

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

APLICAÇÃO PARA CONTROLE DE EMISSÃO DE PARTICULADO SÓLIDO EM TERMINAIS
DE DESCARGA DE SOJA

por

Fladimir de Souza Barbosa

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, Junho de 2015



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

APLICAÇÃO PARA CONTROLE DE EMISSÃO DE PARTICULADO SÓLIDO EM TERMINAIS
DE DESCARGA DE SOJA

por

Fladimir de Souza Barbosa

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Alcy Rodolfo dos Santos Carrara
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Projeto e Fabricação**

Orientador: Prof. Me. Darci Barnech Campani

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Alcy Rodolfo dos Santos Carrara

Prof. Dr. Joyson Luiz Pacheco

Prof. Dr. Tiago Becker

Porto Alegre, 26 de Junho de 2015.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, *Antonio e Luzia*, e a minha irmã *Anelize* pelo apoio incondicional ao longo de toda minha vida e pelo contínuo incentivo para que eu fosse ao encontro dos meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu Orientador, *Professor Me. Darci Barnech Campani*, pelo apoio ao tema, pela fundamental orientação e também a amizade desenvolvida ao longo deste trabalho.

Aos *amigos* e *colegas* pelo companheirismo e apoio no desenvolvimento da vida acadêmica.

BARBOSA, F. de S.; APLICAÇÃO PARA CONTROLE DE EMISSÃO DE PARTICULADO SÓLIDO EM TERMINAIS DE DESCARGA DE SOJA. 2015.15p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

RESUMO

Em virtude do crescimento da produção de grãos, e mais especificamente a soja, intensificam-se as operações de estocagem e exportação do produto nos terminais portuários do Brasil. O porto de Paranaguá no estado do Paraná é responsável pelo escoamento de cerca de 35% da produção brasileira, o que corresponde a 4,6 milhões de toneladas, onde em torno de 60% desta produção é entregue no porto via transporte rodoviário. Este, por sua vez, ao ser descarregado gera poeira de soja, emanando-a na atmosfera. Assim, busca-se aplicar em terminais de descarga, medidas capazes de atender às resoluções ambientais locais e nacionais que tratam dos níveis toleráveis de emissão de particulado sólido na atmosfera, a fim de preservar a saúde humana e a conservação do ambiente. Este trabalho apresenta a aplicação de Ventilação Local Exaustora como medida de controle, demonstrando através de seleções pré-determinadas de componentes como captores, dutos e filtro de mangas a viabilidade da captação do particulado e sua separação do ar atmosférico através do meio filtrante, apontando algumas particularidades e de forma a atender o nível de partículas totais em suspensão permitidas por fontes estacionárias.

PALAVRAS-CHAVE: Poluição atmosférica, Captação de poeira, Descarga de soja, Ventilação Local Exaustora, Filtro de Mangas.

BARBOSA, F. de S.; APPLICATION FOR PARTICULATE EMISSION CONTROL IN SOYBEANS SOLID DISCHARGE TERMINALS. 2015.15p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

ABSTRACT

Considering the grains production growth, especially soybean, stocking and exporting operations about this product has been intensified in Brazil's ports. The Paranaguá Harbor in the State of Paraná is responsible to concentrate about 35% of the Brazilian grains production flow; it represents 4,6 million tons where about 60% of this production is transported into ports by road transports. When these transports are on unloading process, it generates soy powder, which spreads into the atmospheric air. For this reason, it is seek to apply, at unloading port terminals, capable actions to attend a local and national environmental resolution that treats the acceptable levels of solid particles emissions in the atmosphere with objective to preserve human health and to protect the environment.

This paper presents the application of Local Exhaust Ventilation as a control action, demonstrating through pre-determined selection of some components as hood, ducts and bag filters the feasibility of particles capture and how it is separated from the atmospheric air by the action of a filtrating body, taking into consideration some particularities about to attend the total suspension particulates level allowed by stationary sources.

KEYWORDS: Atmospheric pollution, Dust capture, Soybean discharge, Local exhaust ventilation, Bag filters.

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUÇÃO.....	01
1.1. Justificativa.....	01
1.2. Objetivo.....	01
2. ESTADO DA TÉCNICA.....	01
2.1. Contaminantes do ar atmosférico.....	02
2.2. Formação de poeira em manuseio de soja.....	03
2.3. Aspectos técnicos.....	03
2.4. Ventilação Industrial.....	05
2.5. Tratamento do ar contaminado.....	06
3. METODOLOGIA.....	07
3.1. Caracterização do modo de emissão na descarga de soja.....	08
3.2. Captação do ar contaminado.....	09
3.2.1. Captores.....	10
3.2.2. Dutos.....	11
3.2.2.1. Perda de carga em curvas.....	12
3.3. Seleção de elemento filtrante.....	12
3.4. Filtro de mangas.....	12
3.5. Ventilador.....	13
3.6. Eficiência do sistema.....	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
4.1. Sistema de captação e rede de dutos.....	13
4.2. Elemento filtrante.....	13
4.3. Ventilador.....	14
4.4. Potência do sistema.....	14
5. CONCLUSÕES.....	14
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15
7. ANEXOS.....	16
8. APÊNDICES.....	17

1. INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa

O Brasil vem contando com uma crescente produção de grãos seja pelas condições climáticas favoráveis nas regiões produtoras, seja pelo desenvolvimento tecnológico das atividades agrícolas. Na balança comercial de exportação, segundo a SECEX (Secretaria de Comércio Exterior – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior) em 2014, a soja é o produto que mais se destacou por uma elevação expressiva de sua produção nos últimos anos, destaque este devido ao crescimento mundial da população e suas novas formas de consumo de soja, o que intensifica as atividades envolvendo o produto.

Gerando assim uma elevação nas operações de recebimento, estocagem e exportação do grão nos terminais portuários brasileiros, estes que por sua vez possuem em seu entorno zonas urbanas, que conseqüentemente são atingidas pelas emissões de poeira gerada no manuseio da soja. De acordo com Yoshida e Maybank (1980), a poeira total produzida na atividade de manuseio de um terminal equivale entre 0,1% a 0,5% da massa dos grãos movimentados e a fração de poeira inalável é estimada em 40% da poeira total.

Desta forma, a produção e emanação de partículas de poeira comprometem a qualidade do ar a causarem agressão direta nos trabalhadores e as populações vizinhas se manifestando na forma de reações irritativas, alérgicas ou tóxicas tanto nas vias respiratórias como na pele. Além disso, uma grande parte de partículas mais finas pode permanecer em suspensão na atmosfera durante semanas e serem transportadas ao longo de centenas, ou até mesmo, milhares de quilômetros através da ação dos ventos, uma vez que a descarga da soja em terminais portuários através de caminhões ocorre normalmente em ambientes cobertos, porém, abertos em suas laterais e desprovidos de controle de dispersão do pó gerado.

Considerando que o número/dia de descarga por caminhões é bastante significativo, medidas de controle devem ser adotadas para atender as legislações que tratam dos níveis toleráveis de emissão de particulados por fontes estacionárias, uma vez que as conseqüências são graves e de curto prazo. Desta forma, o intuito deste trabalho é aplicar um sistema mecânico a fim de captar e controlar os particulados emitidos no processo de descarga de soja, atendendo o nível máximo determinado por legislação cabível ao porto de Paranaguá/PR.

1.2. Objetivo

Este trabalho tem por objetivo estudar o problema, projetar equipamento, e aplicar metodologia para medida de controle de emissão de particulado sólido na atmosfera gerado a partir da descarga de soja, selecionando o modo de tratamento do ar contaminado, assim como a forma de captação do ar contaminado através da aplicação de Ventilação Local Exaustora, apresentando modo de dimensionamento, visando assim atender as resoluções vigentes relativas aos níveis máximos de emissões atmosféricas permitidos.

2. ESTADO DA TÉCNICA

Para o desenvolvimento do trabalho, informações pertinentes ao problema foram levantadas a fim de produzir o estado da técnica da aplicação, assim a Figura 1.1 compreende a ordem do levantamento.

