

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE ENSINO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL
CURSO DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

CARLOS AUGUSTO NOBRE
GÉSSICA CAMILO
GUSTAVO ALVES

**PROPOSTA DE MELHORIA DA QUALIDADE DO AR INTERNO DE
UMA INDÚSTRIA MOVELEIRA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2013

CARLOS AUGUSTO NOBRE

GÉSSICA CAMILO

GUSTAVO ALVES

**PROPOSTA DE MELHORIA DA QUALIDADE DO AR INTERNO DE
UMA INDÚSTRIA MOVELEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do grau de Tecnólogo Ambiental
da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná – UTFPR, Câmpus Medianeira.

Orientador: Prof. Dr. Laercio M Frare

MEDIANEIRA

2013

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE ENSINO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL
CURSO DE TECNOLOGIA AMBIENTAL

TERMO DE APROVAÇÃO

PROPOSTA DE MELHORIA DA QUALIDADE DO AR INTERNO DE UMA
INDÚSTRIA MOVELEIRA

por

CARLOS AUGUSTO NOBRE
GÉSSICA CAMILO
GUSTAVO ALVES

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às _____ horas, em ____ de _____ de _____ como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. Os candidatos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____.

Professor Dr. Laercio Mantovani Frare
Orientador

Professor Me. Fábio Orssatto
Coordenador do Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental

Professor Dr. Rafael Arioli

AGRADECIMENTOS

As margens da conclusão de mais esta etapa de vida, temos a feliz lembrança de várias pessoas a quem dedicamos este conhecimento, pois, esta conquista, só se tornou real com a contribuição de cada uma delas, seja direta ou indiretamente.

Acima de tudo agradecemos a Deus, fonte de vida, que nos faz acreditar num mundo mais justo. Sem Ele, não estaríamos aqui.

Aos familiares que deram o incentivo e alicerce necessário na constante busca pelo conhecimento. Especialmente aos pais, Fátima Guilherme Nobre, Moacir José Nobre, Maria Luiza Alves, Wilson Alves, Nair Lieséski Camilo e Edson Camilo.

Aos amigos que fizemos durante o curso e a estes que compartilho esta monografia em grupo, pela verdadeira amizade que construímos, por todos os momentos que passamos durante esses 2 anos e meio. Sem vocês essa trajetória não seria tão prazerosa.

A empresa estudada, pelo total apoio e disponibilização de dados para confecção desse trabalho. Em especial a toda Família Gotardo.

Ao nosso orientador, Prof. Dr. Laercio M Frare, pelo ensinamento e dedicação dispensados no auxílio a concretização dessa monografia.

A todos os professores, pela paciência, dedicação e ensinamentos disponibilizados nas aulas, cada um de forma especial contribuiu para a conclusão desse trabalho e conseqüentemente para nossa formação profissional.

A todos o nosso Muito Obrigado.

*“O sucesso nasce do querer, da
determinação e persistência em se chegar
a um objetivo. Mesmo não atingindo o
alvo, quem busca e vence obstáculos, no
mínimo fará coisas admiráveis.”*

José de Alencar

RESUMO

NOBRE, C. A; CAMILO, G; ALVES, G. PROPOSTA DE MELHORIA DA QUALIDADE DO AR INTERNO DE UMA INDÚSTRIA MOVELEIRA. 2013. 92f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Medianeira, 2013.

Este estudo foi realizado para elaboração de uma proposta de melhoria da qualidade do ar interno de uma indústria moveleira situada na cidade de Missal, no Estado do Paraná. A indústria moveleira é caracterizada pelo seu auto potencial na geração de emissões atmosféricas possuindo, conseqüentemente, um significativo potencial poluidor. Para obter êxito neste estudo, a metodologia utilizada foi a pesquisa bibliográfica e o levantamento de dados no local. O principal problema levantado foi a degradação do sistema de captação, gerando conseqüentemente a ineficiência do mesmo. Na busca pelo bem estar de todos os usuários do local estudado, foram propostas medidas para a eficiente coleta das emissões atmosféricas da indústria moveleira. As principais conclusões obtidas ao final deste trabalho foram: todas as máquinas devem ser ligadas às tubulações de coleta, o ciclone deve ser substituído por um de maiores dimensões geométricas, o ventilador centrífugo do sistema de coleta deve ter 13 cv de potência e ainda algumas recomendações para manter a segurança dos colaboradores.

Palavras-chave: Indústria moveleira. Qualidade do Ar. Ventilação local exaustora.

ABSTRACT

NOBRE, C. A; CAMILO, G; ALVES, G. PROPOSAL FOR IMPROVING INDOOR AIR QUALITY OF A FURNITURE INDUSTRY. 2013. 92f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Medianeira, 2013.

This study was conducted to development of a proposal for improving the indoor air quality of a furniture industry in the city of Missal, in the state of Paraná. This industry is characterized by self-potential generation of waste gases, having consequently a significant potential polluter. To be successful in this study, the methodology used was the literature research and data collection on site. The main issue raised was the degradation of the catchment system, thereby generating the inefficiency of it. In seeking the welfare of all users of the studied area, has been proposed for the efficient collection of atmospheric emissions of the furniture industry. The main conclusions at the end of this work were all machines must be connected to the pipes collection, the cyclone should be replaced by a larger geometrical, the centrifugal fan of the collection system must have 13 hp and still some recommendations to maintain the safety of employees.

Keywords: Furniture industry. Air Quality Local. Exhaust Ventilation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Ventilação Geral Diluidora.	8
Figura 2.2 - Ventilação Local Exaustora.....	9
Figura 2.3 – Princípio de funcionamento de um filtro de manga.	11
Figura 2.4 – Princípio de funcionamento de um ciclone.....	12
Figura 2.5 – Configuração dos ciclones tipo Lapple e Stairmand.....	13
Figura 3.1 – Município de Missal e localização da indústria em estudo.	15
Figura 3.2 – Visão da entrada da indústria.....	16
Figura 3.3 - Sistema de ventilação inexistente.	16
Figura 3.4 - Sistema de ventilação inexistente.	17
Figura 3.5 – Pó de madeira em grande parte dos equipamentos.....	17
Figura 3.6 – Restos de matérias-primas.	18
Figura 3.7 – Plaina Desempenadeira	19
Figura 3.8 - Tupia	20
Figura 3.9 - Serra circular.....	21
Figura 3.10 - Lixadeira de cinta	21
Figura 3.11 – Esquadriha manual.....	22
Figura 3.12 - Serra circular esquadrejadeiras maior	23
Figura 3.13 – Serra circular esquadrejadeira menor	23
Figura 3.14 – Furadeira de Bancada Horizontal.....	24
Figura 3.15 – Plaina Desengrossadeira.	24
Figura 3.16 – Sala de Lixamento.....	25
Figura 3.17 - Compressor de ar.	26
Figura 3.18 - Sala de pintura.	26
Figura 3.19 – Sistema de ventilação da Sala de Pintura.....	27
Figura 3.20 – Parte externa do sistema de ventilação da Sala de Pintura.	27
Figura 3.21 – Depósito e garagem.	28
Figura 3.22 - Sobras de madeiras estocadas.....	29
Figura 3.23 - Demais sobras de matéria prima.	29
Figura 3.24 – Ciclone	30
Figura 3.25 - Interior do silo de armazenagem.....	30
Figura 3.26 - Croqui da indústria estudada	31
Figura 3.27 – Fluxograma do processo de produção de móveis.....	32
Figura 3.28 – Captor-receptor	33
Figura 3.29 - Layout do Sistema de Ventilação Local Exaustora com correções.....	34
Figura 3.30 - Perda de Carga em dutos retos circulares.....	35
Figura 3.31 – Comprimentos equivalentes para curvas expressos em pés, de duto retilíneo de igual diâmetro.	36
Figura 4.1 – Principais dimensões de um ciclone.	44
Figura 5.1 - Esquema do captor para uma serra circular.	49
Figura 5.2 – Esquema do captor para uma lixadeira.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões relativas dos ciclones Lapple e Stairmand	13
Tabela 2 – Vantagens e desvantagens dos ciclones.	14
Tabela 3 – Relações utilizadas para ciclones do tipo Lapple.	38
Tabela 4 – Vazão de entrada nos captosres do sistema local exaustor	42
Tabela 5 – Perda de Carga nos trechos do sistema local exaustor.	43
Tabela 6 – Resultados do ciclone dimensionado.	44
Tabela 7 – Identificação das partes com a Figura 4.1.....	45
Tabela 8 – Pesos, médio e desvio padrão da amostra.	45
Tabela 9 - Peneiras, diâmetro, pesos e porcentagem obtida no ensaio de granulometria.	46
Tabela 10 – Eficiência de coleta granulométrica por diâmetro médio de partícula retida e sua fração mássica.....	47
Tabela 11 – Produto entre N_i e F_r , em relação ao diâmetro médio das partículas retidas nas peneiras.	47

LISTA DE SIGLAS

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CV - Cavalo vapor

Di - Diâmetro médio

EPI - Equipamento de Proteção Individual

Fr - Fração mássica

MDF - *Medium Density Fiberboard* - Placa de Fibra de Madeira de Média Densidade

MDP – *Medium Density Particleboard* – Madeira de partículas de densidade média

Ni - Eficiência de coleta granulométrica

Nt - Eficiência de Coleta Total

OSB – *Oriented Strand Board* – Tiras de Madeiras Orientadas

SEMA - Secretaria de Meio Ambiente e recursos naturais

VLE - Ventilação Local Exaustora

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	3
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
2.1 EFEITOS DO MATERIAL PARTICULADO	5
2.2 QUALIDADE DO AR INTERNO	6
2.3 MECANISMOS PARA MELHORIA DA QUALIDADE DO AR.....	7
2.3.2 Ventilação Local Exaustora (VLE).....	9
2.4 SISTEMAS DE REMOÇÃO DE PARTICULADOS	10
2.4.1 Filtros de Manga.....	10
2.4.2 Ciclone	11
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
3.1 LOCAL DE ESTUDO.....	15
3.2 DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....	15
3.2.1 Área de produção.....	15
3.3 DESCRIÇÃO DAS MÁQUINAS DO PROCESSO PRODUTIVO.....	19
3.3.1 Plaina desempenadeira.....	19
3.3.2 Tupia	19
3.3.3 Serra circular	20
3.3.4 Lixadeira de cinta	21
3.3.5 Esquadilha Manual.....	22
3.3.6 Serras circulares esquadrejadeiras	22
3.3.7 Furadeira de Bancada Horizontal.....	23
3.3.8 Plaina Desengrossadeira	24
3.4 SALA DE LIXAMENTO.....	25
3.5 SALA DE PINTURA	26
3.6 DEPÓSITO E GARAGEM	27
3.7 ESCRITÓRIO	28
3.8 ANEXO EXTERIOR DA INDÚSTRIA	28
3.9 CICLONE OPERANTE.....	29
3.10 COLETA DE DADOS DO PROCESSO PRODUTIVO	30
3.11 METODOLOGIA PARA SELEÇÃO DOS CAPTORES.....	32
3.12 ESTIMATIVA DA VELOCIDADE NAS TUBULAÇÕES	33
3.13 CÁLCULO DA VAZÃO DO AR NO INTERIOR DAS TUBULAÇÕES.....	33
3.14 CÁLCULO DA PERDA DE CARGA NAS TUBULAÇÕES.....	35
3.15 CÁLCULO DA POTÊNCIA DO VENTILADOR LOCAL EXAUSTOR.....	37
3.16 DIMENSIONAMENTO DO CICLONE.....	37
3.16.1 Densidade e granulometria das partículas coletadas pelo ciclone	38
3.16.2 Determinação da Eficiência.....	40
3.16.3 Eficiência de coleta (Nt)	41
4 RESULTADOS OBTIDOS.....	42
4.1 RESULTADOS DAS VAZÕES DE AR NOS CAPTORES.....	42
4.2 RESULTADOS DAS PERDAS DE CARGA NOS TRECHOS DO SISTEMA	42
4.3 RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO DO VENTILADOR EXAUSTOR	43
4.4 RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO CICLONE	44
4.4.1 Resultados da Densidade das partículas	45
4.4.2 Resultados da Granulometria das partículas.....	46
4.4.3 Resultados da Determinação da Eficiência	46
4.4.4 Resultados da Eficiência de Coleta.....	46

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
5.1 PROPOSTAS DE MELHORIA	48
5.2 RECOMENDAÇÕES	50
6 CONCLUSÕES	51
REFERÊNCIAS	53
APÊNDICE A.....	56
A.1 CÁLCULO DAS VAZÕES DOS CAPTORES.....	56
A.2 CÁLCULOS DAS VAZÕES DOS DUTOS.....	56
APÊNDICE B.....	59
B.1 CÁLCULO DAS PERDAS DE CARGA	59
APÊNDICE C	77
C.1 DIMENSIONAMENTO DO VENTILADOR EXAUSTOR	77
APÊNDICE D	78
D.1 CÁLCULO PARA O DIMENSIONAMENTO DO CICLONE.....	78
D.2 CÁLCULO DA DENSIDADE DO MATERIAL PARTICULADO	79
D.3 CÁLCULOS PARA OBTENÇÃO DA GRANULOMETRIA DA AMOSTRA.	80
D.4 CÁLCULOS DA DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA.....	81

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos vem se observando um exponencial crescimento na indústria, crescimento impulsionado pela difusão da tecnologia empregada nos processos de produção. Concomitante ao crescimento industrial ocorre o aumento de resíduos gerados nesta atividade, provocando desequilíbrios nos sistemas ambientais onde estão inseridas estas empresas.

A partir daí vem à tona a preocupação na diminuição dos impactos ambientais gerados por esses resíduos, tanto dentro do ambiente de trabalho destas indústrias como nas redondezas das instalações.

Criaram-se então diversos mecanismos para o controle desta poluição, podendo ser ela de nível e natureza variada, utilizando-se da mesma tecnologia impulsionadora da atividade industrial para o desenvolvimento de pesquisas na área de mitigação de efeitos nocivos ao ambiente em geral.

Um exemplo de ramo industrial nocivo ao meio ambiente é o de fabricação de móveis a partir da madeira, que provoca danos principalmente por meio de emissões atmosféricas, provenientes do beneficiamento da matéria prima, através de cortes, lixamentos e acabamentos oriundos da atividade moveleira, que além de causar danos ao ambiente externo, afetam muito o ambiente interno da indústria, prejudicando principalmente a saúde e o bem estar dos colaboradores da empresa, que são os que mantem a organização ativa.

Assim observa-se a importância da manutenção da qualidade do ar tanto dentro como fora das dependências da área de produção.

Para tanto, este ramo industrial existem inúmeros meios de controle das emissões provenientes das atividades realizadas na fabricação de móveis. Como representante desta gama de mecanismos, está entre os mais difundidos o Sistema de Ventilação Local Exaustora, que visa captar os resíduos atmosféricos diretamente da fonte geradora, e direcioná-los para um ciclone onde são separados da massa de ar e armazenados até serem finalmente descartados de maneira adequada.

