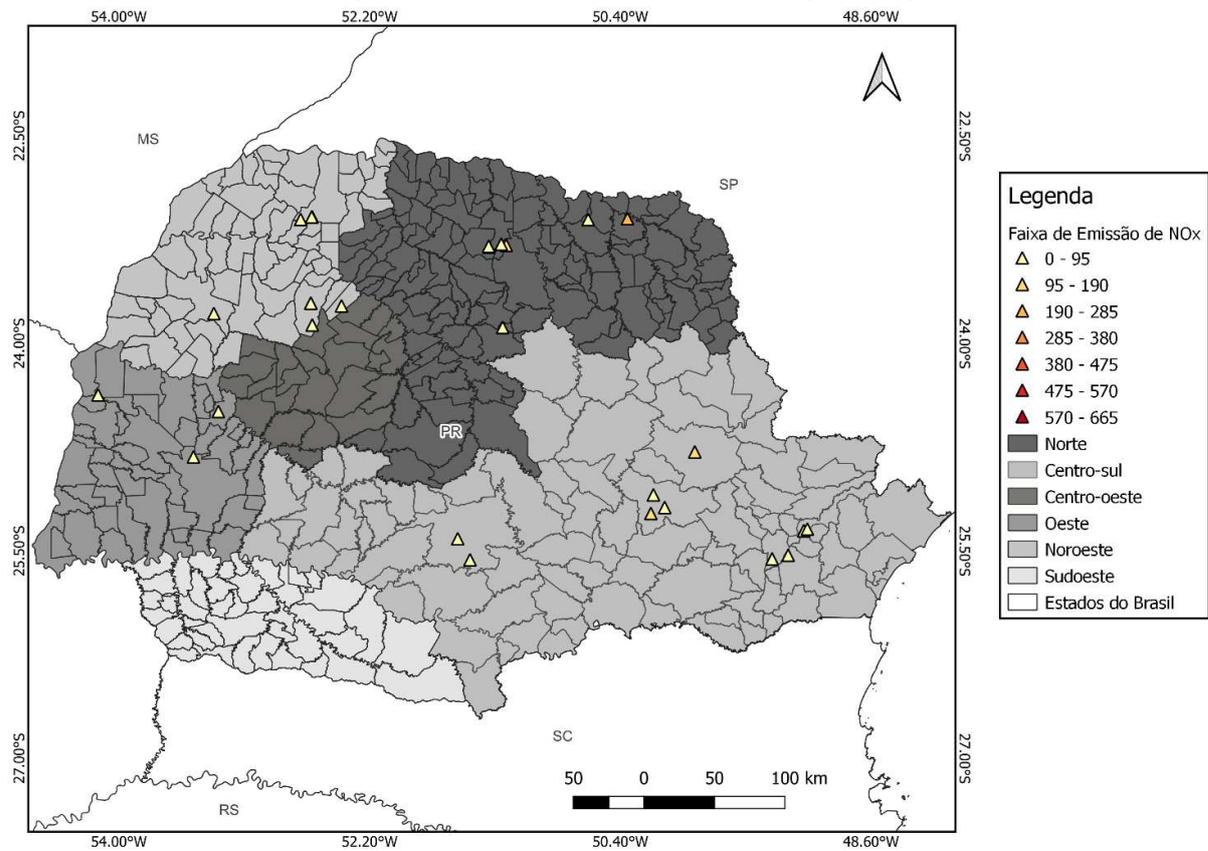
Fonte: Autoria Própria (2022)

Novamente a região em que mais variou as faixas de emissão, foi a centro-sul, podendo ser identificadas fontes com faixas de emissão mais elevadas, como os pontos alaranjados e o vermelho-escuro. Mas dessa vez a região oeste supera a região centro-sul em número de fontes espalhadas. A região norte também possui algumas variações nas faixas de emissões com picos na faixa de 324-433 (ton/ano).