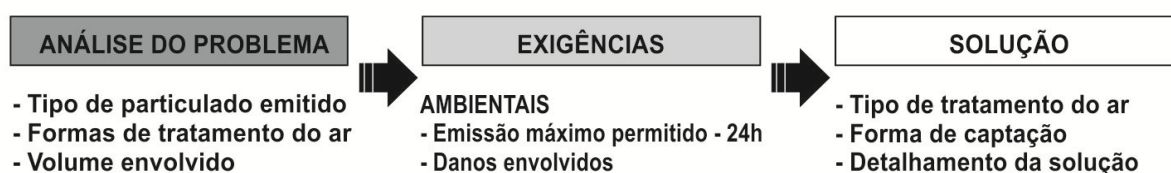


Figura 1.1: Ordem de levantamento do estado da técnica.

2.1. Contaminantes do ar atmosférico

Os principais poluentes do ar e mais comumente medidos são os que servem como indicadores da qualidade do ar, tais como Dióxido de Carbono (CO_2), Material Particulado (MP), Monóxido de Carbono (CO), Ozônio (O_3), hidrocarbonetos totais, Óxido de Nitrogênio (NO_x) e Dióxido de Enxofre (SO_2).

De acordo com Macintyre (1990), o ar é uma mistura de gases, contendo pequena quantidade de matérias sólidas em suspensão e cuja composição, quando seco é considerado puro possuindo 79% em volume de Nitrogênio com gases raros e Hidrogênio, 20,97% de Oxigênio e 0,03% de volume de Dióxido de carbono. Além destes elementos quantidades pequenas de poeira de origem mineral, vegetal ou animal, além de bactérias e os chamados odores, que são gases sensíveis ao olfato, acima de certa concentração passam a constituir poluentes ou contaminantes, ocasionando prejuízos à saúde humana e/ou danos ecológicos.

Macintyre (1990) define que os principais poluentes são os ditos aerossóis, que são justamente as partículas sólidas, líquidas e organismos vivos microscópicos que se apresentam no ar atmosférico, formando com esse meio gasoso o que se denomina aerossol.

Os aerossóis podem ser formados por dispersão como resultado da pulverização, atomização de sólidos ou líquidos, ou transferência de poeiras, material particulado, pólen e bactérias, para o estado de suspensão em virtude da ação de correntes de ar. Todas as partículas se apresentam de tamanho variado e de forma irregular, estas podendo também ser formadas pela condensação de vapores supersaturados ou por uma reação processada entre gases, produzindo um material não-volátil.

De acordo com ACGIH (2010), os principais aerossóis são:

- a) Poeiras: Formado por partículas sólidas, com diâmetros compreendidos entre $0,1\mu$ e 1000μ . Resultam da desintegração mecânica de substâncias inorgânicas ou orgânicas, seja pelo simples manuseio, ou seja, em conseqüências a operações de britagem, moagem, trituração, usinagem mecânica. As poeiras de dimensões maiores são também designadas como particulados ou areias finas, ou ainda material fragmentado.
- b) Fumos: Partículas sólidas, em geral com diâmetro inferiores a 10μ chegando mesmo a 1μ ($1\text{ mícron}=0,001\text{mm}$), resultam da condensação de partículas em estado gasoso, geralmente após volatilização de metais fundidos.
- c) Fumaça: São aerossóis constituídos por produtos resultantes da combustão incompleta de materiais orgânicos. As partículas possuem diâmetro inferior a 1μ .
- d) Névoas: São aerossóis constituídos por gotículas líquidas com diâmetro entre $0,1\mu$ e 100μ . Resultante da condensação de vapores sobre certos núcleos, ou de dispersão mecânica de líquidos em conseqüência de operações de pulverização, nebulização e ou respingos.
- e) Organismos vivos: Os mais comuns são os polens das flores que as dimensões variam de 5μ a 10μ , também há as bactérias ($0,2$ a 5μ) e os vírus ($0,002$ a $0,05\mu$).

De acordo com Elson (1989), o material particulado ou aerossol atmosférico é constituído pelas partículas sólidas e líquidas em suspensão na atmosfera. As partículas inaláveis são definidas como partículas com diâmetro aerodinâmico menor que $10\mu\text{m}$, a qual se se dividem em partículas grossas inaláveis com diâmetro aerodinâmico entre 2 e $10\mu\text{m}$ e as partículas finas com diâmetro aerodinâmico menor que $2\mu\text{m}$.

O comportamento das partículas no ar e sua velocidade de sedimentação dependem do tamanho das partículas, da densidade das mesmas, da concentração de partículas no ar e do movimento do ar. Estas propriedades são levadas em consideração no tratamento destas partículas, ou seja, na separação partícula do ar atmosférico. Na Tabela 2.1, tipo de impureza em suspensão no ar e método de eliminação.

Tabela 2.1: Impurezas em suspensão

Escala de tamanho em microns	10.000	1000	100	10	1	0,1	0,01	0,001	0,0001	0,00003
Impurezas	AEROSSÓIS (sólidos ou líquidos)						VAPORES E GASES (moléculas)			
	POEIRAS E GOTAS (sólidos)		GOTAS (líquidos)		FUMOS E NÉVOAS (sólidos)		FUMOS E NÉVOAS (líquidos)			
Partículas típicas	GOTAS DE CHUVA		AREIA		GARÇA		NEBLINA		BACTÉRIAS	
							FUMAÇA DE TABACO		MOLÉCULA DE ÁGUA	
							NÉVOA DE ÓLEO		MOLÉCULA DE NAFTALENO	
Método de Eliminação	DEPOSIÇÃO		CICLONES		FILTROS DE AR		PRECIPITADORES ELETROSTÁTICOS		CARVÃO ATIVO	
									COMBUSTÃO CATALÍTICA	

1 micron = $1\mu = 0,001\text{mm} = 10^{-4} = 0,000001\text{m}$

Fonte: Industrial Ventilation, ACGIH (2010)

2.2. Formação de poeira em manuseio de soja

De acordo com Hess (2000), os mecanismos das operações que envolvem os processos de beneficiamento de grãos geram fontes potenciais de emissões de partículas em função da natureza empoeirada dos grãos e da sujeira que é misturada com os grãos durante a sua colheita e a realização do seu transporte. Até os processos que envolvem os grãos limpos estão sujeitos às emissões, pois a poeira adicional do grão é gerada pela abrasão e pela ruptura durante as etapas de beneficiamento. Isto ocorre em função da abrasão entre os grãos ocasionada durante o seu manuseio e também pela potência de arraste nos fluxos de ar turbulentos que acompanham estas operações.

Yoshida e Maybank (1980) determina que a poeira total produzida na atividade de manuseio de um terminal equivale a 0,5% da massa dos grãos movimentados e a fração de poeira inalável é estimada 0,1% da massa total dos grãos. Estas projeções compreendem desde a chegada a saída do grão do armazenamento, passando por transferências de correias transportadoras, elevadores de caçambas e empilhamento dentro dos armazéns.

2.3. Aspectos Legais

O Intuito de uma lei ambiental, para controle e qualidade do ar é definir critérios para o controle da qualidade dos instrumentos da gestão ambiental para a proteção da saúde e bem estar da população e melhoria da qualidade de vida. Assim estabelecer padrões de emissão e critérios de atendimento, padrões de condicionamento e metodologias a serem utilizadas para determinação de emissões.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, dentro de sua competência, criar normas e determinar padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida. Cabe a este órgão estabelecer critérios orientadores para definição dos limites de emissão de poluentes atmosféricos e prover os órgãos ambientais de instrumentos adequados para análise de processos e licenciamento de empreendimentos frente à crescente industrialização de várias regiões do país com o conseqüente aumento do nível de emissões atmosféricas e da degradação da qualidade do ar.

Assim, fica definido na RESOLUÇÃO Nº 436/2011 – CONAMA, que o atendimento aos limites de emissões de poluentes atmosféricos nacionais deve também levar em conta seu

custo e o impacto deste nas economias regionais, resolvendo assim: - Estabelecer limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas onde estes limites são fixados por poluente e por tipologia de fonte conforme estabelecido nos anexos da resolução.

Ainda a RESOLUÇÃO N° 436/2011 define que o órgão ambiental licenciador poderá, mediante decisão fundamentada, determinar limites de emissão mais restritivos que os aqui estabelecidos em áreas onde, a seu critério, o gerenciamento da qualidade do ar assim o exigir, e também que o órgão licenciador poderá estabelecer valores menos restritivos que os limites máximos de emissão estabelecidos nesta Resolução, considerando as limitações tecnológicas e o impacto nas condições locais.