O sistema de ventilação local exaustora tem relevante eficiência de coleta do material particulado gerado por indústrias moveleiras, podendo ser ainda complementado com filtros de manga, lavadores de gases, precipitadores

eletrostáticos entre outros equipamentos, para que o processo de retenção de particulados seja o mais completo possível.

Parte crucial de um sistema de ventilação local exaustora é um correto dimensionamento no momento de sua implantação na indústria assim como uma correta e eficaz manutenção do sistema no decorrer do tempo.

Não menos importante, é a readequação do sistema quando necessário, como quando são inseridas novas máquinas no processo produtivo, por exemplo, este novo equipamento deve ser ligado à rede de coleta, ocasionando desta forma uma modificação na capacidade de coleta do material particulado se não for bem redimensionado.

Na indústria que é o objeto deste estudo, observou-se uma junção entre a falta de manutenção do sistema já implantado, com a ausência de ligação de novas máquinas neste sistema, o que faz com que o processo de retenção dos resíduos atmosféricos não tenha a eficiência considerada a ideal para estas instalações.

A partir daí vê-se a necessidade de uma proposta de readequação e redimensionamento do sistema de ventilação exaustora presente, fazendo assim com que tenha a eficiência esperada para um sistema desta natureza, melhorando assim, principalmente, a qualidade do ar interno.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os efeitos à saúde causados por poluentes do ar podem variar desde mudanças bioquímicas e fisiológicas a episódios de sinusite, hipertensão, ardência nos olhos, estresse, escamação da pele, perda dos sentidos, dificuldade de respirar, tosse e agravamento de doenças respiratórias e cardíacas preexistentes, entre outros (GIODA e GIODA, 2009 apud HECS, 2001).

Segundo Lisboa (2007), uma ferramenta disponível para o controle da poluição do ar de ambientes de trabalho é a ventilação. A sua adequada utilização promove a diluição ou retirada de substâncias nocivas ou incômodas presentes no ambiente de trabalho. Ressalta ainda que o seu potencial para controle de substâncias explosivas e/ou inflamáveis, agindo dessa forma para segurança tanto do trabalhador quanto dos bens materiais da empresa.

O material particulado é tido como o maior causador de efeitos adversos à saúde entre os poluentes presentes no ar (GIODA e GIODA, 2009 apud D'AMATO et al., 2002). Pode-se verificar assim, que a ventilação industrial e a qualidade do ar interno de indústrias, em ambientes fechados, são de grande importância para as condições de trabalho, além de proporcionar aos trabalhadores um local salubre, com conforto e rendimento econômico para a indústria.

2.1 EFEITOS DO MATERIAL PARTICULADO

Os poluentes atmosféricos, conhecidos como material particulado, não constituem uma espécie química definida, mas uma mistura de partículas sólidas e líquidas de diferentes tamanhos, formas, distribuição, composição química e reatividade. Os particulados em suspensão na atmosfera podem ser originados de fontes naturais ou antropogênicas. Sua composição e tamanho dependem das fontes de emissão e das reações químicas subsequentes que ocorrem na atmosfera (PROTI, 2010 apud DOCKERY e POPE 1994; CANÇADO et al. 2006; VIANA et al. 2006).

O mecanismo real da toxicidade e da genotoxicidade do material particulado ainda não são completamente entendidos. No entanto, sabe-se que a inalação de partículas minerais de aerossóis e sua deposição nos alvéolos pulmonares podem causar problemas à saúde dependendo da concentração dos poluentes na atmosfera, do tempo de exposição, da natureza química e física das partículas inaladas. Diversos estudos relacionam o tamanho, a área superficial e a composição química dos materiais particulados como fatores importantes na determinação dos efeitos do mesmo à saúde (PROTI, 2010 apud HARISSON E YIN 2000; QUEIROZ et al. 2007; VIANA et al. 2008). Ainda segundo Proti (2010) há possíveis efeitos sobre o clima, visibilidade, solo e água.

Nahuz (2006) pontua que as emissões atmosféricas do setor moveleiro referem-se, principalmente, ao material particulado emitido pelo processo produtivo da indústria moveleira, por exemplo, pó de lixamento da madeira ou chapas, pré-corte, perfuração, corte, aplainamento, perfilamento, resinas e tintas (originadas nas operações de pintura e envernizamento).

Conforme a resolução SEMA 054/2006 (Paraná, 2006):

“A operação de cobertura de superfície realizada por aspersão tais como, pintura ou aplicação de verniz a revólver, deverá realizar-se em compartimento próprio, provido de sistema de ventilação local exaustora e de equipamento eficiente para a retenção e/ou recuperação de material sob a forma de aerossóis com pigmentos, gases, vapores de solventes orgânicos ou material particulado.”

2.2 QUALIDADE DO AR INTERNO

Verani e Pereira Filho (2003 apud BASTO, 2007, p. 8) menciona que, normalmente o homem inspira em média cerca de 10 a 15 mil litros de ar por dia.

A qualidade do ar não é um assunto recente. Há publicações do início do século XIV que discutem o assunto e já sugerem que a solução para problemas de qualidade do ar interno é a ventilação adequada dos ambientes. (QUADROS, 2008 apud HAINES e WILSON, 1998).

De acordo com Zhang (2004 apud QUADROS, 2008), a partir da década de setenta houve um aumento do uso de sistemas de ar condicionado em edificações.

A comunicação com o ar externo foi minimizada nos projetos de edifícios, o que pode acarretar em uma concentração dos poluentes gerados no ambiente interno, levando às primeiras reclamações de trabalhadores destes ambientes, e estudos revelaram que as concentrações de poluentes nestes locais poderiam ser de 2 a 5 vezes superiores àquelas no ar externo.

Spengler et al. (2004 apud QUADROS, 2008) lembra que a cidade de Cleveland, nos Estados Unidos, passou por um caso associando a inadequada qualidade do ar interno a casos de mortalidade infantil em 1995, causada especificamente pelo fungo *Stachybotrys chartarum*. Casos como este, associados ao número crescente de reclamações relativas ao conforto humano dentro das edificações, vêm incentivando as pesquisas em qualidade do ar interno.

2.3 MECANISMOS PARA MELHORIA DA QUALIDADE DO AR

Como ventilação industrial entende-se o processo de retirar ou fornecer ar por meios naturais ou mecânicos de/ou para um recinto fechado. O processo de ventilação tem por finalidade a limpeza e o controle das condições do ar, para que homens e máquinas convivam num mesmo recinto sem prejuízo de ambas as partes (LISBOA, 2007 apud VALLE PERREIRA FILHO e MELO, 1992).

A poluição atmosférica é uma preocupação social de há muitas décadas, sendo de conhecimento comum que as partículas suspensas no ar causam aumento das doenças respiratórias (PAIVA, 2010).

Schirmer et al. (2008) diz que os materiais particulados, quando não coletados eficientemente, podem provocar danos ao processo produtivo (como no caso da pintura) e ao acabamento das peças, riscos à saúde dos funcionários e da população vizinha.

Em seu estudo Paiva (2010) cita diversos equipamentos de separação gás-sólido, como os filtros de mangas, os precipitadores eletrostáticos, os ciclones, entre outros também utilizados para capturar partículas sólidas.

Dado isso seguem referências de alguns mecanismos para controle de emissões atmosféricas em indústrias.

2.3.1 Ventilação Geral Diluidora (VGD)

Na concepção de Mesquita (2010), a ventilação geral diluidora é o método de inserir ou retirar ar de um determinado ambiente, ou ambos, esperando promover uma redução dos poluentes nocivos. No caso de ambientes industriais é usada para remover contaminantes, calor ou ambos. A Figura 2.1 ilustra um exemplo de ventilação geral diluidora.



Figura 2.1 - Ventilação Geral Diluidora.

Fonte: Lisboa, 2007, p.5 (apud VALLE PERREIRA FILHO e MELO, 1992)

Este tipo de ventilação consiste simplesmente em passar uma corrente de ar externo, não contaminado, através do recinto a ser purificado, desta forma então eliminando substâncias (reduzindo a concentração) indesejáveis. Esse método deve ser utilizado quando existir um número elevado de fontes de contaminantes diversos e em baixas concentrações. O termo diluidora provém do fato de que a adição de mais ar no recinto irá naturalmente diminuir a concentração do contaminante. O uso de ventilação geral diluidora no caso de várias fontes de contaminantes e várias composições é sempre mais econômico. (LISBOA, 2007 apud VALLE PERREIRA FILHO e MELO, 1992).

2.3.2 Ventilação Local Exaustora (VLE)

De acordo com Schirmer et. al (2008), no processo de produção de móveis, é notável o potencial à poluição decorrente deste tipo de atividade, por resíduos líquidos, sólidos e atmosféricos. Neste último caso, a ventilação industrial vem se tornando uma ferramenta essencial no controle da poluição do ar. Um controle adequado inicia-se na escolha adequada de equipamentos e procedimentos capazes de realizar a captura ou a diluição destes contaminantes, promovendo a manutenção e o conforto ocasional. Afirma ainda que os principais resíduos provenientes de produtos e subprodutos da madeira são, em geral, grande quantidade de aparas, serragem e poeiras.

Schirmer et. al (2008) também descreve que, em seu estudo sobre implantação de um sistema VLE em uma pequena indústria moveleira no Município de Irati, com a instalação deste sistema diminui-se consideravelmente a dispersão dos contaminantes no ambiente de trabalho, o qual proporciona a minimização dos riscos associados a poluentes, refletindo diretamente na saúde e no bem-estar dos colaboradores. A Figura 2.2 ilustra uma ventilação local exaustora.

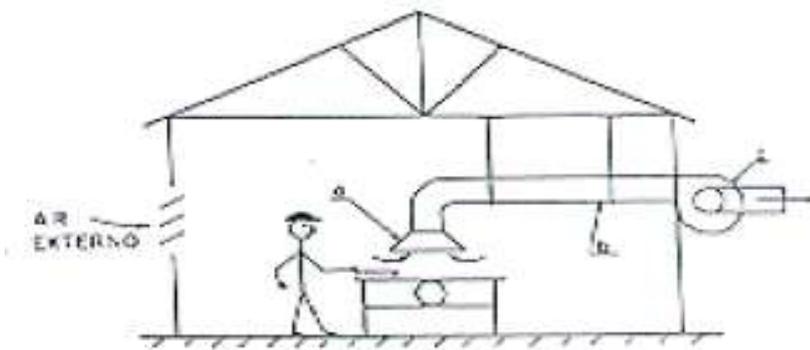


Figura 2.2 - Ventilação Local Exaustora.

Fonte: Lisboa, 2007, p.5 (apud VALLE PERREIRA FILHO e MELO, 1992)

2.4 SISTEMAS DE REMOÇÃO DE PARTICULADOS

2.4.1 Filtros de Manga

Os filtros de manga vêm sendo utilizados nos processos de limpeza de gases devido à capacidade de filtrar economicamente grandes volumes de gases, mantendo quedas de pressão relativamente baixas, em conformidade com os requisitos de economia de energia (NETO et. al, 2002).

Estes filtros têm por finalidade separar as partículas existentes no fluxo de gases industriais. No caso dos filtros de manga, as partículas ficam retidas na superfície do tecido que, de tempos em tempos, necessitam de sua retirada para que não haja a colmatação do filtro que conseqüentemente diminui a eficiência do sistema de ventilação. Os mecanismos de coleta envolvidos neste processo são principalmente a impactação inercial, a difusão, a atração eletrostática e a força gravitacional. Esse sistema está caracterizado em equipamentos de alta eficiência, chegando a alguns casos a 99%. (SCHIRMER et. al, 2008).

Quando a queda de pressão chega a certo limite, é necessário limpar o filtro, sendo isto normalmente conseguido através de um pulso de ar em sentido inverso ao da filtração, recolhendo-se o bolo de filtração nas tremonhas. (PAIVA, 2010).

Paiva (2010) ainda comenta que a grande vantagem da filtração é a sua alta eficiência, sendo as principais desvantagens o fato de se tratar de um processo inerentemente descontínuo, com perdas de pressão e conseqüente consumo de energia oscilante e o fato de grande parte dos filtros não serem adequados para ambientes agressivos ou com altas temperaturas.

Na Figura 2.3 pode-se observar o princípio de funcionamento de um filtro de manga.

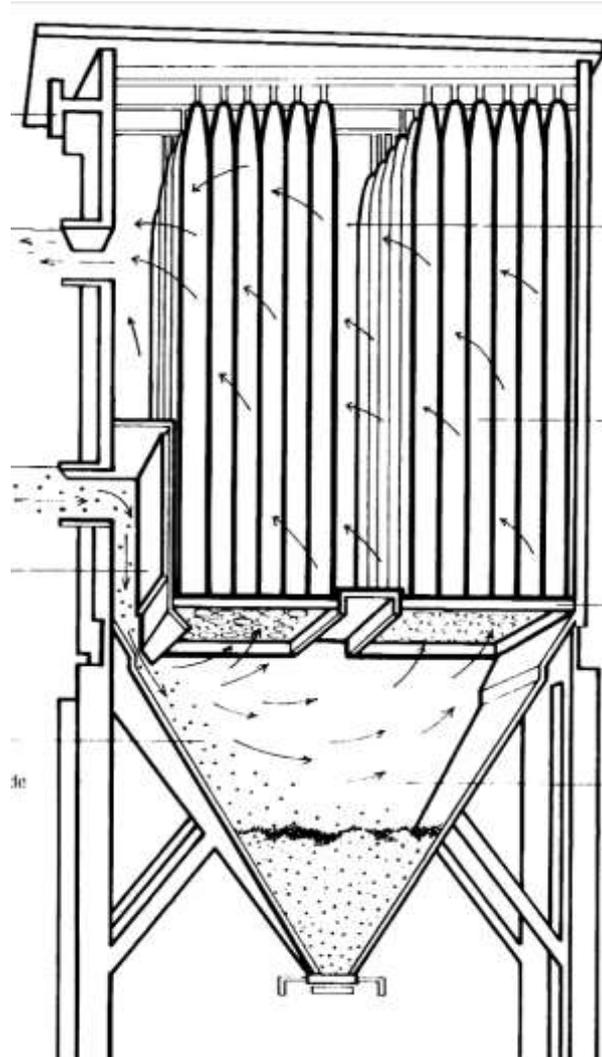


Figura 2.3 – Princípio de funcionamento de um filtro de manga.
Fonte: Reis Junior (1995).

2.4.2 Ciclone

Um ciclone convencional apresenta um corpo cilíndrico com uma seção cônica conectada na parte inferior, um duto de alimentação, que pode ser retangular ou circular, tangencial conectado a parte cilíndrica próxima ao topo e dois dutos de saída, um comumente denominado “underflow”, localizado no ápice da seção cônica, por onde os sólidos concentrados deixam o equipamento juntamente com uma pequena parcela do gás, e o outro comumente denominado “overflow” (ou vortex finder), localizado no topo da seção cilíndrica, por onde o gás relativamente limpo deixa o aparelho (SALVO, 2009).