Nas região oeste, noroeste e sudoeste do Estado é possível constatar que as concentrações de MP variaram apenas na faixa mais baixa de emissão, estando sempre entre 0-108 (ton/ano).

As fontes de NO_x se encontram espalhadas pelas regiões do Estado, e comparadas aos outros poluentes, são em número bem menor, como avaliado na Figura 19.

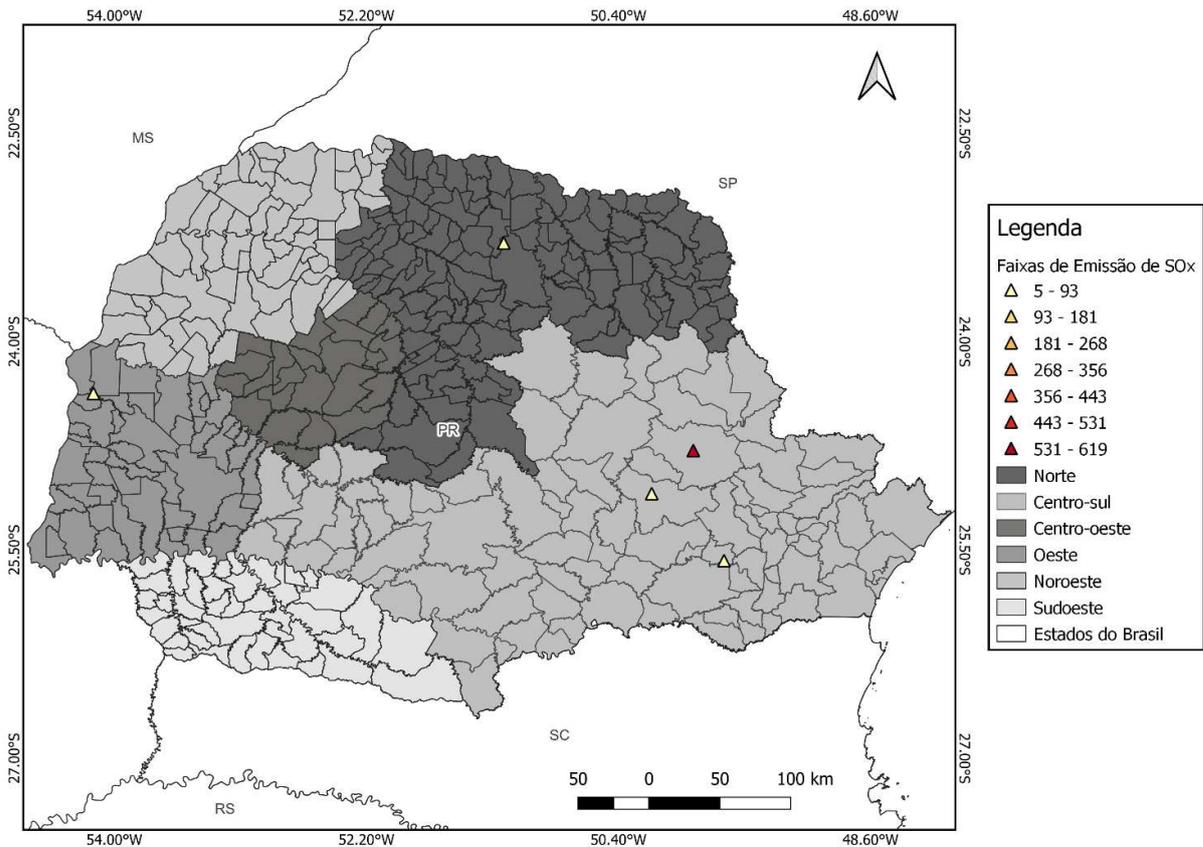
Figura 19 - Localização das indústrias obtidas pelo banco de dados do IBAMA com suas respectivas faixas de emissão de NO_x (ton/ano)



A distribuição das fontes de NO_x se dão de forma mais homogênea no mapa, dificultando na identificação de regiões com maior densidade de emissões do poluente. É possível observar que a região onde se encontram um maior número de fontes é o centro-sul.