O Conselho do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - CEMA juntamente com a Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA ambos do Estado do Paraná, através da RESOLUÇÃO 054/2006 definem que é considerada fonte estacionária de poluição atmosférica toda atividade agrícola de: Armazenamento, Beneficiamento e Secagem de grãos. Nesta mesma resolução, artigo 44, define que para os sistemas de exaustão de pó de grãos fica estabelecido o padrão de emissão de Material Particulado Total de 250 mg/Nm³.

A concentração de Material Particulado Total contido nas emissões não deve ultrapassar os seguintes padrões:

- a) Para a emissão de Material Particulado Total com taxa de emissão até 0,5 kg/h é de 250 µg/m³
- b) Para a emissão de Material Particulado Total com taxa de emissão acima de 0,5 kg/h 150 µg/m³

Considera-se também situações de episódio crítico de poluição do Ar a ocorrência de elevadas concentrações de um ou mais poluentes na atmosfera, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos, conforme caracterizado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Classificação e valores dos níveis críticos de partículas totais em suspensão, conforme Artigos 78, 79 e 80 da RESOLUÇÃO SEMA - 054/2006

Classificação de Nível	Concentração de PTS*, média de 24h	Concentração de partículas inaláveis, média de 24h
ATENÇÃO	375 µg/m ³	250 µg/m ³
ALERTA	625 µg/m ³	420 µg/m ³
EMERGÊNCIA	875 µg/m ³	500 µg/m ³

*Partículas Totais em Suspensão

Do armazenamento de material fragmentado, que possa a vir tornar-se fonte de emissão, deverá ser feito em silos adequadamente vedados, ou em outro sistema que possua controle da poluição do ar de eficiência igual ou superior, de modo a impedir o arraste do respectivo material, pela ação dos ventos.

Quanto à medição das concentrações de material particulado totais em suspensão a RESOLUÇÃO 054/2006 designa através do Método de Amostrador de Grandes Volumes ou Método Equivalente os níveis mostrados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Valores de concentração para método de Amostrado de Grandes Volumes, conforme RESOLUÇÃO SEMA 054/2006

Padrão	Concentração média geométrica anual	Concentração média de 24h (não deve ser excedida mais que uma vez por ano)
PRIMÁRIO	80 µg/m ³	240 µg/m ³
SECUNDÁRIO	60 µg/m ³	150 µg/m ³

Conforme RESOLUÇÃO SEMA 054/2006 fica estabelecido que o Instituto Ambiental do Paraná – IAP poderá, a seu critério, exigir o monitoramento contínuo das emissões atmosféricas, assim como definições de automonitoramento, resolve também que para processos com sua emissão de material particulado controlado por sistemas confiáveis tais como ciclones ou filtro de mangas, o monitoramento e automonitoramento poderá ser substituído por um plano de manutenção do equipamento de controle, desde que os processos tenham seu atendimento aos padrões desta resolução comprovados através de medições iniciais de operação do equipamento.

2.4. Ventilação Industrial

Segundo ACGIH (2010), a ventilação industrial é em geral entendida como a operação realizada por meios mecânicos que visem a controlar a temperatura, a distribuição do ar, a umidade e a eliminar agentes poluidores do ambiente. E não visa apenas a atender a condições favoráveis para aqueles que trabalham no interior das fábricas ou nos limites das mesmas, ela objetiva também impedir o lançamento na atmosfera, através de chaminés ou outros recursos, de fumaças, poeiras, gases, vapores e partículas que venham a contaminar o ar de forma que ameça a saúde da população e a conservação e desenvolvimento do ambiente.

De acordo com Macintyre (1990), os sistemas de ventilação se classificam como: Ventilação Geral, natural ou mecânica, que é aquela que ventila o ambiente como um todo, também conhecida como Ventilação Geral Diluidora (VGD) e também a Ventilação Local Exaustora (VLE) que retira as substâncias emitidas diretamente do local de geração, conduzindo-os para o tratamento ou diretamente a atmosfera externa. Os dois tipos são mostrados na Figura 2.1.

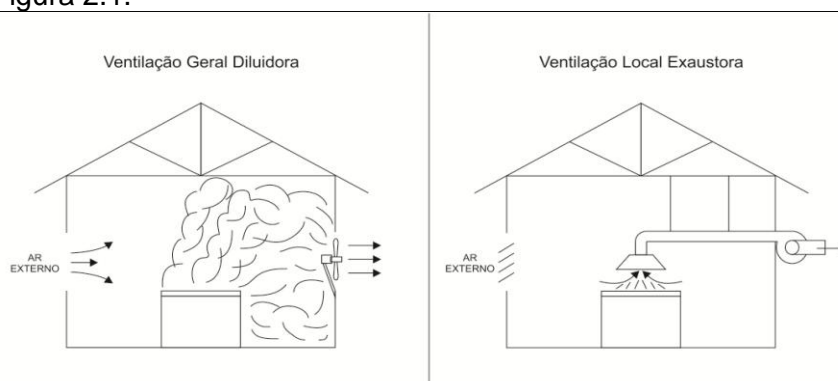


Figura 2.0.1: Esquemática Ventilação Geral Diluidora e Ventilação Local Exaustora, Macintyre ,1990;

A Ventilação Industrial Diluidora, de acordo com Macintyre (1990), possui a desvantagem de que à medida que os gases, vapores, fumaças ou poeiras saem das fontes e antes que atinjam grau de diluição que lhes confira inocuidade podem afetar órgãos respiratórios daqueles envolvidos no processo. Desta forma, quando a quantidade de

poluentes gerada é grande ou sua toxicidade for elevada, aconselha-se utilizar a Ventilação Local Exaustora que consiste na captação do poluente junto à fonte que os produz, de modo que não se espalhem pelo recinto ou se disperse na atmosfera ou venham a afetar os trabalhadores. Uma instalação local exaustora possui essencialmente as seguintes partes:

- a) Captor: Trata-se de uma peça ou dispositivo no qual, pela diferença de pressões entre o ar ambiente e o existente no captor, estabelece-se uma corrente para o interior do mesmo. A corrente gasosa prossegue pelos dutos até o ventilador. Portanto, para que haja velocidade de escoamento, é necessário que no interior do captor exista uma dada rarefação, isto é vácuo parcial ou depressão.
- b) Rede de dutos: que conduzem o ar contaminado do captor ao ventilador e deste ao exterior;
- c) Ventilador: capaz de produzir rarefação ou depressão para que o ar contaminado se desloque através do captor;
- d) Coletores de partículas: Filtros, lavadores de gases, precipitadores ou outros dispositivos que retenham partículas ou dissolvam os gases, impedindo que sejam lançados livremente na atmosfera, alguns são colocados entre a fonte e o ventilador e outros colocados após.

O projeto de um sistema de ventilação local exaustor depende da estimativa da vazão de ar necessária para a retirada do contaminante e o tratamento do mesmo. A estimativa desta quantidade de ar e da velocidade da corrente irá fornecer à área de entrada do captor, secção do duto e potência do ventilador.

2.5. Tratamento do ar contaminado

De acordo com a ACGIH (2010), mostrado na Tabela 2.1 para Particulado em Suspensão com dimensões entre 0,1 e 1000 μ o método de eliminação do poluente é a filtração. Na escolha de um equipamento de filtração devem-se levar em consideração alguns pontos importantes: a) Concentração e tamanho de partículas do contaminante; b) Grau de purificação exigida; c) Características do ar ou gás transportador do poluente.

A Figura 2.1 apresenta a faixa de diâmetros médios de partículas, relacionada com os tipos de coletores recomendados para operações industriais ACGIH (2010).

O Filtro de Mangas, que é um caso particular de filtros que utilizam elementos filtrantes de material poroso sob a forma de tecidos, possui características e forma construtiva que melhor atende o processo de captação do material particulado, conforme Macintyre (1990) atinge acima de 90% de eficiência através da passagem do ar contaminado por meio poroso em virtude das interações de interceptação, impactação e movimento browniano das partículas com o elemento filtrante, podendo ultrapassar 99% para o caso de Aerossóis secos com temperatura de trabalho até 260°C.