Salvo (2009), ainda explica o funcionamento do ciclone de seguinte forma: O fluido composto de uma mistura (gás/sólido, gás/líquido) entra tangencialmente na parte cilíndrica do ciclone causando um movimento fortemente rotativo, que resulta em um regime de baixa pressão. Durante a operação, o fluido pressurizado alimenta constantemente o ciclone e a força centrífuga gerada faz com que partículas mais pesadas se movam em direção à parede enquanto que a velocidade radial obriga o fluido e as partículas mais leves a se moverem em direção ao centro. A Figura 2.4 ilustra o princípio de funcionamento de ciclones.

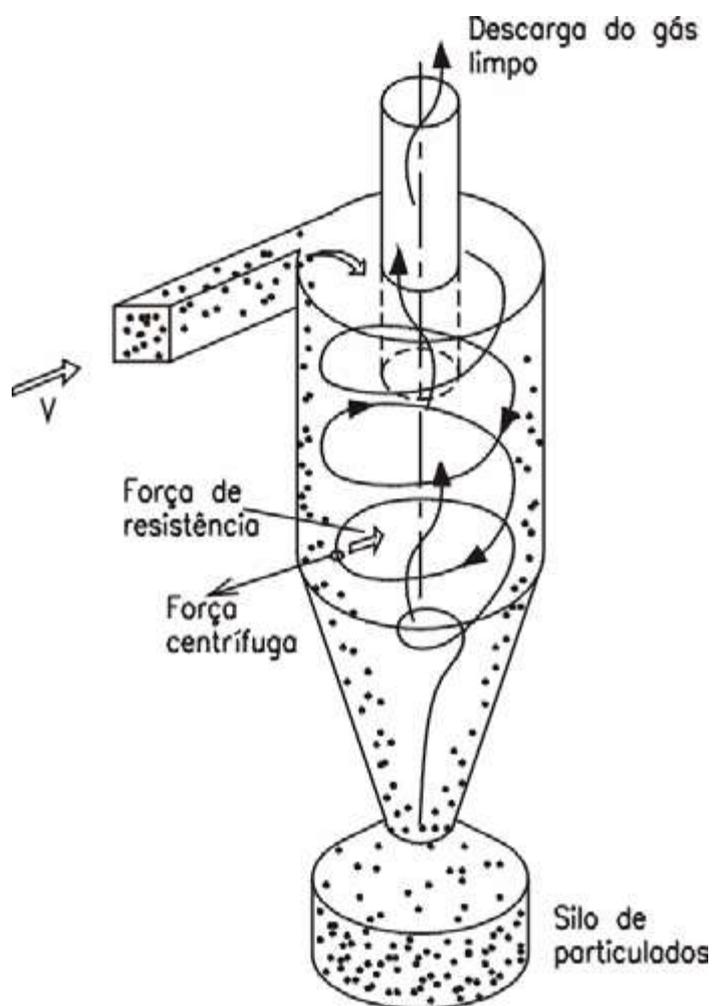


Figura 2.4 – Princípio de funcionamento de um ciclone.

Fonte: Lora (2000).

Existem vários tipos de ciclones na literatura, sendo os mais conhecidos o Lapple e o Stairmand de alta eficiência. (SILVA, 2006). A Figura 2.5 ilustra um exemplo destes dois tipos de ciclones.

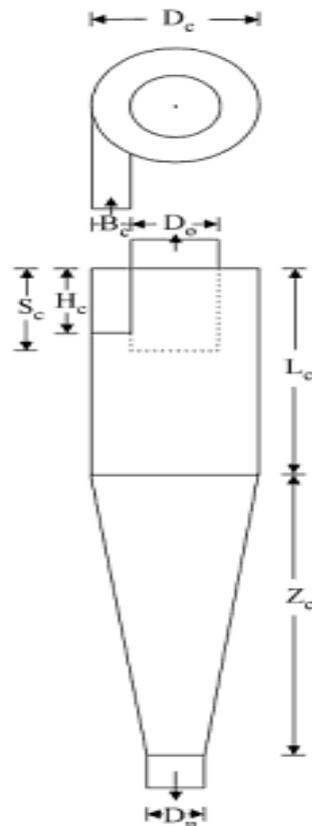


Figura 2.5 – Configuração dos ciclones tipo Lapple e Stairmand.

Fonte: Massarani (2002).

Na Tabela 1, são apresentadas as dimensões relativas de dois dos principais ciclones utilizados nas indústrias. Para um maior entendimento recomenda-se a visualização da figura 4.1.

Tabela 1 - Dimensões relativas dos ciclones Lapple e Stairmand

Tipo de Ciclone	D_e/D_c	a/D_c	b/D_c	S/D_c	h/D_c	$(H-h)/D_c$	B/D_c
Lapple	0,500	0,500	0,250	0,625	2,000	2,000	0,250
Stairmand	0,500	0,500	0,200	0,500	1,500	2,500	0,375

Fonte: Silva (2006).

A vantagem de se utilizar esses modelos tradicionais é o grande número de estudos realizados por vários autores.

A faixa de vazões que podem ser tratadas por ciclones varia de 50 a 50.000 m³/h. Entretanto, é prática comum da engenharia dividir as vazões para ciclones em paralelo quando a vazão é maior que 20.000 m³/h, em função de evitar problemas

de acomodação espacial. Além do mais, ciclones menores tendem a ser mais eficientes e operam com perdas de carga menores que ciclones muito grandes (CIPOLATO, 2011 apud WANG et. al., 2004).

Existem condições de operação recomendadas para cada tipo de ciclone. No caso do ciclone Lapple o intervalo de velocidades recomendado é entre 6 e 21 m.s^{-1} ; geralmente, trabalhando-se com velocidades em torno de 15 m.s^{-1} ; já para o ciclone Stairmand, o intervalo está entre 6 e 30 m.s^{-1} (SILVA, 2006 apud MASSARANI, 1997). Disponibilizam-se as vantagens e desvantagens dos ciclones na Tabela 2.

Tabela 2 – Vantagens e desvantagens dos ciclones.

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Baixo custo	Baixa eficiência para partículas menores que 5 μm Excessivo desgaste por abrasão Possibilidade de entupimento
Baixa perda de carga	
Resistência à corrosão e temperatura	
Simplicidade de projeto e manutenção	

Fonte: Reis Junior (1995).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCAL DE ESTUDO

O objeto deste estudo consistiu de uma indústria moveleira, de pequeno porte, situada no município de Missal, localizada no extremo Oeste do Paraná, a 85 quilômetros de Foz do Iguaçu. O município fica a 615 km da capital do Estado, Curitiba, via BR 277. A Figura 3.1 ilustra a localização da indústria.



Figura 3.1 – Município de Missal e localização da indústria em estudo.

3.2 DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO

3.2.1 Área de produção

É neste local onde se encontra as principais máquinas do processo produtivo dos móveis. Através de medições feitas no local, obteve-se o valor da sua área, que compreende 400m².

Na figura 3.2, pode-se visualizar a área de produção.



Figura 3.2 – Visão da entrada da indústria

Observando esta área, notou-se claramente um sistema de ventilação industrial degradado, com muitas partes de tubulações inexistentes (FIGURAS 3.3 e 3.4), pó de madeira espalhado por grande parte dos equipamentos, um interior sobrecarregado pelas máquinas e excessivo acúmulo de restos de matérias-primas (FIGURAS 3.5 e 3.6).



Figura 3.3 - Sistema de ventilação inexistente.



Figura 3.4 - Sistema de ventilação inexistente.



Figura 3.5 – Pó de madeira em grande parte dos equipamentos.



Figura 3.6 – Restos de matérias-primas.

A empresa disponibiliza para todos os colaboradores os devidos EPI's, mas seu uso não foi identificado.

A maravalha e o pó coletado pelo ciclone são vendidos para aviários da região, os restos de madeira são entregues para uma indústria de cerâmica da cidade e o restante dos resíduos sólidos (latas de tinta e cola) são recolhidos pela empresa terceirizada.

3.3 DESCRIÇÃO DAS MÁQUINAS DO PROCESSO PRODUTIVO

3.3.1 Plaina desempenadeira

Na Figura 3.7, a máquina utilizada para desempenar (endireitar) as peças empenadas (tortas). Geralmente é utilizada em madeira maciça, mas também pode realizar este trabalho em chapas de madeira reconstituída, MDF, aglomerado, OSB, compensado multilaminado e sarrafeado e MDP. (SANTIN, 2007).



Figura 3.7 – Plaina Desempenadeira

3.3.2 Tupia

Nesta máquina são realizadas todas as usinagens que por ventura as peças necessitem. Os tipos de trabalhos realizados vão desde rebaixas até usinagens em peças com raios, passando por boleados, cortes, etc. (SANTIN, 2007).

Nota-se que o equipamento não está inserido no sistema de ventilação, conforme é visualizado na Figura 3.8.



Figura 3.8 - Tupia

3.3.3 Serra circular

Esta ferramenta visualizada na figura 3.9 serve para realizar cortes, tanto transversal, quanto longitudinal em peças de madeira maciça, chapa de madeira reconstituída, alumínio, aço, acrílicos, polímeros, etc. (SANTIN, 2007).



Figura 3.9 - Serra circular

3.3.4 Lixadeira de cinta

Segundo Santin (2007), esta máquina dá acabamento nas peças de madeira maciça ou de chapas de madeira reconstituída com lixas de grana grossa até lixas mais finas utilizadas para acabamento. Conforme se pode visualizar na Figura 3.10.

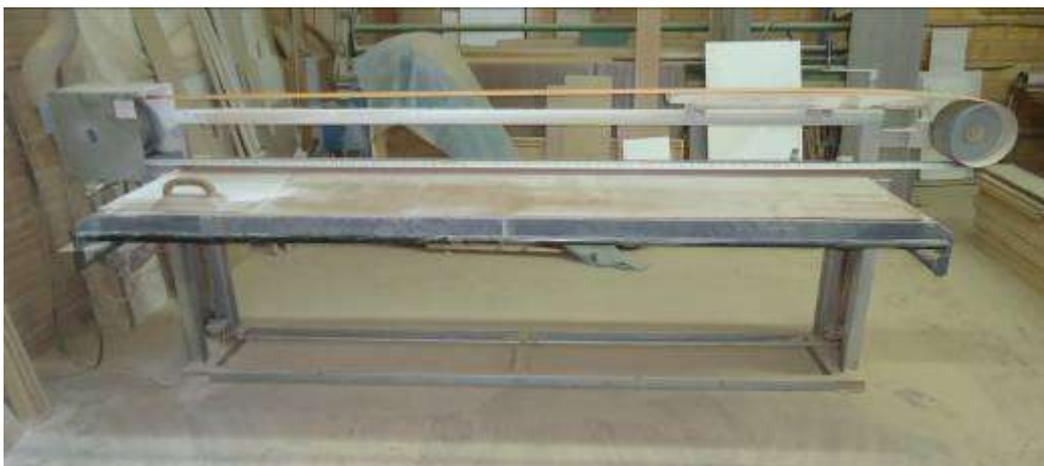


Figura 3.10 - Lixadeira de cinta

3.3.5 Esquadriha Manual

Esta máquina é usada para fazer cortes perfeitos, com vários tipos de angulações, nas peças de madeira.



Figura 3.11 – Esquadriha manual

3.3.6 Serras circulares esquadrejadeiras

Estas máquinas podem tanto cortar chapas de madeira reconstituída quanto madeira maciça. Ela é composta de uma mesa fixa com encosto paralelo à serra circular e uma mesa móvel para facilitar o deslizamento das peças. (FIGURA 3.12 e 3.13).



Figura 3.12 - Serra circular esquadrejadeiras maior



Figura 3.13 – Serra circular esquadrejadeira menor

3.3.7 Furadeira de Bancada Horizontal

Furadeira horizontal de bancada é uma furadeira que possibilita fazer furos numa peça na posição horizontal, conforme a Figura 3.14.



Figura 3.14 – Furadeira de Bancada Horizontal

3.3.8 Plaina Desengrossadeira

Conforme Santin (2007), esta máquina retira o excesso de madeira das peças, conferindo às mesmas as medidas finais tanto em espessura quanto em largura. Conforme mostra a Figura 3.15.



Figura 3.15 – Plaina Desengrossadeira.

3.4 SALA DE LIXAMENTO

Neste ambiente é onde acontece a primeira parte do acabamento dos produtos fabricados pela indústria em estudo, compreende em torno de 40m². (FIGURA 3.16).

Este ambiente contém somente uma janela de tijolos vasados, como forma de ventilação, muita poeira acumulada pelos equipamentos e chão, o compressor utilizado no processo de pintura, também se encontra deste ambiente, conforme mostra a Figura 3.17.



Figura 3.16 – Sala de Lixamento



Figura 3.17 - Compressor de ar.

3.5 SALA DE PINTURA

As salas de pintura compreendem a última parte de acabamento dos produtos fabricados pela indústria em estudo, tem uma área de aproximadamente 27,5 m².

Foi constatado neste ambiente, um sistema de ventilação separado, que está em contato direto com o ambiente externo, conforme mostram as Figuras 3.18, 3.19 e 3.20.



Figura 3.18 - Sala de pintura.



Figura 3.19 – Sistema de ventilação da Sala de Pintura



Figura 3.20 – Parte externa do sistema de ventilação da Sala de Pintura.

3.6 DEPÓSITO E GARAGEM

A Figura 3.21, mostra o local onde são estocadas todas as matérias primas necessárias para a fabricação dos produtos, também sendo utilizado como garagem. Tem uma área de aproximadamente 184 m².



Figura 3.21 – Depósito e garagem.

3.7 ESCRITÓRIO

Ambiente destinado ao sistema burocrático, administrativo, financeiro, de RH da indústria. Com aproximadamente 4 m².

3.8 ANEXO EXTERIOR DA INDÚSTRIA

Nas Figuras 3.22 e 3.23, é possível visualizar o espaço que é utilizado para a disposição das sobras da madeira. Estas sobras são dispostas em sacos até sua remoção do local.



Figura 3.22 - Sobras de madeiras estocadas.



Figura 3.23 - Demais sobras de matéria prima.

3.9 CICLONE OPERANTE

No exterior da indústria existe um complemento do sistema de ventilação local exaustora, equipado por um ciclone de 3,20 metros de altura e 1,20 metros de diâmetro.

Este ciclone conta com um silo de armazenagem dos particulados por ele recolhido, conforme mostram as Figuras 3.24 e 3.25.



Figura 3.24 – Ciclone

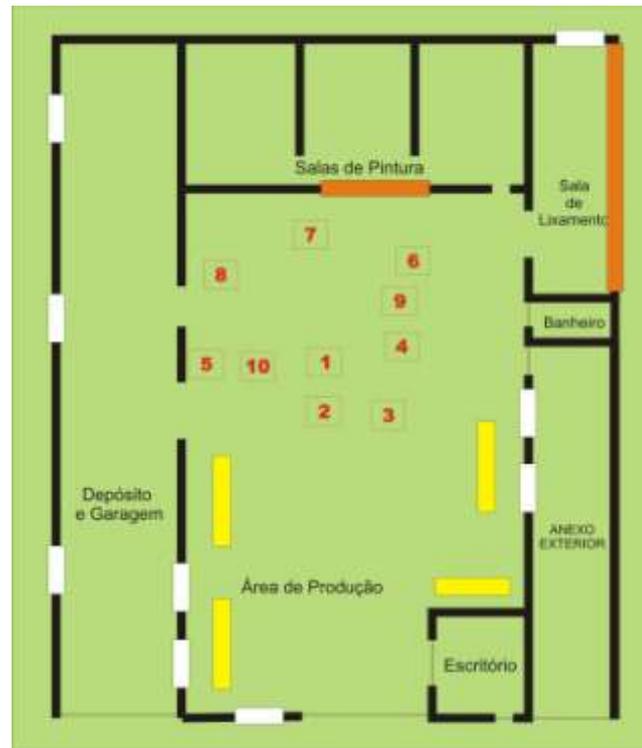


Figura 3.25 - Interior do silo de armazenagem.