Por fim, o último poluente a ser analisado nos dados disponibilizados pelo IBAMA é o SO_x , que é um poluente emitido por poucas fontes e em baixas concentrações pela atividade em questão, a Figura 20 ilustra essa situação.

Figura 20 - Localização das indústrias obtidas pelo banco de dados do IBAMA com suas respectivas faixas de emissão de SO_x (ton/ano)



Fonte: Autoria Própria (2022)

Apenas cinco fontes de SO_x podem ser identificadas no mapa, e três delas se encontram na região centro-sul do Estado. Vale destacar que uma das fontes se dá numa faixa de emissão elevada entre 531-619 (ton/ano), e isso foge ao padrão da atividade, podendo ser caracterizado por algum erro de medição ou cálculo equivocado.

Portanto, pode-se indicar que a região que mais emite de acordo com os dados reportados pelo IBAMA, é a região centro-sul, por ser na maioria dos poluentes a região que possui maior número de fontes espalhadas e por haver maiores variações nas faixas de emissão. No entanto, as estimativas obtidas com base na metodologia de cálculo amplamente utilizada indicaram a região centro-oeste, portanto pode-se inferir que ambas as regiões são relevantes para as emissões desse setor no estado. As características climáticas e produtivas reforçam esses resultados.

No entanto, cabe destacar a necessidade de comparação com resultados da literatura para verificar os achados nesse trabalho, tanto em relação ao inventário de emissões obtido através dos fatores de emissão e consumo de lenha por regiões do

estado, quanto as emissões (ton/ano) obtidas no banco de dados do IBAMA. Assim, como trabalhos futuros pode-se buscar obter dados de consumo de lenha por unidade e comparar os resultados com os inventários globais, como o *Emissions Database for Global Atmospheric Research* (EDGAR) e inventários de gases do efeito estufa do país, buscando a comparação com atividades similares à do setor inventariado nesse trabalho.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados apresentados neste trabalho é perceptível que as contribuições geradas por esse setor são de fundamental importância para as emissões atmosféricas do Estado do Paraná.

Os controles focados na redução das emissões seriam uma importante alternativa, considerando que na literatura nada se fala desse tipo de uso para a redução das emissões deste setor.

Outra consideração a ser feita, é a respeito dos órgãos que fiscalizam e disponibilizam esse tipo de dado, devido a importância que o setor tem para as emissões no Estado, deveriam ser tratadas com maior rigor, pois fica evidente a falta de indústrias que deveriam reportar, mas não o fazem. As indústrias levantadas anteriormente que não tiveram as emissões reportadas para o banco puderam mostrar essa discrepância.

Um inventário detalhado dessas emissões gerado por este estudo, pode fornecer informações úteis, para modelar a qualidade do ar e apoiar o desenvolvimento de estratégias apropriadas de controle da poluição, bem como à definição de políticas para a área de qualidade do ar.

Por fim, cabe mencionar que os valores de emissão calculados em um inventário, assim como os fatores de emissão associados as atividades inventariadas são apenas hipóteses, desta forma, é de fundamental importância utilizar um parâmetro que expresse o grau de incerteza associado a um resultado (DE AGUIAR FILHO; DE ALBUQUERQUE; ANDRADE, 2009).

De acordo com a Agência Ambiental Europeia (EEA), a incerteza nos valores apresentados e calculados dentro de um inventário de emissões atmosféricas é uma etapa fundamental para o controle da qualidade dos dados apresentados (E.E.A, 2009). Essas incertezas são inerentes ao processo metodológico que utiliza fatores de emissão e tecnologias de controle geralmente iguais para as indústrias de mesma atividade, pois não há medidas individuais e dados específicos para cada unidade. Por exemplo, a forma como é obtido o fator de emissão para determinada atividade, pode variar com as características locais, de clima e diferenças de execução de um processo de uma unidade para outra. Embora haja muitas incertezas baseadas neste método, ele ainda é o mais utilizado na construção de inventários de emissão.