O elemento filtrante para este tipo de filtro apresenta-se na forma de saco alongado tubular, chamado assim de manga, onde o ar contaminado penetra pela parte externa e sai pela parte interna deixando as impurezas em sua superfície. É empregada uma armação metálica no interior da manga para mantê-la em formato cilíndrico e assim por sua superfície externa em contato com a câmara de ar contaminado reter o material particulado, liberando o ar filtrado pelo seu interior a câmara superior, câmara de ar limpo, Figura 2.2.

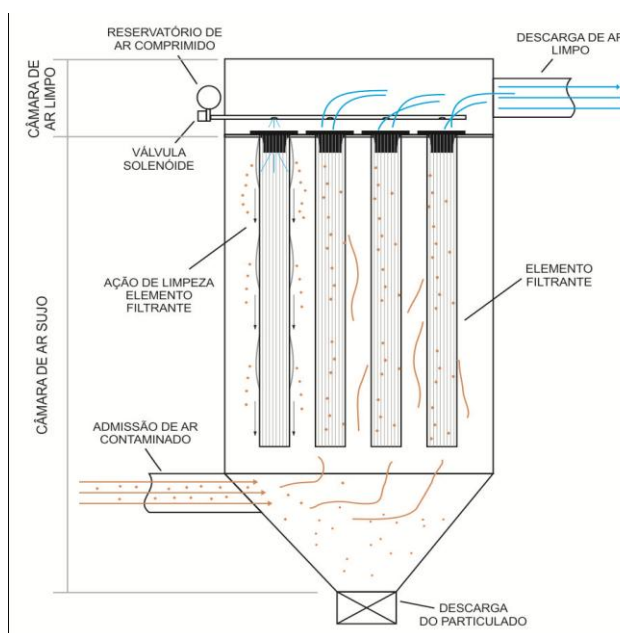


Figura 2.2: Esquema construtivo e funcionamento de Filtro de Mangas, Macintyre, 1990.

Estes filtros em geral são dispostos em baterias ou conjuntos de mangas, de modo a conseguir a área de filtragem necessária a atender a vazão de trabalho.

Ao longo do processo de captação do particulado em suspensão através das mangas o elemento filtrante satura sua superfície, restringindo a passagem de ar e comprometendo o sistema através da perda de carga no fluxo de ar. Assim Filtros de Manga dispõem de sistema de limpeza das mangas o qual é efetuado por onda de choque de jatos de ar, através da insuflação de um pulso de ar comprimido de cerca de 200 milissegundos de duração através de um Venturi instalado na armação metálica da manga, este choque de ar faz a dilatação do elemento filtrante fazendo com que o particulado, agora aglomerado, solte-se e por efeito de gravidade seja descartado pela parte inferior do filtro.

No Brasil, em 2008, com a publicação da NBR16401, foi adotada a classificação para Filtros Grossos e Finos, mesmo assim ainda não há no Brasil um laboratório independente que possa fazer tais análises, restando aos fabricantes enviarem seus filtros para avaliação nos Estados Unidos ou na Europa.

3. METODOLOGIA

De acordo com o Estado da Técnica, o particulado sólido emitido nas operações de descarga de soja é classificado como poeira, o qual pode possuir dimensões que compreendem de 0,1 à 1000 μ , sendo assim, o único sistema de tratamento que pode atender esse intervalo é o Filtro de Ar, mais propriamente o Filtro de Manga, pois este é capaz de atender grandes volumes de particulado sólido por possuir sistema de auto-limpeza. Ao encontro desta informação, o sistema de ventilação capaz de exaurir e forçar a passagem do ar contaminado pelo Filtro de Manga, devido a velocidade necessária para o ar contaminado e de forma a não oferecer risco de concentração de poluente no local, é o sistema de Ventilação Local Exaustora, o que direciona o estudo e detalhamento destas aplicações no terminal de descarga de soja a fim de captar e tratar o ar contaminado.

Desta forma, o presente trabalho iniciou-se com a análise da emissão de poeira de soja durante a descarga, o método utilizado foi empírico e qualitativo uma vez que o problema da emanação de pó é recorrente em unidades de recebimento de grãos e visualmente perceptível.

3.1. Caracterização do modo de emissão de pó na descarga de soja

O modelo de instalação objeto deste trabalho é a usualmente encontrado nas instalações de recebimento de cereais, constituída de plataforma de inclinação para caminhões sobre a moega, silo dosador, que despeja o produto encaminhando-o através de correia transportadora ao fluxograma de manuseio da planta até sua armazenagem ou carregamento de navios, Figura 3.1.

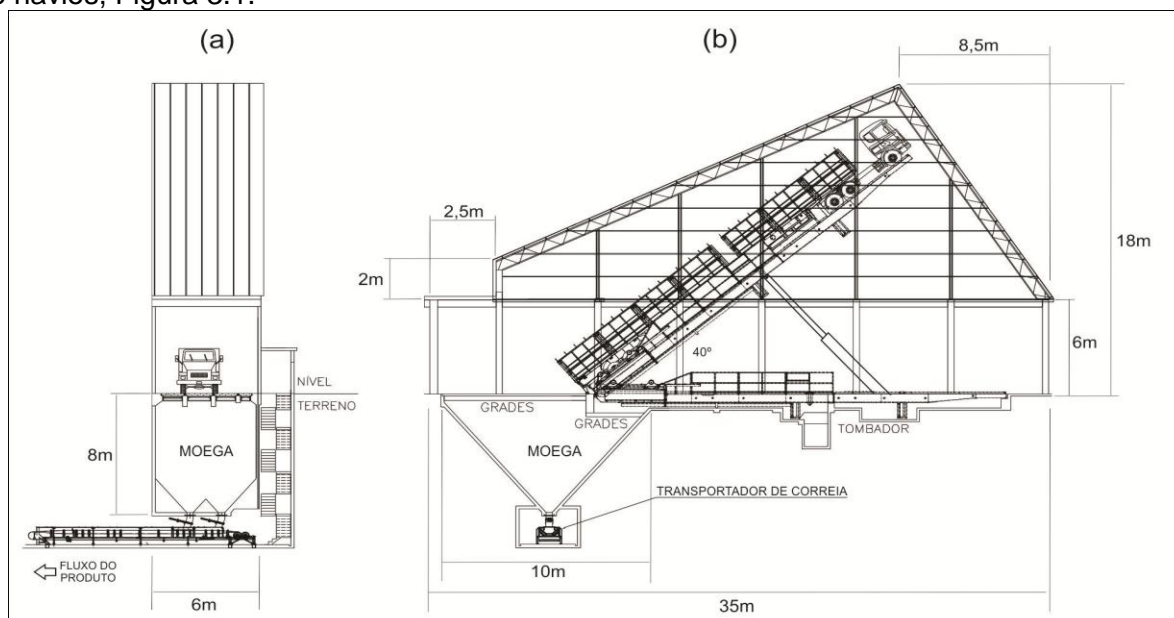


Figura 3.1: (a) Vista frontal do terminal de recebimento; (b) Vista lateral da instalação em corte com plataforma inclinada. Adaptado de TMSA Tecnologia em Movimentação SA (2015).

De forma a avaliar o comportamento da dispersão do pó de soja durante a descarga, foram acompanhadas operações de recebimento em um terminal privado no porto de Paranaguá/PR da empresa aqui tratada como SA, (a pedido da empresa será preservado seu nome). Onde nas suas instalações movimenta-se em torno de 350.000 toneladas/ano de soja, sendo que no local não havia até o momento qualquer equipamento de controle da emissão de particulado.

Após inúmeras descargas acompanhadas no terminal, conforme é mostrado na Figura 3.2, foi possível verificar a emanção do particulado gerado pela abrasividade entre os grãos de soja, colisão do produto com obstáculos e efeito de deslocamento de ar de dentro da moega. Assim possibilitou demonstrar através de um esquema qualitativo, Figura 3.3, a forma com que o pó gerado é emanado de dentro da moega.