3.10 COLETA DE DADOS DO PROCESSO PRODUTIVO

Os dados utilizados foram coletados em visitas realizadas na indústria de móveis, a qual proporcionou todos os subsídios necessários para a elaboração deste estudo. Os produtos da referida empresa compreendem móveis de madeira, os quais são vendidos na Região Oeste do Paraná.

Foi realizado o levantamento do processo de produção da indústria moveleira, iniciando com a identificação, em um croqui (Figura 3.26), da localização exata dos setores administrativos e produtivos, das máquinas utilizadas nas várias etapas bem como das janelas e portas dispostas em toda indústria.



LEGENDA |

- 1 - Serra Circular Esquadrejadeira (maior)
- 2 - Serra Circular Esquadrejadeira (menor)
- 3 - Esquadriha Manual
- 4 - Plaina Desengrossadeira
- 5 - Serra Circular
- 6 - Plaina Desempenadeira
- 7 - Tupia
- 8 - Lixadeira de cinta
- 9 - Furadeira de Bancada Horizontal
- 10 - Lixadeira de Disco
- Paredes
- Portas
- Bancadas de trabalho
- Janelas vasculantes
- Janelas de tijolo vasado

Figura 3.26 - Croqui da indústria estudada

As etapas do processo produtivo dos móveis foram representadas por meio de um fluxograma considerando desde a entrada da matéria prima até o produto final, conforme ilustrado na Figura 3.27.

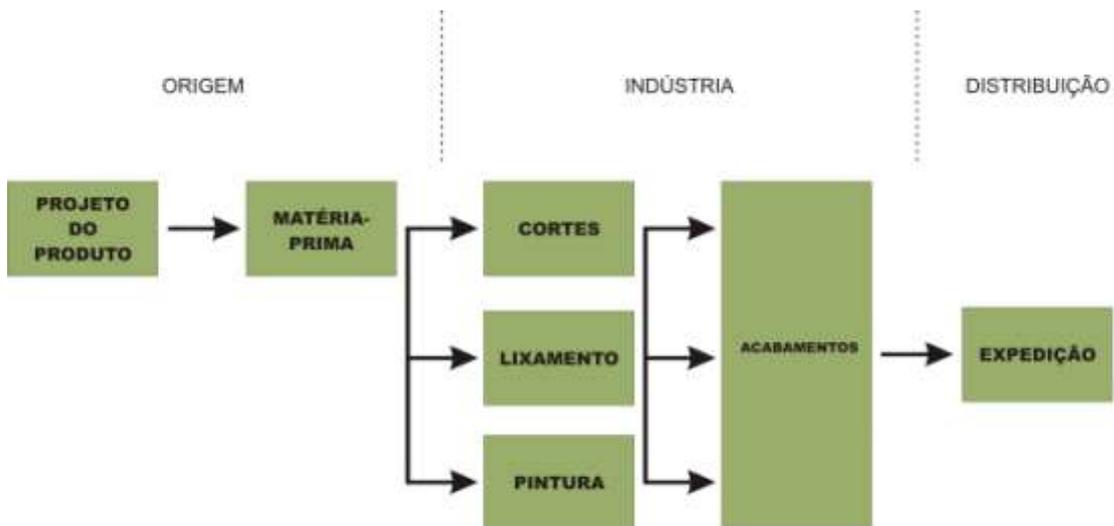


Figura 3.27 – Fluxograma do processo de produção de móveis

Neste estudo, foram utilizadas metodologias de análise específicas para o ramo de trabalho, dentro dos seguintes temas: otimização do sistema de ventilação local exaustora e melhoria no sistema de tratamento das emissões atmosféricas. Para estes temas buscou-se diagnosticar e avaliar as metodologias viáveis a serem aplicadas.

3.11 METODOLOGIA PARA SELEÇÃO DOS CAPTORES

O termo captore refere-se aos equipamentos que representam os pontos de entrada dos gases e particulados no sistema de ventilação local exaustora. Um captor estará completamente dimensionado quando determinarmos: sua forma e suas dimensões, sua posição relativa à fonte de poluentes, vazão a ser exaurida para captura completa dos poluentes, energia necessária para movimentar os gases exauridos para dentro dele. (MESQUITA et al, 1988).

A classificação de todos os pontos de entrada do sistema de exaustão em estudo é de “captor-receptor” (Figura 3.28) que, conforme Mesquita (1988), é aquele colocado estrategicamente de modo a “receber” o fluxo de poluentes emitidos pela operação poluidora, podendo ter variadas formas, para melhor captar os poluentes sem interferir na operação industrial.

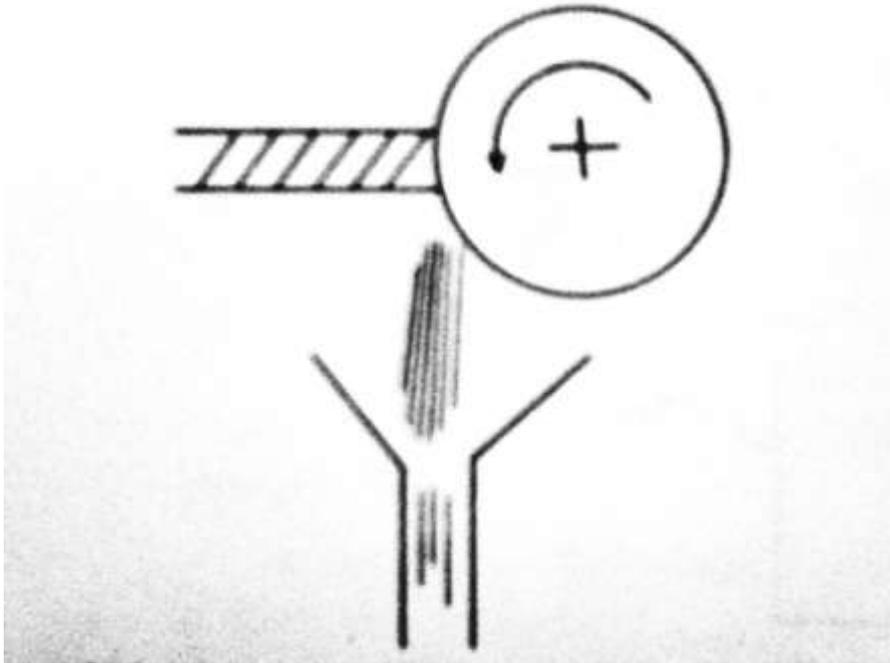


Figura 3.28 – Captor-receptor

Fonte: Mesquita et al (1988)

3.12 ESTIMATIVA DA VELOCIDADE NAS TUBULAÇÕES

De acordo com Lisboa (2010), o transporte correto dos poluentes pelo sistema depende da velocidade no interior da tubulação. A velocidade varia de acordo com a densidade e a granulometria das partículas. Ainda conforme Lisboa (2010), para partículas de densidade média, como os pós de madeira, a velocidade mínima utilizada para o sistema é de, aproximadamente, 15 a 20 m.s^{-1} .

Para este estudo a velocidade padrão adotada foi $17,78 \text{ m.s}^{-1}$, pois é a conversão exata de 3500 pés por minuto, velocidade esta encontrada na literatura.

3.13 CÁLCULO DA VAZÃO DO AR NO INTERIOR DAS TUBULAÇÕES

Inicialmente, verificou-se todo sistema de ventilação local exaustora, interior e exterior, instalado atualmente na indústria moveleira. A partir das medições de

3.14 CÁLCULO DA PERDA DE CARGA NAS TUBULAÇÕES

Sempre que um fluido se desloca no interior de uma tubulação ocorre atrito deste fluido com as paredes internas desta tubulação. Este fenômeno faz com que a pressão que existe no interior da tubulação vá diminuindo gradativamente à medida com que o fluido se desloque. Esta diminuição da pressão é conhecida como “Perda de Carga (ΔP)” (MESQUITA et al, 1981). Para o cálculo da perda de carga utilizou-se a seguinte metodologia:

Q^* = vazão no trecho, em $m^3.s^{-1}$

V^* = velocidade no trecho, em $m.s^{-1}$

d = Diâmetro do duto com valor arredondado, em polegadas (in)

Δp = Perda de carga, em pol H_2O /100ft

Para obter o valor de Δp , verifica-se a figura 3.30, entrando com os valores de V e d , para obter a perda em pol. de H_2O /100ft, que logo é convertido em pol. de H_2O /100m.

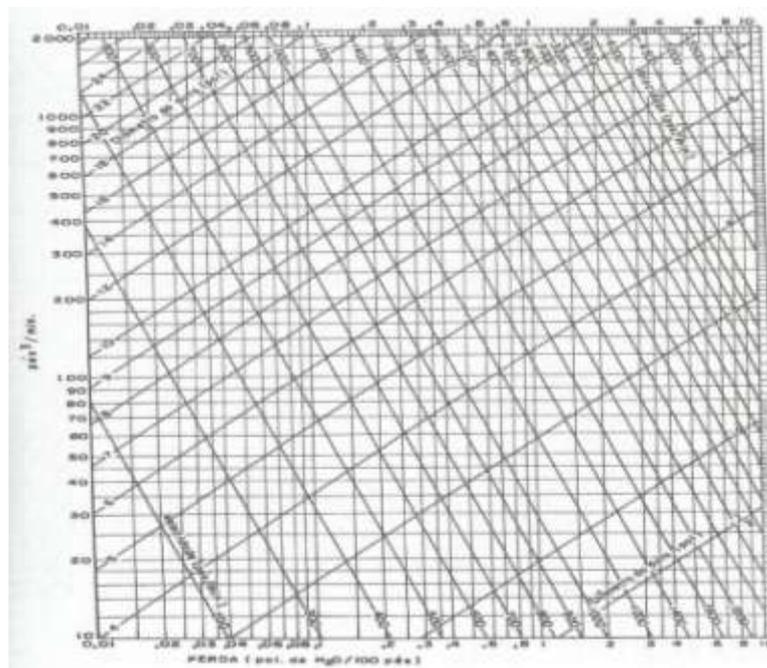


Figura 3.30 - Perda de Carga em dutos retos circulares.

Fonte: Macintyre, (1990)

Para finalizar o cálculo da perda de carga no trecho, é necessário saber também:

$L(\text{trecho})$: Comprimento real do trecho em metros

$L(\text{eq})$: Comprimento equivalente do trecho em metros (quando há curvas de 90, 45 e 30 graus, nos dutos).

$L(\text{total})$: Comprimento total em metros

Para obter o valor de $L(\text{eq})$, verifica-se a Figura 3.31.

Diâmetro d	Curva de 90° R			
	pol.	$1,5 d$	$2,0 d$	$2,5 d$
3		5 ft	3 ft	3 ft
4		6	4	4
5		9	6	5
6		12	7	6
8		15	10	8
10		20	14	11
12		25	17	14
14		30	21	17
16		36	24	20
18		41	28	23
20		46	32	26
24		57	40	32
30		74	51	41
36		93	64	51
40		105	72	59
48		130	89	73

Diâmetro d (polegada)	Ângulo de entrada	
	30°	45°
3	2 ft	3 ft
4	3	3
5	4	6
6	5	7
8	7	11
10	9	14
12	11	17
14	13	21
16	16	25
18	18	28
20	20	32

Válido para o raso secundário do duto (ver Fig. 8.13)

Para curvas de 90° ... 0,67 = perda correspondente a 90°
 45° ... 0,50 = perda correspondente a 90°
 30° ... 0,33 = perda correspondente a 90°

Figura 3.31 – Comprimentos equivalentes para curvas expressos em pés, de duto retilíneo de igual diâmetro.

Fonte: Macintyre, (1990)

Para obter o valor de $L(\text{total})$, utiliza-se a equação 02:

$$L(\text{total}) = L(\text{trecho}) + L(\text{eq}) \quad (02)$$

Então é calculada a perda de carga (Δp), no trecho, utilizando a equação 03:

$$\text{Perda de carga no trecho} = (\text{pol. H}_2\text{O}/100\text{m}) \cdot (L(\text{total})) / 100 \quad (03)$$

*em junções são somados os valores obtidos.

3.15 CÁLCULO DA POTÊNCIA DO VENTILADOR LOCAL EXAUSTOR

A partir dos resultados de vazão obtidos no sistema local exaustor, determinou-se a potência necessária do ventilador exaustor. Para este cálculo, foi utilizada a Equação 04.

$$Ncv = \frac{Q \cdot \Delta p}{3600 \cdot 75 \cdot \eta} \quad (04)$$

Na Equação 04

Q é a vazão em metros cúbicos por segundo ($m^3 \cdot s^{-1}$)

Δp é a perda de carga em quilograma de força por metro quadrado (kgf/m^2)

η é o rendimento em porcentagem (%)

3.16 DIMENSIONAMENTO DO CICLONE

Cálculo de dimensionamento de Ciclone a partir das medidas propostas por Lapple.

Primeiramente foi realizado o cálculo da área de entrada do ciclone (A), através da Equação 05:

$$A = Q/v \quad (05)$$

Na Equação 05

A é a área de entrada do gás

Q é a vazão

V é a velocidade

Obtendo o resultado da área de entrada do ciclone (A), foi realizado o cálculo da relação de (A) com diâmetro do ciclone (D), utilizando a Equação (06).

$$A = (\text{Altura de entrada}) \cdot (\text{Largura de entrada}) \quad (06)$$

A partir destes resultados é calculado o diâmetro do ciclone (D), onde foi utilizado a Equação 07.

$$D = \sqrt{A/0,125} \quad (07)$$

Encontrado o valor do diâmetro do ciclone (D), calcula-se todas as outras dimensões do ciclone estudado, a partir das relações utilizadas para ciclones do tipo Lapple. Conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Relações utilizadas para ciclones do tipo Lapple.

Dimensão	Relação
Altura de entrada	0,5 D
Largura de entrada	0,25 D
Profundidade do duto de saída	0,625 D
Diâmetro do duto de saída	0,5 D
Altura do corpo cilíndrico	2 D
Altura total	4 D
Diâmetro do duto de saída de pó	0,25 D

Fonte: Adaptado de Lisboa et al. (2007).

3.16.1 Densidade e granulometria das partículas coletadas pelo ciclone

A determinação da Densidade e da Granulometria dos resíduos coletados pelo ciclone foram realizadas nos próprios laboratórios da Universidade, com uma amostra coletada diretamente do depósito do ciclone.