REFERÊNCIAS

- AEGRO. **Beneficiamento de grãos**. 2022. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/beneficiamento-de-graos/>. Acesso em: 05 jun. 2022.
- AFONSO JÚNIOR, P. C.; OLIVEIRA FILHO, D.; COSTA, D. R. **Viabilidade econômica de produção de lenha de eucalipto para secagem de produtos agrícolas**. Engenharia Agrícola, v. 26, n. 1, p. 28–35, 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162006000100004&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 29 maio 2022.
- ARBEX, Marcos Abdo et al. A poluição do ar e o Sistema respiratório. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 38, n. 5, p. 643-655, 2012.
- BARONI, G.; BENEDETI, P.; SEIDEL, D. Cenários prospectivos da produção e armazenagem de grãos no Brasil. **Revista Thema**, v. 14, n. 4, p. 55–64, 2017.
- BELL, Raquel Alves de Oliveira. **Demanda de lenha para secagem de grãos no estado do Paraná**. 2012. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.
- BLASELBAUER, Harald. Combustão de madeira e controle de poluição em cerâmicas. **Revista NovaCer**, Criciúma, v. 5, p. 63-67, 2010.
- BRAGA, A. et al. Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 23, p. 570-578, 2007.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 491 de 19 de novembro de 2018**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Brasília, 2018. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>. Acesso em: 17 nov. 2019.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 13 – Caldeiras, Vazos de pressão, Tubulações e Tanques metálicos de armazenagem**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2019.
- BURKOT, C. R. A qualidade desejada na secagem e armazenagem de grãos em uma cooperativa no município de Ponta Grossa – PR. **Revista de Gestão e Organizações Cooperativas**, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 39–50, 2015. DOI: 10.5902/2359043215479. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/rgc/article/view/15479>. Acesso em: 13 maio 2022.
- CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental). **Qualidade do ar**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acesso em: 22 abr. 2022.
- CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental). **Emissão Veicular**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/proconve/>. Acesso em: 13 dez. 2022.

CHEN, C.; CHAN, C.; CHEN, B.; CHENG, T.; GUO, Y. L. Effects of particulate air pollution and ozone on lung function in non-asthmatic children. **Environmental Research**, v. 137, p. 40 - 48, 2015.

COMIL. **Silos planos**. Disponível em: <https://comil.com.br/pt/produtos/silos-planos/>. Acesso em: 05 jun. 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da Safra Brasileira. **Observatório Agrícola**, v. 9, n. 1, 2022.

CRUZ, M. L.; SIQUEIRA, A. M. O.; CAMPOS, J. C. C.; DA SILVA, C. L. **Estudo da eficiência energética de uma caldeira flamotubular em uma indústria de laticínios**. The Journal of Engineering and Exact Sciences, v. 8, n. 2, 2022.

DA SILVA, I.; MARTINS, L. D.; ALMEIDA, D. S.; HASHIMOTO, E. M. Risk assessment of temperature and air pollutants on hospitalizations for mental and behavioral disorders in Curitiba, Brazil. **Environmental Health**, 2020.

DANTAS, J. S. **Estudos dos impactos ambientais negativos gerados no ciclo de operações do armazenamento de grãos**. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2017.

DAVID COOPER, C; ALLEY, F.C. **Air Pollution Control: A Design Approach**. 4th Edition. Long Grove: Waveland Press, 2010.

DE AGUIAR FILHO, Adelmo Menezes; DE ALBUQUERQUE, Édler Lins; ANDRADE, Camila de Jesus. X-015-Análise das incertezas e da escolha metodológica de um inventário de emissões veiculares. **ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2009.

DE SOUSA, J. et al. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. 2008.

DEMIRBAS, A. **Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related environmental issues**. Progress in Energy and Combustion Science, v. 31, n. 2, p. 171–192, 2005.

DOS SANTOS, M. C.; FERNANDES, A. C. **Modelo dinâmico de sistemas para avaliar emissões atmosféricas na indústria de petróleo e gás**. 2012.