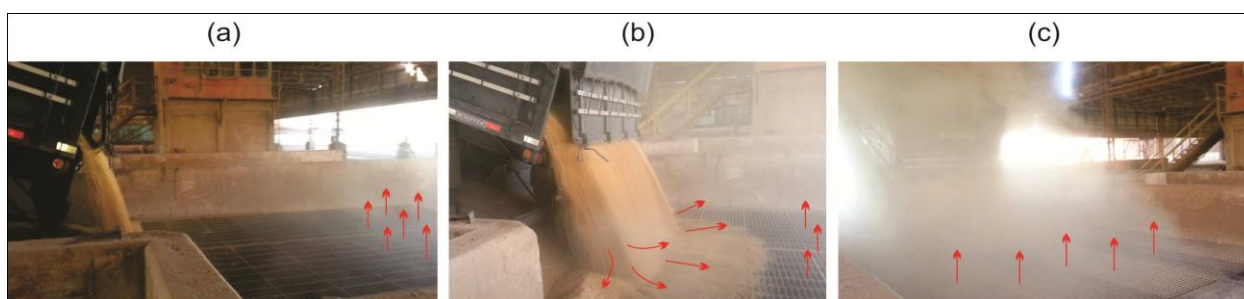


Figura 3.2: Seqüência de descarga de soja na moega rodoviária, onde é possível ver o deslocamento de ar através da emanção do particulado; (a) Início da descarga, (b) Aumento do fluxo de descarga, (c) Ponto de 70% da descarga. Foto: Fladimir Barbosa, Março 2015.

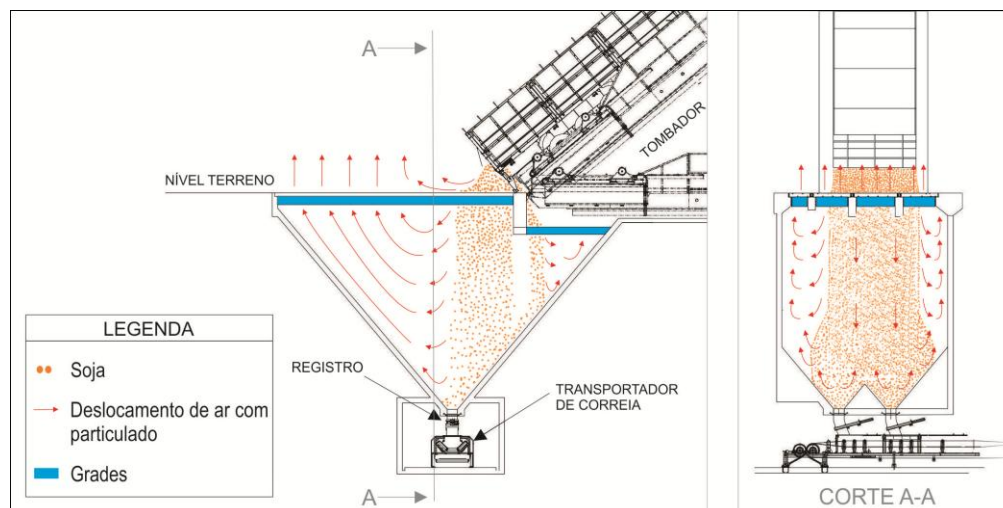


Figura 3.3: Esquema qualitativo de como o fluxo de particulado é emitido durante a descarga de soja. Adaptado de TMSA Tecnologia em Movimentação SA.

Assim, a moega comporta-se como um tanque onde à medida que é preenchida com soja desloca um volume de ar equivalente para fora da mesma através de sua superfície superior.

3.1.1. Medição de Partículas Totais em Suspensão

As atividades de descarga de caminhões, para um terminal como o de objeto de estudo deste trabalho, durante a safra de soja, chega a atingir o número de 120 caminhões/dia.

Em uma condição crítica, aplicando a estimativa de Yoshida e Maybank (1980), geração de poeira somente no recebimento da soja, e considerando que um caminhão para este tipo de transporte compreende na média 36 toneladas de soja, então se produziria 360kg de pó de soja por caminhão.

A fim de verificar a quantidade de emissão na descarga de soja a SA contratou uma empresa a efetuar o monitoramento de qualidade do ar (Partículas Totais em Suspensão) em sua moega rodoviária através da determinação da Concentração Total pelo Método do Amostrador de Grandes Volumes – NBR 9.547 recomendada na Resolução Nº 054/2006 – SEMA.

A coleta de PTS foi realizada durante a operação de descarga das duas moegas, em local próximo e livre de obstáculos físicos. As condições e parâmetros os quais a medição foi efetuada, conforme norma segue no Apêndice A.

Assim, o valor PTS determinado através de medições quantitativas com um amostrador de Grandes Volumes na moega, para uma média de 24 horas, foi de 575 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.2. Captação do Ar contaminado

De acordo com ACGIH (2010), o dimensionamento de um sistema de exaustão qualquer que seja o método adotado, baseia-se na Equação de Continuidade e no *Princípio de Conservação de Energia* para os Fluidos em Escoamento, traduzida pela equação de *Bernoulli*.

A equação de Continuidade mostra que o valor de vazão é obtido pelo produto da área da seção normal aos filetes líquidos em escoamento pela velocidade média na mesma seção.

Assim,

$$Q = A \cdot V \quad (1)$$

onde, Q é a vazão em m^3/s , A é a área transversal da seção de escoamento, em m^2 , V é a velocidade média de transporte do contaminante em m/s .

3.2.1. Captores

Segundo ACGIH (2010), para depósitos de materiais abertos no qual haja emissão de contaminantes através de sua superfície superior não é aconselhável o uso de coifas convencionais superiores para a contenção dos mesmos, pois dependendo da distância entre a coifa e a superfície da fonte o contaminante pode se dispersar sobre o local. Portanto, orienta utilizar captores laterais com fendas também laterais, logo a cima da superfície emissora de forma a coletarem o mais próximo possível da abertura, conforme Figura 3.4.

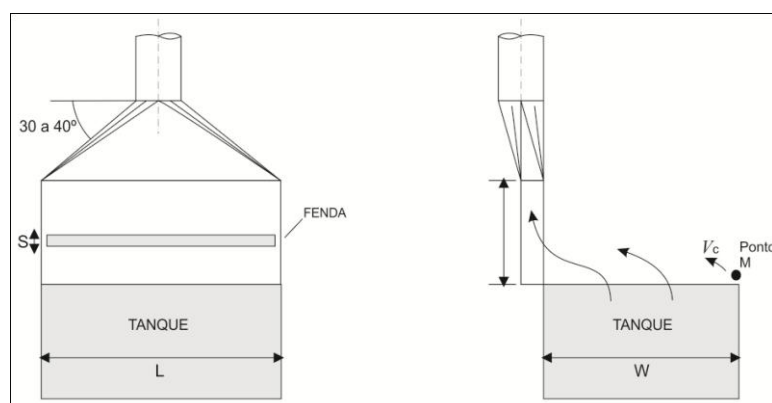


Figura 3.4: Captor lateral com fendas laterais, ACGIH (2010).

ACGIH (2010), também orienta que captores laterais dispostos em aberturas que possua comprimento (L) maior de 1,83m deve-se utilizar várias tomadas de ar, assim como, para largura (W) maior que 1,22m utilizar captor nos dois lados. Pode também adotar-se espaçamento equivalente 100% da largura da fenda entre captores, uma vez que as linhas de velocidades são ortogonais as linhas de fluxo e de comportamento radial em relação à fenda do captor.

A partir da velocidade de captura no ponto M, conforme Figura 3.4, garantimos a exaustão ao longo de W de acordo com o tipo de contaminante. Conforme ACGIH (2010), para poeiras e névoas a velocidade de captura adotada é de 1m/s a fim de não produzir um transporte pneumático naquele ponto, esta velocidade antes de sua aplicação deve ser analisada devido à aproximação do captor ao recipiente e a possibilidade de aproximação com o produto, uma vez que quanto mais próximo do captor a velocidade será mais próxima da velocidade de transporte do contaminante dentro da tubulação.

ACGIH (2010) aplica suas fórmulas empíricas de vazão para captores correlacionando vazão com a velocidade de captura do ar contaminado.

$$Q = 2,8 \cdot L' \cdot W' \cdot V_c \quad (2)$$

onde, L' , em pés, e W' , em pés, são medidas da área atendida por cada captor, V_c a velocidade de captura no ponto M em pés/min, Q a vazão no captor em pés³/min.

A área da fenda é determinada tal que a altura da fenda seja menor que 5 vezes o comprimento da mesma, onde o comprimento atende a largura do captor adotado na distribuição do tanque.