O procedimento adotado para a determinação da densidade foi:

- Pesar uma proveta de 25 mL e tarar a balança;
- Completar até o limite dos 25 mL com a amostra, observando sempre para não deixar espaços vazios no interior da proveta;
- Pesar a proveta novamente e anotar o resultado;
- Repetir o procedimento três vezes.

Utilizando a Equação 08, foi realizado o cálculo da média dos três pesos obtidos (M).

$$M = (P1+P2+P3) / 3 \quad (08)$$

Na equação 08, P1, P2 e P3 são os três pesos obtidos, em gramas.

Após o cálculo da média calcula-se o desvio padrão a partir da Equação 09:

$$[(P1 - M)^2 * (P2 - M)^2 * (P3 - M)^2 / (N - 1)]^{1/2} \quad (09)$$

Após obter-se o valor da Média, passamos então para o cálculo da densidade, sendo essa, realizada através da Equação 10.

$$\rho = \bar{M} / V \quad (10)$$

Na equação 09

\bar{M} é a média de P1, P2 e P3 em gramas;

V é o volume da proveta utilizada em (mL).

Para obter-se a granulometria da amostra deve ser seguido tal processo:

- Pesar cada peneira separadamente,
- Coloca-se 50 g da amostra nas peneiras, após isto, inserir as peneiras no agitador por 15 min.
- Terminado o processo de agitação pesa-se a amostra presente em cada peneira,
- Desconta-se o peso após a separação da amostra pelo peso da peneira para obter o peso da amostra presente em cada peneira,
- Para se chegar à fração retida em cada peneira, deve ser realizado o seguinte processo: Tendo o peso retido em cada peneira após a separação da amostra divide-se este número pelo peso da amostra bruta e multiplica-se

por 100 para obter-se a porcentagem de cada granulometria na amostra, para isto é utilizado a Equação 11.

$$(P/A)*100 \quad (11)$$

Onde:

P = peso retido em cada peneira, em g.

A= peso da amostra bruta, em g.

3.16.2 Determinação da Eficiência

A eficiência de ciclones é muitas vezes caracterizada pelo seu "diâmetro crítico" ou pelo seu "diâmetro de corte". O diâmetro crítico refere-se ao diâmetro da partícula que o ciclone coleta com 100% de eficiência. Similarmente, o diâmetro de corte refere-se ao diâmetro da partícula coletado com 50% de eficiência. (LISBOA, 2007 apud CETESB, 1990). Para encontrar o Diâmetro de corte (D_{50}), É utilizada a Equação 12 mostrada a seguir.

$$D_{50} = \sqrt{\frac{9*\mu g*B}{2*\pi*Vi*\rho*Nv}} \quad (12)$$

Onde:

D_{50} = Diâmetro de corte .

μg =Viscosidade dos gases.

B = Largura da entrada.

V_i = Velocidade Inicial.

ρ = Densidade da partícula.

N_v = Número de voltas do gás no interior do ciclone.

3.16.3 Eficiência de coleta (N_t)

Para obter-se a eficiência total de coleta, deve-se calcular primeiramente a Eficiência fracionada (N_i). Para se chegar à eficiência fracionada de coleta deve ser utilizada a Equação 13.

$$N_i = \frac{1}{1 + \left(\frac{D_{50}}{D_i}\right)^2} \quad (13)$$

Onde:

N_i = Eficiência de coleta granulométrica

D_i = Diâmetro médio da malha da peneira

Depois de calculada a eficiência de coleta granulométrica para cada diâmetro médio utilizado, deve multiplicar-se o (N_i) pela fração mássica da amostra estudada, obtendo assim a eficiência fracionada a cada diâmetro médio. Logo após são somados todos os resultados para obter a Eficiência de Coleta Total (N_t).

4 RESULTADOS OBTIDOS

4.1 RESULTADOS DAS VAZÕES DE AR NOS CAPTORES

A Tabela 4 contém os valores das vazões, em cada captor, para o sistema local exaustor apresentado na Figura 3.29. Todos os cálculos estão apresentados no Apêndice A.

Tabela 4 – Vazão de entrada nos captores do sistema local exaustor

Captor	Velocidade do ar na entrada do captor (m.s ⁻¹)	Área do captor (m ²)	Vazão na entrada do captor (m ³ .s ⁻¹)
1	17,78	0,00785	0,140
2	17,78	0,00785	0,140
3	17,78	0,00785	0,140
4	17,78	0,03140	0,560
5	17,78	0,00785	0,140
6	17,78	0,01770	0,315
7	17,78	0,01770	0,315
8	17,78	0,00785	0,140
9	17,78	0,01770	0,315
10	17,78	0,00785	0,140
Vazão total final			2,3

4.2 RESULTADOS DAS PERDAS DE CARGA NOS TRECHOS DO SISTEMA

Determinando-se a vazão total do sistema (Tabela 4), foram realizados os cálculos da perda de carga por trecho de tubulação do sistema local exaustor. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5, com os valores da vazão, velocidade e do diâmetro para cada um dos trechos dos dutos. Todos os cálculos estão apresentados no Apêndice B.

Tabela 5 – Perda de Carga nos trechos do sistema local exaustor.

Trecho	Vazão (m³/s)	Velocidade (m/s)	Δp (pol. H ₂ O/100m de duto)	Diâmetro (pol.)
e-m	0,140	17,78	0,9348	4" (adotado)
j-m	0,140	17,78	0,8364	4" (adotado)
m-p	0,280	15,86	0,5576	6" (adotado)
h-q	0,140	17,78	1,7548	4" (adotado)
g-q	0,315	17,78	0,5854	6" (adotado)
q-r	0,455	25,78	0,0984	6" (adotado)
i-o	0,315	17,78	0,6740	6" (adotado)
c-l	0,140	17,78	1,1152	4" (adotado)
d-n	0,590	17,78	0,4769	8" (adotado)
f-r	0,315	17,78	0,9003	6" (adotado)
a-k	0,140	17,78	0,8692	4" (adotado)
b-k	0,140	17,78	0,8692	4" (adotado)
k-l	0,280	15,86	0,5781	6" (adotado)
l-n	0,420	23,80	0,6232	6" (adotado)
n-o	1,010	14,29	0,0472	12" (adotado)
o-p	1,325	18,75	0,0747	12" (adotado)
p-r	1,605	12,78	0,0229	16" (adotado)
r-s	2,375	11,89	0,0367	20" (adotado)

A perda de carga total do sistema de exaustão local foi de 10,15 pol H₂O.

4.3 RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO DO VENTILADOR EXAUSTOR

De acordo com os valores de vazão e perda de carga do sistema local exaustor, pôde-se determinar a potência do ventilador exaustor.

- Total de perdas (Δp): 10,15 pol H₂O = 257,81 mm H₂O.
- Energia de pressão a ser fornecida pelo ventilador: $\Delta p_{\text{total}} = 257,81 \text{ kgf.m}^2$
- A variação de energia cinética entre entrada e saída do ventilador = 0
- Vazão total (Q): 8.550 m³/h
- Rendimento total de 65%: $\eta=0,65$

$$N_{cv} = 12,25 \text{ cv}$$

Adotou-se um ventilador centrífugo com motor de 13 cv. Todos os cálculos estão apresentados no Apêndice C.

4.4 RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO CICLONE

Os resultados obtidos através dos cálculos do dimensionamento do ciclone a ser utilizado na indústria foram descritos na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados do ciclone dimensionado.

Partes	Dimensões (m)
Diâmetro	1,020
Altura de entrada	0,510
Largura de entrada	0,255
Profundidade do duto de saída	0,637
Diâmetro do duto de saída	0,510
Altura do corpo cilíndrico	2,040
Altura total	4,080
Diâmetro do duto de saída de pó	0,255

Com base na Figura 4.1, pode-se visualizar o exato local das partes do ciclone dimensionado, que estão identificadas na Tabela 7.

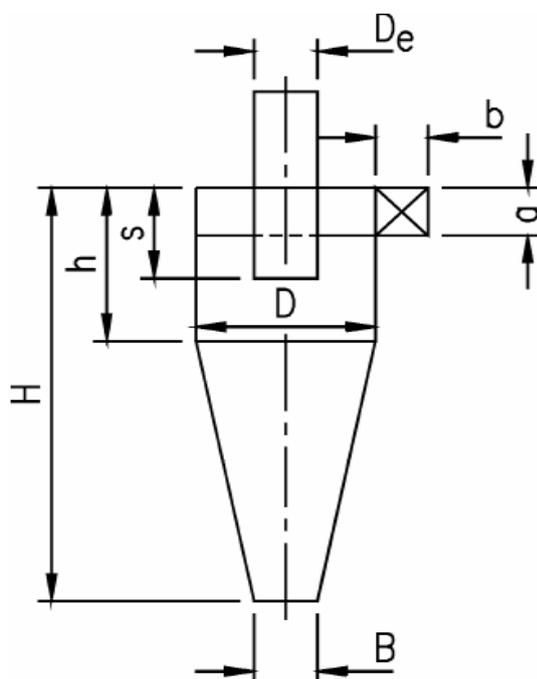


Figura 4.1 – Principais dimensões de um ciclone.

Fonte: Lora (2000).

Tabela 7 – Identificação das partes com a Figura 4.1.

Partes	Representação na Figura 4.1
Diâmetro do ciclone	D
Altura de entrada	a
Largura de entrada	b
Profundidade do duto de saída	s
Diâmetro do duto de saída	De
Altura do corpo cilíndrico	h
Altura total	H
Diâmetro do duto de saída de pó	B

4.4.1 Resultados da Densidade das partículas

Os pesos obtidos através do procedimento para obtenção do valor da densidade são demonstrados abaixo na Tabela 8.

Tabela 8 – Pesos, médio e desvio padrão da amostra.

P1 (g)	P2 (g)	P3 (g)	Média (g)	Desvio Padrão (g)
7,1295	6,7526	6,0003	6,6274	0,575

Densidade obtida através da Média:

$$\rho = 0,2650 \text{ g/mL}$$

4.4.2 Resultados da Granulometria das partículas

Os valores obtidos através do cálculo da granulometria estão descritos na Tabela 9.

Tabela 9 - Peneiras, diâmetro, pesos e porcentagem obtida no ensaio de granulometria.

Número da Peneira (mesh)	Diâmetro médio (mm)	Peso após separação da amostra (g)	Fração retida em cada peneira (%)
12	1,397	7,58 g	15,50
16	1,194	2,27 g	4,54
20	0,912	0,61 g	1,22
60	0,5395	14,68 g	29,04
Fundo	< 0,246	24,85 g	49,70

4.4.3 Resultados da Determinação da Eficiência

Calculando-se o Diâmetro de corte (D_{50}) conforme a equação 12, obtém-se o resultado descrito a seguir.

$$D_{50} = 5,79 * 10^{-6} \text{ m}$$

Para melhor entendimento o resultado final foi convertido para milímetros (mm).

$$D_{50} = 5,79 \mu\text{m} = 5,79 \cdot 10^{-3} \text{ mm} = 0,00579 \text{ mm}$$

4.4.4 Resultados da Eficiência de Coleta

A tabela 10 contém os resultados obtidos através dos cálculos da Eficiência fracionada (N_i).

Tabela 10 – Eficiência de coleta granulométrica por diâmetro médio de partícula retida e sua fração mássica.

Diâmetro médio Di(mm)	Fração mássica (Fr) (%)	Eficiência de coleta granulométrica (Ni)
1,397	15,50	0,9999828
1,194	4,54	0,9999764
0,912	1,22	0,9999596
0,5395	29,04	0,9998848
0,246	49,70	0,9994463
TOTAL	100 %	

Os resultados obtidos após a multiplicação do (*Ni*) pela fração mássica são mostrados na Tabela 11.

Tabela 11 – Produto entre Ni e Fr, em relação ao diâmetro médio das partículas retidas nas peneiras.

Diâmetro médio Di (mm)	Fração mássica (Fr) (%)	Eficiência de coleta granulométrica (Ni)	Produto entre Ni e fração mássica (Ni*Fr)
1,397	15,50	0,9999828	15,4997334
1,194	4,54	0,9999764	4,539892856
0,912	1,22	0,9999596	1,219950712
0,5395	29,04	0,9998848	29,03665459
0,246	49,70	0,9994463	49,67248111
TOTAL	100 %	TOTAL	99,97

Através dos resultados obtidos, a eficiência de coleta total é igual a 99,97%. Todos os cálculos estão apresentados no Apêndice D.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Constatou-se que ao passar do tempo realizaram-se diversas melhorias visando à diminuição das emissões de material particulado, durante o processamento de madeira, visando a total captura das emissões de particulados do sistema e a condução até o tratamento por meio de um coletor ciclone. Contudo a empresa apresentou considerável crescimento, o que tornou o sistema obsoleto e com reduzida eficiência, fazendo com que o material particulado não tivesse o destino correto em sua grande parte, sendo isto, resultante de algumas partes do sistema que estavam danificadas ou inoperantes e pelo fato das últimas máquinas incluídas na linha de produção não estar interligadas ao sistema de exaustão.

5.1 PROPOSTAS DE MELHORIA

Para que o sistema de ventilação exaustora da indústria funcione adequadamente propõem-se, baseado nos resultados mostrados no Capítulo 4, os seguintes itens para a melhoria da qualidade do ar interno desta indústria:

- Todas as máquinas devem ser ligadas as tubulações de coleta (como demonstrado na figura 3.29), tanto as que foram recém adquiridas quanto as antigas que foram desligadas dos canos por algum motivo adverso, fazendo assim com que todos os resíduos gerados por elas tenham o destino correto. Para que todos os equipamentos geradores de material particulado estejam inseridos no sistema de ventilação local exaustora de maneira satisfatória, deve-se dar atenção aos captores do material, cada máquina deve ter o captor mais adequado a sua geração de resíduos, como exemplificado nas figuras 5.1 e 5.2.

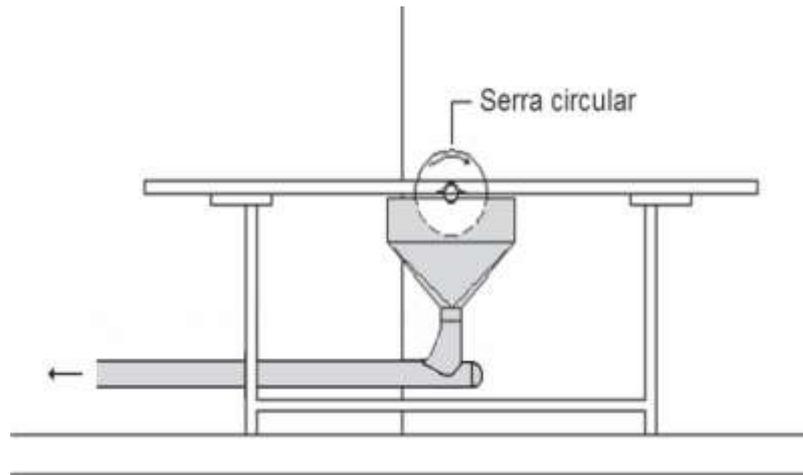


Figura 5.1 - Esquema do captor para uma serra circular.