E.E.A (European Environment Agency). **Emep/Eea Air Pollutant Emission Inventory Guidebook–2009**. Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>.

EIFERT, E. C.; ELIAS, M. C.; FRANCO, D. F. **Árvore do conhecimento - Arroz: Transporte, recepção, pré-limpeza e secagem**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fessmgy402wx>

5eo0y53mhy0y76ur7.html. Acesso em: 07 jun. 2022.

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N. L. **Tecnologias de pré-armazenamento, armazenamento e conservação de grãos**. p. 102, 2017. Disponível em: <https://docplayer.com.br/12247185-Tecnologias-de-pre-armazenamento-armazenamento-e-conservacao-de-graos.html>. Acesso em: 04 abr. 2022.

Engenharia Kepler Weber. **Silos planos**. Disponível em: <https://www.kepler.com.br/produtos/silos-1/silos-planos>. Acesso em: 03 abr. 2022.

EPA. **Air emissions inventories**. Disponível em: <https://www.epa.gov/air-emissions-inventories>. Acesso em: 05 jun. 2022.

EPA. **AP-42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary and Point Sources**, p. 1–10, 1995.

EPA. **AP-42, Background document report on revisions to 5th edition AP-42, Section 1.6: Wood Residue Combustion In Boilers**, p. 0-37, 2001.

FAJARDO, S. Complexo agroindustrial, modernização da agricultura e participação das cooperativas agropecuárias no estado do Paraná. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia, 2008.

GALVÃO FILHO, J. B. Poluição do ar. **ECP – Engenharia, Consultoria e Planejamento**. v. 26, 2013. Disponível em: <https://www.consultoriaambiental.com.br/pdf/pdf-35.pdf>. Acesso em: 03 maio 2022.

GUARIEIRO, L. L. N.; VASCONCELLOS, P. C.; SOLCI, M. C. Air pollutants from the burning of fossil fuels and biofuels: A brief review. **Revista Virtual de Química**, v. 3, n. 5, p. 434–445, 2011.

GLUITZ, A. C.; MARAFÃO, D. **Utilização Da Cinza Da Madeira De Eucalipto Na Substituição Parcial Do Cimento Portland Em Argamassa**. p. 0–52, 2013.

IBGE. **Panorama Paraná**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/panorama>. Acesso em: 06 jun. 2022.

IBAGUE REY, C. A. **Revisão, atualização e automatização de inventário de emissões atmosféricas por fontes fixas industriais para o Brasil**. Qualificação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2022.

IPCC. **Technical Summary. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. 2006.

KAWASHIMA, Ana Beatriz et al. Development of a spatialized atmospheric emission inventory for the main industrial sources in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 29, p. 35941-35951, 2020.

LANDRIGAN, P. J. et al. The Lancet Commission on pollution and health. **The Lancet**, v. 391, n. 10119, p. 462–512, 2017.

LISBOA, Henrique M.; SCHIRMER, Waldir N. **Metodologia de controle da poluição atmosférica**, v. 12, n. 01, p. 2012. Montreal, 2007.

LOUREIRO, L. N. **Panorâmica Sobre Emissões Atmosféricas Estudo De Caso: Avaliação Do Inventário Emissões Atmosféricas da Região Metropolitana Do Rio De Janeiro Para Fontes Móveis**. Tese (Mestrado). Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

MENDONÇA, G. R. **Análise dos impactos ambientais na estocagem de grãos em unidades armazenadoras**. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2021.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **A camada de ozônio**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/clima/protacao-da-camada-de-ozonio/a-camada-de-ozonio>. Acesso em: 02 abr. 2022.

MIRIAM, C.; POGGI, B. **Caldeiras De Instalações Industriais De Pernambuco**, 2016.