A perda de carga no captor Δp_c é dada pela soma da perda de carga do fluido ao atravessar a fenda com a perda na entrada do duto, isto é:

$$\Delta p_c = \underbrace{1,78 \cdot h_v}_{\text{entrada captor}} + \underbrace{0,25 \cdot h_v}_{\text{entrada duto}} \quad (3)$$

onde,

$$h_v = \frac{V_c^2}{2g} \cdot \gamma \quad (4)$$

onde, V_c é a velocidade de captura em m/s; $g=9,81\text{m/s}^2$; e γ em kgf/m^3 e admitindo que 1 kgf/m^2 corresponde à pressão devida a 1mm de coluna de H_2O , e peso do ar $1,2 \text{ kgf}$, assim h_v em mmca.

3.2.2. Dutos

Um método simples e seguro para o dimensionamento de dutos é o método da fricção constante, onde os trechos da rede são dimensionados com a mesma perda de carga unitária para um comprimento unitário de duto. Em termos de equação fica:

$$\Delta p = f \frac{L}{D} \rho \frac{u^2}{2} = \text{constante} \quad (5)$$

onde, Δp é a perda de carga, queda de pressão, em Pa, u é a velocidade do fluido, em m/s, D o diâmetro em m, L o comprimento, em m, f o fator de atrito, adimensional, ρ a massa específica do fluido em kg/m^3 .

O comprimento unitário é $L=1\text{m}$, e a perda de carga em Pa/m. Esta equação é transformada na Carta de Fricção para Dutos de seção circular do capítulo *Duct Design* da ASHRAE (2009), Anexo A. Nesta carta o eixo horizontal é a vazão em L/s e o eixo vertical a perda de carga por fricção em Pa/m, no interior da carta aparecem a velocidade do ar em m/s e o diâmetro do duto em mm.

Para aplicar o método da fricção constante é necessário definir a perda de carga unitária constante, com o limite de velocidade, que para o caso do transporte de poeira de grãos será adotada de 20m/s conforme orienta ACGIH (2010). Conforme ASHRAE (2009), dois valores são recomendados, Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Valores recomendados para Fricção Constante, ASHRAE (2009)

Tipo de sistema	Perda de carga unitária, Pa/m	Velocidade limite, m/s
Baixa velocidade	1,2	12
Alta Velocidade	4	20

Conhecendo a vazão conhece-se o diâmetro do trecho em análise, devido a imprecisões na leitura da carta pode-se ler um conjunto de pares x-y e arrolarem-se os valores ajustando uma equação equivalente. Cabe observar que esta abordagem é para vazões inferiores a 10.000 L/s , assim:

$$D = 25Q_{duto}^{0,38} \quad (\text{para alta velocidade}) \quad (6)$$

Logo, conhecendo-se o diâmetro, a vazão pode ser calculada por:

$$Q_{duto} = 0,00021D^{2,632} \quad (\text{para alta velocidade}) \quad (7)$$

onde, Q_{duto} é a vazão do duto em L/s e D o diâmetro do duto em mm.

3.2.2.1 Perda de carga em curvas

No método da fricção constante a perda de carga no duto é dada pelo comprimento do duto multiplicado pela perda de carga unitária e somadas as perdas das curvas, esta obtida através da Equação (8), no presente trabalho perda de carga em peças especiais, como bifurcações, serão aproximadas também pela Equação (8), porém ressalta-se que ACGIH (2010), obtém equações mais apuradas para peças especiais.

$$\Delta p_{curva} = 0,1 \frac{\rho u^2}{2} \quad (8)$$

onde, u é a velocidade do escoamento no duto, em m/s, ρ é a densidade do ar em kg/m³ usualmente adotada como 1,2kg/m³, Δp_{curva} é a perda de carga na curva dado em Pa.

3.3. Seleção do elemento filtrante

As propriedades físicas e estruturais dos tecidos de filtração têm influência marcante no processo de limpeza de gases em Filtros de Manga, visto que neles ocorrem a coleta do material particulado e a remoção deste material durante o processo de limpeza do filtro. Os materiais tradicionalmente usados na fabricação dos filtros de pano são o algodão e a lã, mas estes materiais só podem ser usados até temperaturas de 82 a 90°C, respectivamente, e para ar seco.

Tabela 3.2: Propriedades de elementos filtrantes, ACGIH (2010)

TECIDO	TEMPERATURA DE FUSÃO	MÁX. TEMPERATURA DE OPERAÇÃO	RESISTÊNCIA A ABRASÃO
Algodão	Decompõem-se a 150°C	82°C	Boa
Lã	Queima a 300°C	93°C	Razoável a boa
Fibra de vidro	800° C	288°C	Razoável
Orlon	Amolece a 250°C	127°C	Boa
Náilon 6,6	249°C	93°C	Excelente
HT-1	Queima a 371°C	204°C	Boa
Dacron	252°C	135°C	Muito Boa
Polipropileno	167°C	93°C	Excelente
Terlon	Decompõem-se a 400°C	Emite gases tóxicos a 232°C	Razoável
Poliéster	-	110°C	Muito Boa

Segundo, Barnett (2000) a seleção adequada das fibras a serem utilizadas como meio filtrante depende da compatibilidade destes com o material particulado a ser coletado e das características e aplicações de cada processo de filtração, que abrangem a temperatura, a abrasão, a energia de absorção, as propriedades de filtração, a resistência a álcalis, a ácidos, a oxigênio e o custo relativo do material.

3.4. Filtro de mangas

O dimensionamento do filtro de mangas é através da quantidade de elemento filtrante, no caso as mangas, em m². Esta quantidade é obtida correlacionando com a vazão do total do sistema de captação, em m³/min com a área unitária de manga, 1m², a fim de atender a quantidade ar contaminado exaurida.

ACGIH (2010) adota que para poeira de sementes a relação ar/pano em alta concentração é de 12:1 podendo, por segurança, ser utilizado até 6:1 quando o produto recebido provém de diferentes regiões.

No entanto, o elemento filtrante também oferece perda de carga ao sistema, este efeito ocorre à proporção que as partículas são depositadas, determinando a frequência de limpeza das mangas, o que conseqüentemente também afeta o tempo de vida do elemento filtrante, ACGIH (2010). Segundo Macintyre (1990), uma boa aproximação para perda de carga

equivalente ao Filtro de Manga devido a sua área de elemento filtrante é dada em torno de 120 mm CA, para diferentes materiais empregados.

3.5. Ventilador

Segundo Macintyre (1990) para ventilação/exaustão que possua material sólido ou líquido no fluxo de ar, deve adotar-se ventiladores centrífugos de pás retas devido ao seu alto rendimento e ao fato de não acumular material junto ao seu rotor, Henn (2001).

3.6. Eficiência do sistema

A eficiência do sistema a manter o controle do nível de emissão de particulado em suspensão, se detém a total captação e filtragem do ar contaminado, desta forma, está diretamente relacionada com a capacidade do ventilador em atuar sobre o Filtro de Manga e a captação do particulado.

De acordo com Freitas (2002) a permeabilidade do elemento filtrante é um dos principais parâmetros de controle da filtração, pois esta propriedade é reduzida pelo depósito de pó residual. Isso leva a uma variação nos valores entre a permeabilidade do elemento no início da operação e ao longo dela, que é refletida na forma de queda de pressão ao longo do meio poroso. Assim, um fator agravante ao funcionamento do sistema é a formação de torta de resíduo sobre o elemento filtrante, o aumento da espessura da torta resulta em um acréscimo da perda de carga do sistema, tornando necessária à limpeza periódica do filtro para remover os particulados e manter a perda de carga em níveis adequados de operação, ACGIH (2010).

4. RESULTADOS

4.1. Sistema de captação e rede de dutos

De acordo com o tipo de captor adotado a vazão a ser atendida, Tabela 4.1, foi calculada considerando a quantidade de acordo com a área definida a ser atendida por cada captor. Assim, sua distribuição, área atendida e o tamanho da fenda seguem no Apêndice B.

Tabela 4.1 - Vazão nos captores, valores para 8 captores.

VAZÃO POR CAPTOR	0,174885108	m ³ /s
VAZÃO TOTAL	1,399080862	m ³ /s

O sistema de dutos para condução, calculado conforme a metodologia, é apresentado no Apêndice C, por segmento conforme determinado no Apêndice B, com seus respectivos diâmetros, mm, comprimentos, m, vazão em Litros/s e perda de carga equivalente pelo método adotado. Assim, definidas as dimensões da rede de dutos, escolhe o material para sua fabricação. De acordo com Macintyre (1990) o tipo de contaminante transportado pela exaustão são fatores decisivos na escolha da espessura e do acabamento do material de construção. No caso do pó de soja, e a utilização terminais portuários onde apresenta alta salinidade a proposta é que seja executado todo em material galvanizado.