Fonte: Schirmer *et al*, 2008.

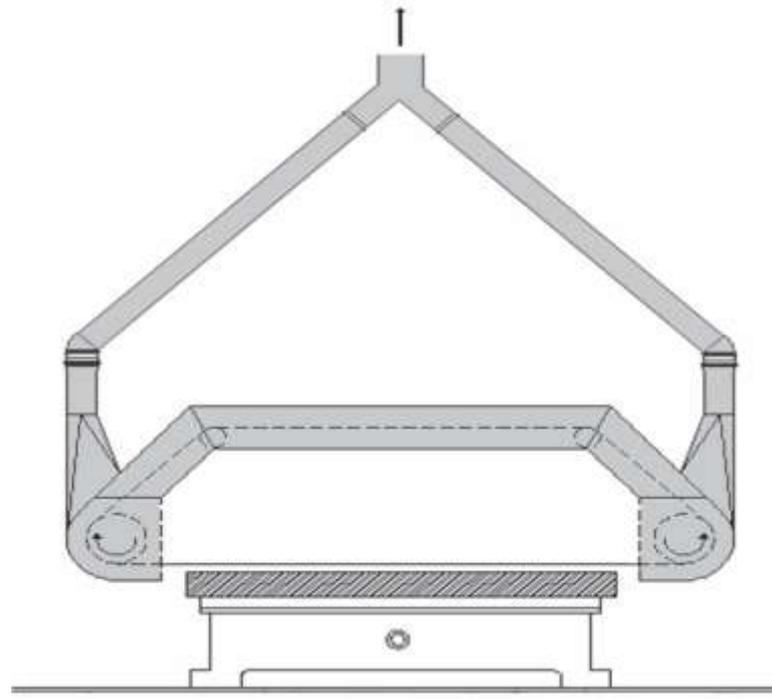


Figura 5.2 – Esquema do captor para uma lixadeira.

Fonte: Schirmer *et al*, 2008.

- O ciclone deve ser substituído por um de maiores dimensões e maior capacidade como representado no item 4.4 (tabela 6).
- O ventilador centrífugo do sistema de coleta deve ter 13 cavalos de potência para que todo o sistema tenha a capacidade de coletar todos os resíduos gerados pela produção (item 4.3).

A indústria seguindo tais propostas terá uma significativa melhora nos parâmetros de qualidade do ar interno, baseando-se nos cálculos anteriormente demonstrados.

5.2 RECOMENDAÇÕES

De acordo com as verificações *in loco*, percebeu-se também a necessidade de modificações em algumas áreas distintas das instalações para um complemento da manutenção da qualidade do ar, estas modificações estão recomendadas conforme abaixo:

- Considerando que o empreendimento realiza o acabamento final de seus produtos, e que as emissões provenientes processo têm potencial poluidor mais elevado, sugere-se um sistema individualizado, para assim evitar que os demais resíduos se misturem.
- Conforme representado na figura 3.26, as janelas existentes no setor produtivo devem ficar abertas durante a operação das máquinas, para que ocorra maior ventilação geral diluidora, melhorando assim ainda mais o ambiente de trabalho.
- Recomenda-se o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) para todos os funcionários, como máscaras, luvas, sapatos e protetores auriculares, evitando assim qualquer dano a saúde dos mesmos.
- Evitar ao máximo o acúmulo de resíduos sólidos ao redor dos equipamentos, uma medida recomendada seria o recolhimento destes, logo após a utilização, para assim evitar qualquer incidente envolvendo estes resíduos além de liberar espaço físico, facilitando assim o manuseio de operação destes equipamentos.

6 CONCLUSÕES

Tendo em vista a situação da indústria, conclui-se que será ambientalmente viável um novo sistema de ventilação local exaustora, redimensionando o sistema já existente nas instalações, o que irá também diminuir de maneira muito significativa os custos do procedimento.

O ciclone presente na indústria leva a crer que na época de sua implantação no processo suportaria muito bem a carga de resíduos particulados gerados pela produção de moveis. Mas com o crescimento da produtividade da empresa acabou ficando sobrecarregado, fazendo assim com que uma parte dos particulados gerados, fosse liberada no ar, agravado ainda mais pela falta de manutenção da tubulação que em algumas máquinas foi retirada. Causando assim um mal funcionamento do sistema de coleta.

O sistema proposto terá uma alta eficiência, em torno de 99,97%, isto ocorre devido à densidade e granulometria do material particulado que por ele deve ser recolhido (representado no item 4) fazem com que ele seja de fácil remoção pelo ciclone.

A empresa, utilizando-se desta proposta de redimensionamento do sistema de coleta de particulados estará melhorando significativamente a qualidade do ar respirado por todos que frequentam as instalações (como funcionários, clientes, fornecedores, etc.), fazendo assim com que diminua a incidência de varias doenças respiratórias que podem ocorrer por consequência da grande quantidade de resíduos atmosféricos. Além de corroborar para um ambiente melhor e mais saudável nas cercanias da indústria.

O novo sistema de ventilação local exaustora proposto, poderá ser realizado sem grandes custos financeiros, tendo em vista que a grande parte de sistema poderá ser reutilizada além da possibilidade de venda do material particulado retido por ele, fazendo assim com que em algum espaço de tem o investimento seja totalmente pago por ele próprio trazendo entre outros o beneficio financeiro para a organização.

Todos os resultados, propostas e cálculos demonstrados neste projeto são resultados de muita pesquisa na literatura especifica deste tema e poderão ser utilizados por qualquer interessado na melhoria da qualidade do ar interno de

indústrias de maneira possível e viável tanto para pequenas quanto para grandes indústrias do ramo moveleiro.

REFERÊNCIAS

- BASTO, J. E. **Qualidade do Ar Interno**. Santa Catarina, 2007. Disponível em: http://www.anest.org.br/noticias/CURSOS_PRE_CONGRESSO/QUALIDADE_AR/Apostila_de_Qualidade_do_Ar_Interno_ITAJAi.pdf. Acesso em: 29 de março de 2013.
- CIPOLATO, C. A. **Dimensionamento, construção e análise de desempenho de ciclone para otimização da separação granulométrica de partículas em fábrica de tintas em pó**. Dissertação (mestrado) - Universidade de Ribeirão Preto, UNAERP, Tecnologia ambiental. Ribeirão Preto, 2011. Disponível em: http://www.unaerp.br/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=1115&temid=1506. Acesso em: 03 Abril 2013.
- GIODA, A.; GIODA, F.. A influência da qualidade do ar nas doenças respiratórias. **Revista Saúde e Ambiente**, América do Norte, v.7, n.1, p. 15-16, 2009. Disponível em: <http://periodicos.univille.br/index.php/RSA/article/viewFile/81/127>. Acesso em 29 de Março de 2013.
- LISBOA, H. de M. **Controle da poluição atmosférica, Capítulo 6 – Ventilação Industrial**. Outubro 2007. 63 f.
- LORA, Electo Silva. **Controle da Poluição do Ar na Indústria Açucareira**, STAB 1, Itajubá, Abril, 2000. Disponível em: <http://www.nest.unifei.edu.br/portugues/pags/downloads/files/STAB-1.pdf>. Acesso em: 01 Abril de 2013.
- LORA, Electo Silva. **Controle da Poluição do Ar na Indústria Açucareira**, STAB 2, Itajubá, Abril, 2000. Disponível em: <http://www.nest.unifei.edu.br/portugues/pags/downloads/files/STAB-2.pdf>. Acesso em: 01 Abril de 2013.
- MASSARANI, G. **Fluidodinâmica em sistemas particulados**. 2ª edição, Rio de Janeiro, E-Papers Serviços Editoriais, 152 p., 2002. Disponível em: http://books.google.com.br/books?id=Y8nG-z6MMAIC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 03 Abril 2013.
- MESQUITA, A. L. S.; GUIMARÃES, F. A.; NEFUSSI, N. **Engenharia de ventilação industrial**. 1ª edição, 2ª reimpressão, Editora CETESB, São Paulo, 1988.
- NAHUZ, M. A. R. **Resíduos da Indústria Moveleira. III MADETEC - III Seminário de Produtos Sólidos de Madeira de Eucalipto e Tecnologias Emergentes para a Indústria Moveleira**, 2006. Disponível em: <http://www.docstoc.com/docs/133512200/RESIDUOS-DA-INDUSTRIA-MOVELEIRA>. Acesso em 29 de Março de 2013.
- NETO O. G. Silva, et. al. Filtração De Gás Em Filtro De Manga: Estudo Da Porosidade. **Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas e da Terra**, Campos do Jordão, Vol. 21, 187-195, 2002 Suplemento. Disponível em:

<<http://www.ufrj.br/editora/RCET/suplemento/coury%20i.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2013.

PAIVA, J. J. S. **Captura de Poeiras Finas com Ciclones de Recirculação Electrostática - Conceptualização, Modelização e Validação Experimental**. 2010. 337 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010. Disponível em: <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/57565/1/000143235.pdf>. Acesso em: 29 de março de 2013.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA. **Resolução nº 54, 22 de dezembro de 2006**. Define critérios para o controle da qualidade do ar. Disponível em: <http://www.meioambiente.pr.gov.br>>. Acesso em 29 de março de 2013.

PROTI, R. S. C. **Estudo do material particulado atmosférico proveniente da extração e manufatura de pedra-sabão nos municípios de Ouro Preto e Mariana – MG**. 2010. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais do Departamento de Geologia da Escola Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, Ouro Preto, 2010. Disponível em: http://www.tede.ufop.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=570. Acesso em: 29 março 2013.

QUADROS, M. E. **Qualidade do ar em ambientes externos hospitalares: parâmetros físico-químicos e microbiológicos**. 2008. 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/91068/251940.pdf?sequence=1>. Acesso em: 29 março de 2013.

QUADROS, M. E. LISBOA, Henrique de Melo. **Controle da Poluição Atmosférica, Capítulo 9 – Ar interno**. Agosto 2010. 37 f.

REIS JUNIOR, N. C. **Poluição do Ar: Módulo VI**. 1995, Vitória-ES. Disponível em: <http://www.inf.ufes.br/~neyval>. Acesso em: 29 Março de 2013.

SALVO, R. V. **Efeitos de modelos submalha em escoamentos em ciclones**. 2009. 183 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009. Disponível em: <http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/63/1/EfeitosModelosSubmalha.pdf>. Acesso em: 01 Abril de 2013.

SANTIN, A. Dossiê Técnico - Processos De Fabricação De Protótipos De Móveis. **SENAI-RS / Centro Tecnológico do Mobiliário**, 06 nov. 2007. Disponível em: <http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MjQy>. Acesso em: 28 mar. 2013.

SCHIRMER, W. N. et al. **Ventilação industrial: uma ferramenta na gestão de resíduos atmosféricos em indústrias moveleiras – Estudo de caso**. Revista de

Ciências Ambientais, Canoas, v. 2, n. 1, 2008. Disponível em: <
<http://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/article/viewFile/125/142> >.
Acesso em: 29 março 2013.

SILVA, M. K. **Estudo de Modelagem Numérica Tridimensional de Ciclones do Tipo Lapple para Separação Gás-Sólido**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Química) - Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em:
<http://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/89536/226538.pdf?sequence=1>
. Acesso em: 01 Abril de 2013.

MISSAL. Disponível em:
<http://www.missal.pr.gov.br/prefeitura/html/main.jsp?cat=mun&pg=localizacao>.
Acesso em: 25 mar. 2013.

APÊNDICE A

A.1 CÁLCULO DAS VAZÕES DOS CAPTORES

Área de um duto de 10 cm de diâmetro

$$A = 3,14 * 0,05^2$$

$$A = 3,14 * 0,0025$$

$$A = 0,00785 \text{ m}^2$$

Área de um duto de 15 cm de diâmetro

$$A = 3,14 * 0,075^2$$

$$A = 3,14 * 0,00562$$

$$A = 0,01765 \text{ m}^2$$

Área de um duto de 20 cm de diâmetro

$$A = 3,14 * 0,1^2$$

$$A = 3,14 * 0,01$$

$$A = 0,0314 \text{ m}^2$$

A.2 CÁLCULOS DAS VAZÕES DOS DUTOS

O Cálculo segue a partir da seguinte fórmula: $Q = V * A$

Duto 1:

$$Q_1 = V * A$$

$$Q_1 = 17,78 * A$$

$$Q_1 = 17,78 * 0,00785$$

$$Q_1 = 0,14 \text{ m}^3/\text{s}$$

Duto 2:

$$Q_2 = V \cdot A$$

$$Q_2 = 17,78 \cdot A$$

$$Q_2 = 17,78 \cdot 0,00785$$

$$Q_2 = 0,14 \text{ m}^3/\text{s}$$

Duto 3:

$$Q_3 = V \cdot A$$

$$Q_3 = 17,78 \cdot A$$

$$Q_3 = 17,78 \cdot 0,00785$$

$$Q_3 = 0,14 \text{ m}^3/\text{s}$$

Duto 4:

$$Q_4 = V \cdot A$$

$$Q_4 = 17,78 \cdot A$$

$$Q_4 = 17,78 \cdot 0,0314$$

$$Q_4 = 0,56 \text{ m}^3/\text{s}$$

Duto 5:

$$Q_5 = V \cdot A$$

$$Q_5 = 17,78 \cdot A$$

$$Q_5 = 17,78 \cdot 0,00785$$

$$Q_5 = 0,14 \text{ m}^3/\text{s}$$

Duto 6:

$$Q_6 = V \cdot A$$

$$Q_6 = 17,78 \cdot A$$

$$Q_6 = 17,78 \cdot 0,0177$$

$$Q_6 = 0,315 \text{ m}^3/\text{s}$$

Duto 7:

$$Q_7 = V \cdot A$$

$$Q_7 = 17,78 \cdot A$$

$$Q_7 = 17,78 \cdot 0,0177$$

$$Q_7 = 0,315 \text{ m}^3/\text{s}$$

Duto 8:

$$Q_8 = V \cdot A$$

$$Q_8 = 17,78 \cdot A$$

$$Q_8 = 17,78 \cdot 0,00785$$

$$Q_8 = 0,14 \text{ m}^3/\text{s}$$

Duto 9:

$$Q_9 = V \cdot A$$

$$Q_9 = 17,78 \cdot A$$

$$Q_9 = 17,78 \cdot 0,0177$$

$$Q_9 = 0,315 \text{ m}^3/\text{s}$$

Duto 10:

$$Q_{10} = V \cdot A$$

$$Q_{10} = 17,78 \cdot A$$

$$Q_{10} = 17,78 \cdot 0,00785$$

$$Q_{10} = 0,14 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vazão Total Q_t :

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10}$$

$$Q_t = 2,375 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_t = 142,5 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_t = 8550 \text{ m}^3/\text{h}$$

APÊNDICE B

B.1 CÁLCULO DAS PERDAS DE CARGA

- Perda de carga no trecho (e-m)

Vazão para este trecho (duto 10 cm de diâmetro):

$$Q_{e-m} = 0,14 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidade padrão para o sistema = 17,78 m/s = 3500 fpm

Convertendo o valor de 10 cm para polegadas, obtemos: 3,94"