MUNOZM, D.; CUATIN I, M. F.; PANTOJA M., A. J. Potencial energético de residuos agroindustriales del departamento del cauca, a partir del poder calorífico inferior. **Rev.Bio.Agro**, Popayán, v. 11, n. 2, p. 156-163. 2013. Available from: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612013000200018&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 03 jun. 2022.

NASCIMENTO, M. D. **Otimização do uso de lenha e cavaco de madeira para produção de energia em agroindústria seropédica**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas do Campus de Botucatu, UNESP, São Paulo, 2007.

NOGUEIRA, L.A. H.; LORA, E.S.; TROSSERO, M.A.; FRISK, T. **Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações**. 1ª ed., Editora Interciência, 2000.

NUNES, L. F. **Sistema de aeração para silos de armazenagem de grãos com a utilização de termometria digital**. Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2019.

NUSSBAUMER, T. **Overview on Technologies for Biomass Combustion and Emission Levels of Particulate Matter**. Zürich, 2010.

OMS (Organização Mundial da Saúde). **Environmental Impacts on Health**. Disponível em: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/climate-impacts-of-air-pollution>. Acesso em: 21 abr 2022.

PELANDA, K. A. **Emissões atmosféricas provenientes do consumo de madeira**

como biocombustível no paraná. Universidade Federal Do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/44000/R-D-KARINE-ANDRESSA-PELANDA.pdf;jsessionid=83597AAF537CC0DC11CD173EFDA3420B?sequence=1>. Acesso em: 04 mar. 2022.

PIRES, D. O. Inventário de emissões atmosféricas de fontes estacionárias e sua contribui o para a polui o do ar na região metropolitana do Rio de Janeiro. **Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro**, 2005.

QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. **Revista da Madeira**, n.89, p.100-106, 2005.

ROCCO, C. D.; MORABITO, R. **Um modelo de otimiza o para as opera es de produ o de vapor em caldeiras industriais**. p. 273–286, 2012.

SANTOS, William Rosário dos. **Controle e avalia o de um conjunto gaseificador-combustor de fluxo concorrente, utilizando como combustível a biomassa de lenha de eucalipto**. 2008. 85 f. Disserta o (Mestrado em Constru es rurais e ambiência; Energia na agricultura; Mecaniza o agrícola; Processamento de produtos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

SANTOS, C.F.R.T.T. et al. Fatores de Emissão Atmosférica e Análise de Significância aplicada na Gestão da Qualidade do Ar no campus do IPEN/CNEN-SP. **Encontro internacional sobre gestão empresarial do meio ambiente (ENGEMA)**, 2016a.

SANTOS, F. A. et al. **Dendroenergy**. Nucleus, v. 13, n. 1, p. 131–142, 2016b.

Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA). **Resolu o SEMA n  016 de março de 2014** – Dispõe sobre emissões atmosféricas. 2014. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=269324>. Acesso em: 06 mai. 2022.

SENAR. **Grãos: armazenamento de milho, soja, feijão e café**. 2018. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/216-ARMAZENAMNTOS-GRÃOS.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2022.

SILVA, J. S.; PARIZZI, F. C.; SOBRINHO, J. C. Beneficiamento de Grãos. **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**. p. 307-323. Viçosa, 2008.

SILVA FILHO, Valdemar Francisco da et al. **Avalia o dos gases formados no processo de pirólise e p s-combustão de resíduo sólido urbano e cavaco de madeira**. Disserta o (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Gradua o em Engenharia Química, Florianópolis, 2014.

SOUZA, K. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. **Estimativas de emissões de gases poluentes por veículos automotores rodoviários nos municípios paulistas e sua rela o com a saúde**. Piracicaba, 2017.

TROVATI, J. **Tratamento de água para geração de vapor**. Disponível em: http://snatural.com.br/PDF_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-Agua-Caldeira.pdf. Acesso em 27 abr. 2022.

ZANOLLA, G. **Estudo de melhoria no fluxo operacional do processo de beneficiamento de grãos em uma unidade armazenadora de grãos**. 2019. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

APÊNDICE A - Mapa contendo as indústrias inventariadas anteriormente