4.2. Elemento filtrante

Segundo a relação proposta por ACGIH (2010), a relação adotada foi de 6:1, ou seja, a cada 6m³/min de ar será utilizado 1m² de elemento filtrante. Assim a especificação do Filtro de Manga a atender o sistema deve ser de um filtro com 14m² de elemento filtrante, uma vez que a vazão a ser atendida é de 83,94m³/min, enquanto sua forma construtiva, assim como sistema de limpeza possa variar conforme o fabricante.

4.3. Ventilador

O ventilador selecionado deve vencer a soma dos trechos com maior perda de carga e do filtro utilizado, gerar uma vazão volumétrica igual ou maior que a total do sistema e uma velocidade igual ou maior que a necessária para o transporte do contaminante. Assim os dados para a seleção do ventilador dos cálculos seguem na Tabela 4.3.1

Tabela 4.3.1 – Dados para seleção do ventilador

Tipo ventilador : centrífugo de pás retas					
Vazão:	5037 m ³ /h	Velocidade:	20 m/s	Δp total:	420 mm CA

4.4. Potência do sistema

$$N_{CV} = \frac{Q \cdot \Delta p}{3.600 \cdot 75 \cdot \eta} \quad (9)$$

onde, N_{cv} é a potência absorvida, CV, Q é a vazão, m³/h, Δp a perda de carga total, kgf/m² η rendimento do ventilador, adotado como 0,65.

$$N_{CV} = 13 \text{ cv}$$

5. CONCLUSÕES

O trabalho apresentou a seleção de um sistema para captar e tratar o ar contaminado por emissão de particulado sólido, proveniente da descarga de soja por caminhões no porto de Paranaguá/PR, através do uso da Ventilação Local Exaustora e utilização de Filtro de Manga. O estudo foi elaborado a atender o terminal de recebimento para 01 (um) caminhão sobre uma moega com capacidade de 240m³, Figura 3.1, o qual em uma atividade diária recebe até 120 caminhões, movimentando assim cerca de 5,4 mil toneladas de soja por dia.

Através de medições locais, o terminal descrito, apresentou emissão de particulado sólido no ar atmosférico de 575 µg/m³ para uma média de 24 horas, enquanto conforme a resolução N° 054/2006 SEMA o nível máximo é de 250 µg/m³. Assim, de acordo com a teoria para captação de poluentes em tanques, através da Ventilação Local Exaustora, foram selecionados e distribuídos 8 (oito) captadores de fendas laterais em torno da moega, conforme mostrado no Apêndice B, atendendo uma vazão total de 1,67 m³/s.

No arranjo proposto, o ar contaminado é então captado e transportado pela rede de dutos, calculada e apresentada no Apêndice C, pelo trabalho de um ventilador centrífugo. Este arranjo possui ao final da rede de dutos, e antes do ventilador, um Filtro de Manga onde o ar captado é forçado a passar pelo elemento filtrante o qual retém o poluente nele existente, em função da vazão total calculada de 1,67 m³/s este Filtro de Manga então deve possuir uma área filtrante de 14m², assim, com a perda de carga total é necessário uma potência de 13 CV (9.694 Watts) para atender o sistema.

Desta forma, através do detalhamento o arranjo proposto mostra sua viabilidade de construção a fim de controlar a emissão de particulado sólido na descarga de soja, e também atender os aspectos legais, uma vez que a eficiência do Filtro de Manga é comprovada empiricamente por ACGIG(2010) ser acima de 90% o que reduziria este nível de poluente para 57,5 µg/m³ de partículas em suspensão, o que garante uma grande segurança quando o limite máximo permitido por resoluções ambientais é de 250 µg/m³.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACGIH®, “**Industrial Ventilation: Manual of Recommended Practice for Design 27th Edition**”. Cincinnati, Ohio — February 1, 2010, 514p.

ASHRAE, “**Fundamentos Handbook 2009**” Chapter 21 Duct Design.

BARNETT, T; “**Improving the performance of fabric filter dry dust collection equipment. Filtration & Separation**”, v. 37, n. 2, p. 28-32, 2000.

BEYER, P. O., “**Exaustão local Industrial**”. Polígrafo DEMEC, UFRGS. Porto Alegre, 2005

DIAS, T. “**A eficiência do filtro cartucho. Meio Filtrante**”, São Bernando do Campo, v. 5, n. 23, p. 23-26, 2006.

ELSON, D.M., “**Air Pollution:Causes, Effects and Control Policies**”, Basil Blackewll, New York. 1989. 543 p.

FREITAS, N. L.; MANEIRO, M. G.; COURY, J. R. “**Estudo da permeabilidade de filtros cerâmicos de aerossol em altas temperaturas**”. Projeções, v. 21, p. 29-38, 2002.

FOX, R. W.; MCDONALD, A. T, “**Introdução à Mecânica dos Fluidos**”. 6ª Ed., Rio de Janeiro: LTC, 2006, 798p.

HENN, ÉRICO ANTONIO LOPES, “**Máquinas de Fluxo**”, Ed. UFSM, 2001, 476p.

HESS, Peter F. “**Food and Agricultural Industry**“ Disponível em: DAVIS,Wayne T. Air Pollution engineering manual“. 2ª Ed., New York: John Wiley & Sons, 2000.

MACINTYRE, A. J., “**Ventilação Industrial e Controle Ambiental**”. Rio de Janeiro, LTC, 2ª Edição, 1990, 403p.

NBR 16401, “**Instalação de ar condicionado – Qualidade do ar**”, 2008.

NBR 9547, “**Material Particulado em Suspensão no Ar ambiente – Determinação da concentração pelo método do amostrador de grande volume**”, 1997.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº436, “**Estabelecimento dos limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas**”, 2011.

RESOLUÇÃO SEMA Nº 054, “**Definição de critérios para o Controle da Qualidade do Ar como um dos instrumentos básicos da gestão ambiental para proteção da saúde e bem estar da população e melhoria da qualidade de vida**”, 2006.

SECEX, **Secretaria de Comércio Exterior** - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – <http://www.secex.gov.br>. Acessado em 25/02/2015.

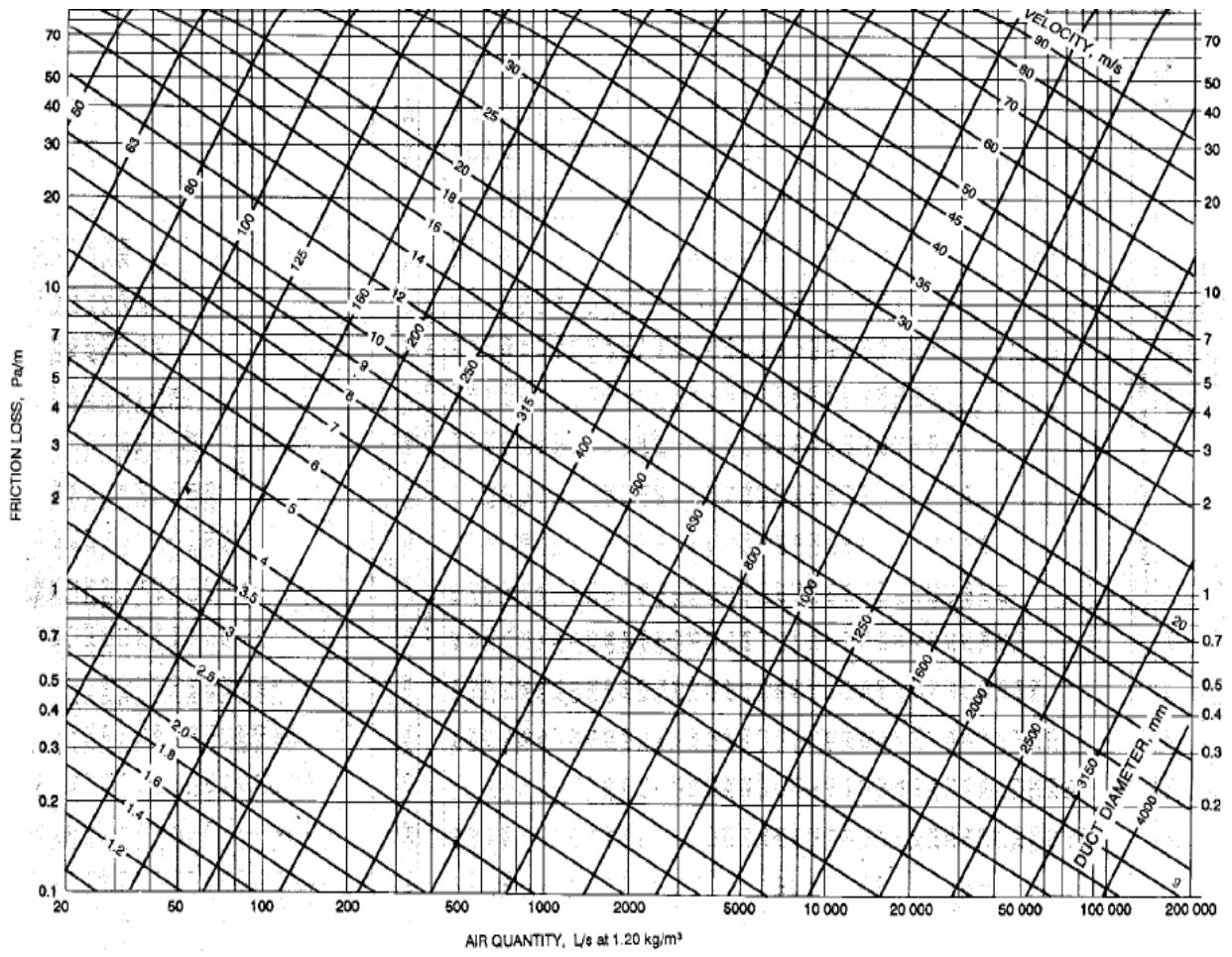
SILVA, J. S., “**Pré-Processamento de Produtos Agrícolas**”. Juiz de Fora: Instituto Maria, 1995. 509 p.