Usaremos para este duto o valor arredondado de 4"

Verificando a Fig. 9.4, pag. 125 (MACINTYRE, 1990), obtemos o valor de:

5 pol H2O/100ft

$$\Delta p = \frac{5 \text{ pol H2O}}{100 \text{ ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ pol}}$$

$$\Delta p = \frac{5 \text{ pol H2O}}{100 \text{ ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{3,28 \text{ ft}}{1 \text{ m}}$$

$$\Delta p = 16,4 \text{ pol H2O/100m}$$

O comprimento real do trecho e-m, conforme a figura 3.29 é:

$$L_{e-m} = 2,50 + 1,40 = 3,90 \text{ m}$$

Verificando a tabela 9.7, pag. 145 (MACINTYRE, 1990), suponhamos curva $R=1,5*d$, vemos que o comprimento equivalente para curva com $d = 4''$ é de aproximadamente 6 pés = 1,80 metros

$$L_{eq} = 1,80 \text{ m}$$

O comprimento total:

$$L_t = L_{e-m} + L_{eq}$$

$$L_t = 3,90 + 1,80 = 5,70 \text{ m}$$

Logo a perda total neste trecho será:

$$\Delta p = 16,4 \text{ pol H2O} \text{ ---- } 100 \text{ m}$$

$$x \text{ ----- } 5,70 \text{ m}$$

$$\Delta p = 0,9348 \text{ pol H}_2\text{O}$$

- Perda de carga no trecho (j-m)

Vazão para este trecho (duto 10 cm de diâmetro):

$$Q_{j-m} = 0,14 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidade padrão para o sistema = 17,78 m/s = 3500 fpm

Convertendo o valor de 10 cm para polegadas, obtemos: 3,94"

Usaremos para este duto o valor arredondado de 4"

Verificando a Fig. 9.4, pag. 125 (MACINTYRE, 1990), obtemos o valor de:

5 pol H₂O/100ft

$$\Delta p = \frac{5 \text{ pol H}_2\text{O}}{100 \text{ ft}} \quad \left| \quad \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ pol}} \right.$$

$$\Delta p = \frac{5 \text{ pol H}_2\text{O}}{100 \text{ ft}} \quad \left| \quad \frac{3,28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right.$$

$$\Delta p = 16,4 \text{ pol H}_2\text{O}/100\text{m}$$

O comprimento real do trecho j-m é:

$$L_{j-m} = 2,50 + 0,80 = 3,30 \text{ m}$$

Verificando a tabela 9.7, pag. 145 (MACINTYRE, 1990), suponhamos curva $R=1,5*d$, vemos que o comprimento equivalente para curva com $d = 4''$ é de aproximadamente 6 pés = 1,80 metros

$$L_{eq} = 1,80 \text{ m}$$

O comprimento total:

$$L_t = L_{j-m} + L_{eq}$$

$$L_t = 3,30 + 1,80 = 5,10 \text{ m}$$

Logo a perda total neste trecho será:

$$\Delta p = 16,4 \text{ pol H}_2\text{O} \text{ ---- } 100 \text{ m}$$

$$x \text{ ----- } 5,10 \text{ m}$$

$$\Delta p = 0,8364 \text{ pol H}_2\text{O}$$

- Perda de carga no trecho (m-p)

Vazão para este trecho (duto 15 cm de diâmetro):

$$Q_{m-p} = Q_e + Q_j = 0,14 + 0,14 = 0,28 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidade:

$$Q_{m-p} = v \cdot a$$

$$0,28 = v \cdot 0,01765$$

$$V = 0,28/0,01765$$

$$V = 15,86 \text{ m/s} = 3122 \text{ fpm}$$

Convertendo o valor de 15 cm para polegadas, obtemos: 5,90"

Usaremos para este duto o valor arredondado de 6"

Verificando a Fig. 9.4, pag. 125 (MACINTYRE, 1990), obtemos o valor de:
2,5 pol H2O/100ft

$$\Delta p = \frac{2,5 \text{ pol H2O}}{100 \text{ Ft}} \quad \left| \quad \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ pol}} \right.$$

$$\Delta p = \frac{2,5 \text{ pol H2O}}{100 \text{ Ft}} \quad \left| \quad \frac{3,28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right.$$

$$\Delta p = 8,2 \text{ pol H2O/100m}$$

O comprimento real do trecho m-p é:

$$L_{m-p} = 6,80$$

Logo a perda total neste trecho será:

$$\Delta p = 8,2 \text{ pol H2O} \text{ ---- } 100 \text{ m}$$

$$x \text{ ----- } 6,80 \text{ m}$$

$$\Delta p = 0,5576 \text{ pol H2O}$$

- Perda de carga no trecho Trecho (h-q)

Vazão para este trecho (duto 10 cm de diâmetro):

$$Q_{h-q} = 0,14 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidade padrão para o sistema = 17,78 m/s = 3500 fpm

Convertendo o valor de 10 cm para polegadas, obtemos: 3,94"

Usaremos para este duto o valor arredondado de 4"

Verificando a Fig. 9.4, pag. 125 (MACINTYRE, 1990), obtemos o valor de:
5 pol H2O/100ft

$$\Delta p = \frac{5 \text{ pol H2O}}{100 \text{ ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ pol}}$$

$$\Delta p = \frac{5 \text{ pol H2O}}{100 \text{ ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{3,28 \text{ ft}}{1 \text{ m}}$$

$$\Delta p = 16,4 \text{ pol H2O/100m}$$

O comprimento real do trecho h-q é:

$$L_{h-q} = 2,50 + 6,40 = 8,90 \text{ m}$$

Verificando a tabela 9.7, pag. 145 (MACINTYRE, 1990), suponhamos curva $R=1,5*d$, vemos que o comprimento equivalente para curva com $d = 4''$ é de aproximadamente 6 pés = 1,80 metros

$$L_{eq} = 1,80 \text{ m}$$

O comprimento total:

$$L_t = L_{h-q} + L_{eq}$$

$$L_t = 8,90 + 1,80 = 10,70 \text{ m};$$

Logo a perda total neste trecho será:

$$\Delta p = 16,4 \text{ pol H2O} \text{ ---- } 100 \text{ m}$$

$$x \text{ ----- } 10,70 \text{ m}$$

$$\Delta p = 1,7597 \text{ pol H2O}$$

- Perda de carga no trecho (g-q)

Vazão para este trecho (duto 15 cm de diâmetro):

$$Q_{g-q} = 0,315 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidade padrão para o sistema = 17,78 m/s = 3500 fpm

Convertendo o valor de 15 cm para polegadas, obtemos: 5,90"

Utiliza-se para este duto o valor arredondado de 6''

Verificando a Fig. 9.4, pag. 125 (MACINTYRE, 1990), obtem-se o valor de:

3 pol H2O/100ft

$$\Delta p = \frac{3 \text{ pol H2O}}{100 \text{ ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ pol}}$$

$$\Delta p = \frac{3 \text{ pol H2O}}{100 \text{ ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{3,28 \text{ ft}}{1 \text{ m}}$$

$$\Delta p = 9,84 \text{ pol H2O/100m}$$

O comprimento real do trecho g-q é:

$$L_{g-q} = 0,80$$

Verificando a tabela 9.7, pag. 145 (MACINTYRE, 1990), supondo uma curva de $R=1,5*d$, observa-se que o comprimento equivalente para curva com $d = 6''$ é de aproximadamente 12 pés, ou seja, 3,65 metros.

Ainda na tabela 9.7, verifica-se que o comprimento equivalente para curva com $d = 6''$ em ramo secundário com ângulo de entrada de 30° é de aproximadamente 5 pés = 1,50 metros

$$L_{eq} = 3,65 + 1,50 \text{ m} = 5,15 \text{ m}$$

O comprimento total:

$$L_t = L_{g-q} + L_{eq}$$

$$L_t = 0,80 + 5,15 = 5,95 \text{ m}$$

Logo a perda total neste trecho será:

$$\Delta p = 9,84 \text{ pol H2O} \text{ ---- } 100 \text{ m}$$

$$x \text{ ----- } 5,95 \text{ m}$$

$$\Delta p = 0,5854 \text{ pol H2O}$$

- Perda de carga no trecho (q-r)

Vazão para este trecho (duto 15 cm de diâmetro):

$$Q_{q-r} = Q_h + Q_g = 0,14 + 0,315 = 0,455 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidade:

$$Q_{q-r} = v \cdot a$$

$$0,455 = v \cdot 0,01765$$

$$V = 0,455/0,01765$$

$$V = 25,78 \text{ m/s} = 5075 \text{ fpm}$$

Convertendo o valor de 15 cm para polegadas, obtemos: 5,90"

Utiliza-se para este duto o valor arredondado de 6"

Verificando a Fig. 9.4, pag. 125 (MACINTYRE, 1990), obtem-se o valor de:
6 pol H2O/100ft

$$\Delta p = \frac{6 \text{ pol H2O}}{100 \text{ ft}} \left| \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ pol}} \right.$$

$$\Delta p = \frac{6 \text{ pol H2O}}{100 \text{ ft}} \left| \frac{3,28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right.$$

$$\Delta p = 19,68 \text{ pol H2O/100m}$$

O comprimento real do trecho q-r é:

$$L_{q-r} = 0,50$$

Logo a perda total neste trecho será:

$$\Delta p = 19,68 \text{ pol H2O} \text{ ---- } 100 \text{ m}$$

$$x \text{ ----- } 0,50 \text{ m}$$

$$\Delta p = 0,0984 \text{ pol H2O}$$

- Perda de carga no trecho (i-o)

Vazão para este trecho (duto 15 cm de diâmetro):

$$Q_{i-o} = 0,315 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidade padrão para o sistema = 17,78 m/s = 3500 fpm

Convertendo o valor de 15 cm para polegadas, obtemos: 5,90"

Utiliza-se para este duto o valor arredondado de 6"

Verificando a Fig. 9.4, pag. 125 (MACINTYRE, 1990), obtem-se o valor de:
3 pol H2O/100ft

$$\Delta p = \frac{3 \text{ pol H2O}}{100 \text{ Ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ pol}}$$

$$\Delta p = \frac{3 \text{ pol H2O}}{100 \text{ Ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{3,28 \text{ ft}}{1 \text{ m}}$$

$$\Delta p = 9,84 \text{ pol H2O/100m}$$

O comprimento real do trecho i-o é:

$$L_{i-o} = 3,20 \text{ m}$$

Verificando a tabela 9.7, pag. 145 (MACINTYRE, 1990), supondo uma curva de $R=1,5*d$, observa-se que o comprimento equivalente para curva com $d = 6''$ é de aproximadamente 12 pés = 3,65 metros

$$L_{eq} = 3,65 \text{ m}$$

O comprimento total:

$$L_t = L_{i-o} + L_{eq}$$

$$L_t = 3,20 + 3,65 = 6,85 \text{ m}$$

Logo a perda total neste trecho será:

$$\Delta p = 9,84 \text{ pol H2O} \text{ ---- } 100 \text{ m}$$

$$x \text{ ----- } 6,85 \text{ m}$$

$$\Delta p = 0,6740 \text{ pol H2O}$$

- Perda de carga no trecho (c-l)

Vazão para este trecho (duto 10 cm de diâmetro):

$$Q_{c-l} = 0,14 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidade padrão para o sistema = 17,78 m/s = 3500 fpm

Convertendo o valor de 10 cm para polegadas, obtem-se: 3,93"

Utiliza-se para este duto o valor arredondado de 4"

Verificando a Fig. 9.4, pag. 125 (MACINTYRE, 1990), obtem-se o valor de:

$$5 \text{ pol H2O/100ft}$$

$$\Delta p = \frac{5 \text{ pol H2O}}{100 \text{ Ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ pol}}$$

$$\Delta p = \frac{5 \text{ pol H2O}}{100 \text{ Ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{3,28 \text{ ft}}{1 \text{ m}}$$

$$\Delta p = 16,4 \text{ pol H2O/100m}$$

O comprimento real do trecho c-l é:

$$L_{c-l} = 5,00 \text{ m}$$

Verificando a tabela 9.7, pag. 145 (MACINTYRE, 1990), supondo uma curva $R=1,5*d$, observa-se que o comprimento equivalente para curva com $d = 4''$ é de aproximadamente 6 pés = 1,80 metros

$$L_{eq} = 1,80 \text{ m}$$

O comprimento total:

$$L_t = L_{c-l} + L_{eq}$$

$$L_t = 5,00 + 1,80 = 6,80 \text{ m}$$

Logo a perda total neste trecho será:

$$\Delta p = 16,4 \text{ pol H2O} \text{ ---- } 100 \text{ m}$$

$$x \text{ ----- } 6,80 \text{ m}$$

$$\Delta p = 1,1152 \text{ pol H2O}$$

- Perda de carga no trecho (d-n)

Vazão para este trecho (duto 20 cm de diâmetro):

$$Q_{d-n} = 0,59 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Velocidade padrão para o sistema} = 17,78 \text{ m/s} = 3500 \text{ fpm}$$

Convertendo o valor de 20 cm para polegadas, obtem-se: 7,87''

Utiliza-se para este duto o valor arredondado de 8''

Verificando a Fig. 9.4, pag. 125 (MACINTYRE, 1990), obtem-se o valor de:

$$2 \text{ pol H2O/100ft}$$

$$\Delta p = \frac{2 \text{ pol H2O}}{100 \text{ Ft}} \left| \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ pol}} \right.$$

$$\Delta p = \frac{2 \text{ pol H2O}}{100 \text{ Ft}} \left| \frac{3,28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right.$$

$$\Delta p = 6,56 \text{ pol H2O/100m}$$

O comprimento real do trecho d-n é:

$$L \text{ d-n} = 2,70$$

Verificando a tabela 9.7, pag. 145 (MACINTYRE, 1990), supondo uma curva $R=1,5*d$, observa-se que o comprimento equivalente para curva com $d = 8''$ é de aproximadamente 15 pés = 4,57 metros

$$L \text{ eq} = 4,57 \text{ m}$$

O comprimento total:

$$L \text{ t} = L \text{ d-n} + L \text{ eq}$$

$$L \text{ t} = 2,70 + 4,57 = 7,27 \text{ m}$$

Logo a perda total neste trecho será:

$$\Delta p = 6,56 \text{ pol H2O} \text{ ---- } 100 \text{ m}$$

$$x \text{ ----- } 7,27 \text{ m}$$

$$\Delta p = 0,4769 \text{ pol H2O}$$

- Perda de carga no trecho (f-r)

Vazão para este trecho (duto 15 cm de diâmetro):

$$Q_{f-r} = 0,315 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidade padrão para o sistema = 17,78 m/s = 3500 fpm

Convertendo o valor de 15 cm para polegadas, obtém-se: 5,90''

Utiliza-se para este duto o valor arredondado de 6''