TMSA, Tecnologia em Movimentação S/A, “**Catálogos e Manuais, Porto Alegre**”, 2015.

YOSHIDA & MAYBANK, J.A. “**Physical and environmental characteristics of grain dust**”. 1 ed., New York, Academic Press, 1980 615p

7. ANEXOS

ANEXO A - ASHAREA Duct Design



Anexo C – Carta de fricção para dutos redondos, ASHRAE (2009)

8. APÊNDICES

APÊNDICE A - Tabela de valores de condição de medição de PTS através de Medidor de Grandes Volumes Hi-Vol.

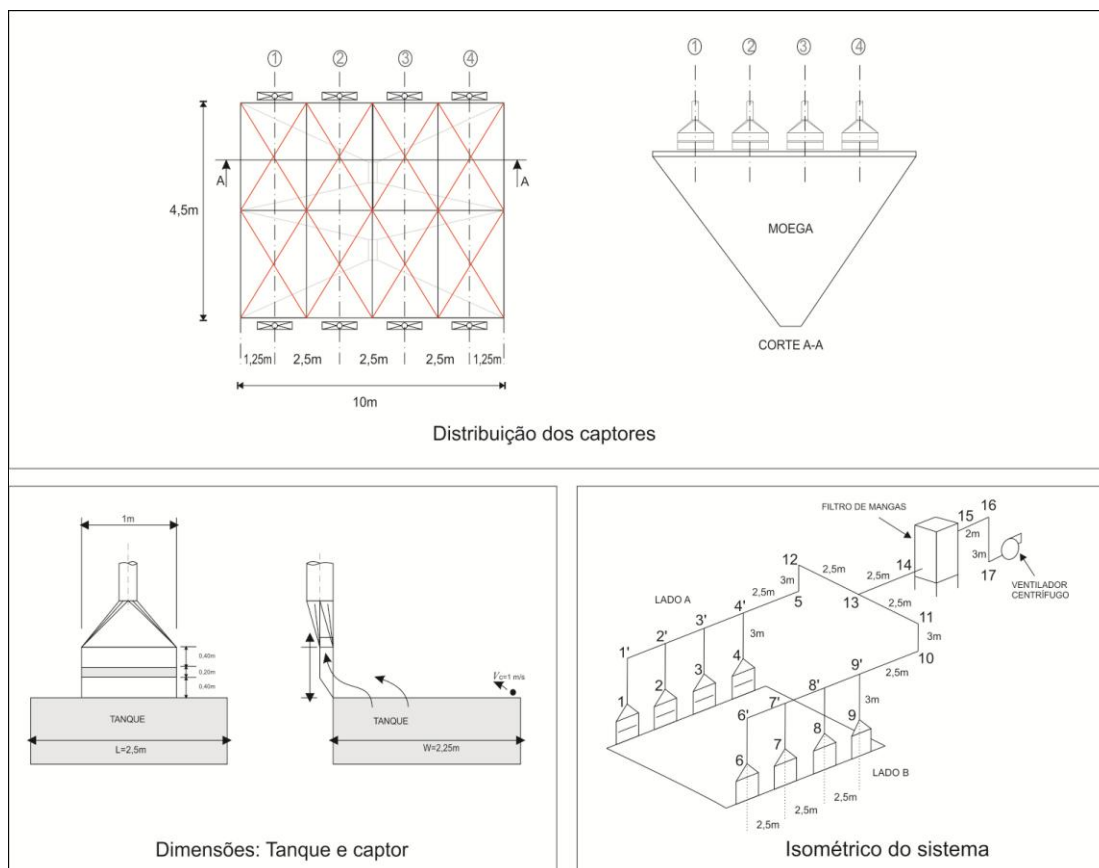
Relatório Técnico de serviço

local:	moega	COLETA N°.	1	Filtro N°.	25
Temp.max.:	27,0	HORÂ METRO		Peso Inicial	g 2,8216
Temp.min.:	19,0	início:	3400,190	Peso Final	g 3,8919
P3=(mb)	949,00	término:	3424,310	r =	0,998
P3=(mmHg)	715,55	TP=	298,0	a2 =	1,46
Pp=(mmHg)	760,00	T3=	296,0	b2 =	0,272

Cálculos				
intervalos 2h em 2h	Deflexão D	Vazão Qp	intervalo t=min	volume m3
1	4,5000	1,228279	120	147,3935
2	4,4500	1,220398	120	146,4478
3	4,4200	1,215649	120	145,8778
4	4,3800	1,209291	120	145,1149
5	4,5800	1,240798	120	148,8957
6	4,5100	1,229850	120	147,5820
7	4,4100	1,214062	120	145,6874
8	4,4100	1,214062	120	145,6874
9	4,5000	1,228279	120	147,3935
10	4,5000	1,228279	120	147,3935
11	4,5000	1,228279	120	147,3935
12	4,5300	1,232987	120	147,9584
VOLUME DE AR COLETADO			(m3)	1762,8255

APÊNDICE A – Parâmetros da medição de particulado efetuada e fornecida pela empresa SA

APÊNDICE B – Disposição dos captores.



APÊNDICE C – Dados do dimensionamento do sistema de captação e dutos de condução do ar contaminado e isométrico do sistema.

TRECHOS	DIÂMETRO [mm]	COMPRIMENTO [m]	VAZÃO [L/s]	P. DE CARGA [Pa]
SAÍDA DOS CAPTORES				
1-1'	178	3	174,9	12
6-6'	178	3	174,9	12
2-2'	178	3	174,9	12
7-7'	178	3	174,9	12
3-3'	178	3	174,9	12
8-8'	178	3	174,9	12
4-4'	178	3	174,9	12
9-9'	178	3	174,9	12
LADO A				
1'-2'	178	2,5	174,9	10
2'-3'	232	2,5	349,8	10
3'-4'	270	2,5	524,7	10
4'-5	301	2,5	699,5	10
5.-12	301	3	699,5	12
12.-13	301	2,5	699,5	10
LADO B				
6'-7'	178	2,5	174,9	10
7'-8'	232	2,5	349,8	10
8'-9'	270	2,5	524,7	10
9'-10	301	2,5	699,5	10
10.-11	301	3	699,5	12
11.-13	301	2,5	699,5	10
CHEGADA NO FILTRO				
13-14	392	2,5	1399,08	10
SAÍDA DO FILTRO				
15-17	392	2,5	1399,08	20