Verificando a Fig. 9.4, pag. 125 (MACINTYRE, 1990), obtém-se o valor de:

$$3 \text{ pol H2O/100ft}$$

$$\Delta p = \frac{3 \text{ pol H2O}}{100 \text{ Ft}} \left| \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ pol}} \right.$$

$$\Delta p = \frac{3 \text{ pol H2O}}{100 \text{ Ft}} \left| \frac{3,28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right.$$

$$\Delta p = 9,84 \text{ pol H2O/100m}$$

O comprimento real do trecho f-r é:

$$L_{f-r} = 2,50 + 1,50 = 4,00 \text{ m}$$

Verificando a tabela 9.7, pag. 145 (MACINTYRE, 1990), supondo uma curva $R=1,5*d$, observa-se que o comprimento equivalente para curva com $d = 6''$ é de aproximadamente 12 pés = 3,65 metros

Ainda na tabela 9.7, verifica-se que o comprimento equivalente para curva com $d = 6''$ em ramo secundário com ângulo de entrada de 30° é de aproximadamente 5 pés = 1,50 metros

$$L_{eq} = 3,65 + 1,50 \text{ m} = 5,15 \text{ m}$$

O comprimento total:

$$L_t = L_{f-r} + L_{eq}$$

$$L_t = 4,00 + 5,15 = 9,15 \text{ m}$$

Logo a perda total neste trecho será:

$$\Delta p = 9,84 \text{ pol H2O} \text{ ---- } 100 \text{ m}$$

$$x \text{ ----- } 9,15 \text{ m}$$

$$\Delta p = 0,9003 \text{ pol H2O}$$

- Perda de carga no trecho (a-k)

Vazão para este trecho (duto 10 cm de diâmetro):

$$Q_{a-k} = 0,14 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidade padrão para o sistema = $17,78 \text{ m/s} = 3500 \text{ fpm}$

Convertendo o valor de 10 cm para polegadas, obtém-se: $3,93''$

Utiliza-se para este duto o valor arredondado de $4''$

Verificando a Fig. 9.4, pag. 125 (MACINTYRE, 1990), ob obtém-se o valor de:

5 pol H2O/100ft

$$\Delta p = \frac{5 \text{ pol H2O}}{100 \text{ Ft}} \left| \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ pol}} \right.$$

$$\Delta p = \frac{5 \text{ pol H2O}}{100 \text{ Ft}} \left| \frac{3,28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} \right.$$

$$\Delta p = 16,4 \text{ pol H2O/100m}$$

O comprimento real do trecho a-k é:

$$L_{a-k} = 1,00 + 2,50 = 3,50 \text{ m}$$

Verificando a tabela 9.7, pag. 145 (MACINTYRE, 1990), supondo uma curva $R=1,5*d$, observa-se que o comprimento equivalente para curva com $d = 4''$ é de aproximadamente 6 pés = 1,80 metros

$$L_{eq} = 1,80 \text{ m}$$

O comprimento total:

$$L_t = L_{a-k} + L_{eq}$$

$$L_t = 3,50 + 1,80 = 5,30 \text{ m}$$

Logo a perda total neste trecho será:

$$\Delta p = 16,4 \text{ pol H2O} \text{ ---- } 100 \text{ m}$$

$$x \text{ ----- } 5,30 \text{ m}$$

$$\Delta p = 0,8692 \text{ pol H2O}$$

- Perda de carga no trecho (b-k)

Vazão para este trecho (duto 10 cm de diâmetro):

$$Q_{b-k} = 0,14 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidade padrão para o sistema = 17,78 m/s = 3500 fpm

Convertendo o valor de 10 cm para polegadas, obtém-se: 3,93''

Utiliza-se para este duto o valor arredondado de 4''

Verificando a Fig. 9.4, pag. 125 (MACINTYRE, 1990), obtém-se o valor de:

5 pol H2O/100ft

$$\Delta p = \frac{5 \text{ pol H2O}}{100 \text{ Ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{1 \text{ Ft}}{12 \text{ Pol}}$$

$$\Delta p = \frac{5 \text{ pol H2O}}{100 \text{ Ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{3,28 \text{ Ft}}{1 \text{ M}}$$

$$\Delta p = 16,4 \text{ pol H2O/100m}$$

O comprimento real do trecho b-k é:

$$L_{b-k} = 1,00 + 2,50 = 3,50 \text{ m}$$

Verificando a tabela 9.7, pag. 145 (MACINTYRE, 1990), supondo uma curva $R=1,5*d$, observa-se que o comprimento equivalente para curva com $d = 4''$ é de aproximadamente 6 pés = 1,80 metros

$$L_{eq} = 1,80 \text{ m}$$

O comprimento total:

$$L_t = L_{b-k} + L_{eq}$$

$$L_t = 3,50 + 1,80 = 5,30 \text{ m}$$

Logo a perda total neste trecho será:

$$\Delta p = 16,4 \text{ pol H2O} \text{ ---- } 100 \text{ m}$$

$$x \text{ ----- } 5,30 \text{ m}$$

$$\Delta p = 0,8692 \text{ pol H2O}$$

- Perda de carga no trecho (k-l)

Vazão para este trecho (duto 15 cm de diâmetro):

$$Q_{k-l} = Q_a + Q_b = 0,14 + 0,14 = 0,28 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidade:

$$Q_{k-l} = v \cdot a$$

$$0,28 = v \cdot 0,01765$$

$$V = 0,28/0,01765$$

$$V = 15,86 \text{ m/s} = 3122 \text{ fpm}$$

Convertendo o valor de 15 cm para polegadas, obtém-se: 5,90''

Utiliza-se para este duto o valor arredondado de 6''

Verificando a Fig. 9.4, pag. 125 (MACINTYRE, 1990), obtém-se o valor de:
2,5 pol H2O/100ft

$$\Delta p = \frac{2,5 \text{ pol H2O}}{100 \text{ Ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ pol}}$$

$$\Delta p = \frac{2,5 \text{ pol H2O}}{100 \text{ Ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{3,28 \text{ ft}}{1 \text{ m}}$$

$$\Delta p = 8,2 \text{ pol H2O/100m}$$

O comprimento real do trecho k-l é:

$$L_{k-l} = 2,50 + 0,90 = 3,40 \text{ m}$$

Verificando a tabela 9.7, pag. 145 (MACINTYRE, 1990), supondo uma curva $R=1,5*d$, observa-se que o comprimento equivalente para curva com $d = 6''$ é de aproximadamente 12 pés = 3,65 metros

$$L_{eq} = 3,65 \text{ m}$$

O comprimento total:

$$L_t = L_{k-l} + L_{eq}$$

$$L_t = 3,40 + 3,65 = 7,05 \text{ m}$$

Logo a perda total neste trecho será:

$$\Delta p = 8,2 \text{ pol H2O} \text{ ---- } 100 \text{ m}$$

$$x \text{ ----- } 7,05 \text{ m}$$

$$\Delta p = 0,5781 \text{ pol H2O}$$

- Perda de carga no trecho (l-n)

Vazão para este trecho (duto 15 cm de diâmetro):

$$Q_{l-n} = Q_k + Q_c = 0,28 + 0,14 = 0,42 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidade:

$$0,42 = v \cdot 0,01765$$

$$V = 0,42/0,01765$$

$$V = 23,80 \text{ m/s} = 4685 \text{ fpm}$$

Convertendo o valor de 15 cm para polegadas, obtém-se: 5,90".

Utiliza-se para este duto o valor arredondado de 6”.

Verificando a Fig. 9.4, pag. 125 (MACINTYRE, 1990), obtém-se o valor de:

5 pol H2O/100ft

$$\Delta p = \frac{5 \text{ pol H2O}}{100 \text{ Ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ pol}}$$

$$\Delta p = \frac{5 \text{ pol H2O}}{100 \text{ Ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{3,28 \text{ ft}}{1 \text{ m}}$$

$$\Delta p = 16,4 \text{ pol H2O/100m}$$

O comprimento real do trecho l-n é:

$$L \text{ l-n} = 0,90 + 1,40 = 2,30 \text{ m}$$

Ainda na tabela 9.7, verificando que o comprimento equivalente para curva com $d = 6''$ em ramo secundário com ângulo de entrada de 30° é de aproximadamente 5 pés = 1,50 metros

$$L \text{ eq} = 1,50 \text{ m}$$

O comprimento total:

$$L \text{ t} = L \text{ l-n} + L \text{ eq}$$

$$L \text{ t} = 2,30 + 1,50 = 3,80 \text{ m}$$

Logo a perda total neste trecho será:

$$\Delta p = 16,4 \text{ pol H2O} \text{ ---- } 100 \text{ m}$$

$$x \text{ ----- } 3,80 \text{ m}$$

$$\Delta p = 0,6232 \text{ pol H2O}$$

- Perda de carga no trecho (n-o)

Vazão para este trecho (duto 30 cm de diâmetro):

$$Q_{n-o} = Q_d + Q_l = 0,59 + 0,42 = 1,01 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidade:

$$Q_{n-o} = v \cdot a$$

$$1,01 = v \cdot 0,07065$$

$$V = 1,01/0,07065$$

$$V = 14,29 \text{ m/s} = 2813 \text{ fpm}$$

Convertendo o valor de 30 cm para polegadas, obtém-se: 11,81”

Utiliza-se para este duto o valor arredondado de 12”

Verificando a Fig. 9.4, pag. 125 (MACINTYRE, 1990), obtém-se o valor de:
0,90 pol H2O/100ft

$$\Delta p = \frac{0,90 \text{ pol H2O}}{100 \text{ ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ pol}}$$

$$\Delta p = \frac{0,90 \text{ pol H2O}}{100 \text{ ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{3,28 \text{ ft}}{1 \text{ m}}$$

$$\Delta p = 2,95 \text{ pol H2O/100m}$$

O comprimento real do trecho n-o é:

$$L \text{ n-o} = 1,60$$

Logo a perda total neste trecho será:

$$\Delta p = 2,95 \text{ pol H2O} \text{ ---- } 100 \text{ m}$$

$$x \text{ ----- } 1,60 \text{ m}$$

$$\Delta p = 0,0472 \text{ pol H2O}$$

- Perda de carga no trecho (o-p)

Vazão para este trecho (duto 30 cm de diâmetro):

$$Q_{o-p} = Q_n + Q_i = 1,01 + 0,315 = 1,325 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidade:

$$Q_{o-p} = v \cdot a$$

$$1,325 = v \cdot 0,07065$$

$$V = 1,325/0,07065$$

$$V = 18,75 \text{ m/s} = 3691 \text{ fpm}$$

Convertendo o valor de 30 cm para polegadas, obtém-se: 11,81”

Utiliza-se para este duto o valor arredondado de 12”

Verificando a Fig. 9.4, pag. 125 (MACINTYRE, 1990), obtém-se o valor de:
1,9 pol H2O/100ft

$$\Delta p = \frac{1,9 \text{ pol H}_2\text{O}}{100 \text{ Ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ pol}}$$

$$\Delta p = \frac{1,9 \text{ pol H}_2\text{O}}{100 \text{ Ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{3,28 \text{ ft}}{1 \text{ m}}$$

$$\Delta p = 6,23 \text{ pol H}_2\text{O}/100\text{m}$$

O comprimento real do trecho o-p é:

$$L_{o-p} = 1,20$$

Logo a perda total neste trecho será:

$$\Delta p = 6,23 \text{ pol H}_2\text{O} \text{ ---- } 100 \text{ m}$$

$$x \text{ ----- } 1,60 \text{ m}$$

$$\Delta p = 0,0747 \text{ pol H}_2\text{O}$$

- Perda de carga no trecho (p-r)

Vazão para este trecho (duto 40 cm de diâmetro):

$$Q_{p-r} = Q_o + Q_m = 1,325 + 0,28 = 1,605 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidade:

$$Q_{p-r} = v \cdot a$$

$$1,605 = v \cdot 0,1256$$

$$V = 1,605/0,1256$$

$$V = 12,78 \text{ m/s} = 2516 \text{ fpm}$$

Convertendo o valor de 40 cm para polegadas, obtém-se: 15,74"

Utiliza-se para este duto o valor arredondado de 16"

Verificando a Fig. 9.4, pag. 125 (MACINTYRE, 1990), obtém-se o valor de:

$$0,5 \text{ pol H}_2\text{O}/100\text{ft}$$

$$\Delta p = \frac{0,5 \text{ pol H}_2\text{O}}{100 \text{ ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ pol}}$$

$$\Delta p = \frac{0,5 \text{ pol H}_2\text{O}}{100 \text{ ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{3,28 \text{ ft}}{1 \text{ m}}$$

$$\Delta p = 1,64 \text{ pol H}_2\text{O}/100\text{m}$$

O comprimento real do trecho p-r é:

$$L_{p-r} = 1,20$$

Logo a perda total neste trecho será:

$$\Delta p = 1,64 \text{ pol H}_2\text{O} \text{ ---- } 100 \text{ m}$$

$$x \text{ ----- } 1,60 \text{ m}$$

$$\Delta p = 0,0229 \text{ pol H}_2\text{O}$$

- Perda de carga no trecho (r-s)

Vazão para este trecho (duto 50 cm de diâmetro):

$$Q_{r-s} = Q_{\text{total}} = 2,375 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidade:

$$Q_{o-p} = v \cdot a$$

$$2,33 = v \cdot 0,196$$

$$V = 2,33/0,196$$

$$V = 11,89 \text{ m/s} = 2340 \text{ fpm}$$

Convertendo o valor de 50 cm para polegadas, obtém-se: 19,68"

Utiliza-se para este duto o valor arredondado de 20"

Verificando a Fig. 9.4, pag. 125 (MACINTYRE, 1990), obtém-se o valor de:

$$0,3 \text{ pol H}_2\text{O}/100\text{ft}$$

$$\Delta p = \frac{0,35 \text{ pol H}_2\text{O}}{100 \text{ ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ pol}}$$

$$\Delta p = \frac{0,35 \text{ pol H}_2\text{O}}{100 \text{ ft}} \quad \Bigg| \quad \frac{3,28 \text{ ft}}{1 \text{ m}}$$

$$\Delta p = 1,14 \text{ pol H}_2\text{O}/100\text{m}$$

O comprimento real do trecho r-s é:

$$L_{r-s} = 3,20 \text{ m}$$

Logo a perda total neste trecho será:

$$\Delta p = 1,14 \text{ pol H}_2\text{O} \text{ ---- } 100 \text{ m}$$

$$x \text{ ----- } 3,20 \text{ m}$$

$$\Delta p = 0,0367 \text{ pol H}_2\text{O}$$

APÊNDICE C

C.1 DIMENSIONAMENTO DO VENTILADOR EXAUSTOR

Total de perdas (Δp):

$$10,15 \text{ pol H}_2\text{O} = 257,81 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Energia de pressão a ser fornecida pelo ventilador:

$$\Delta p_{\text{total}} = 257,81 \text{ kgf}\cdot\text{m}^2$$

A variação de energia cinética entre entrada e saída do ventilador = 0

Vazão total (Q):

$$Q = 8.388 \text{ m}^3/\text{h}$$

Utilizando a fórmula:

$$N_{cv} = \frac{Q * \Delta p}{3600 * 75 * \eta}$$

Sendo o rendimento total de 65%

$$\eta = 0,65$$

$$N_{cv} = \frac{8.550 * 257,81}{175.500}$$

$$N_{cv} = 12,55$$

Adotaremos o ventilador centrífugo com motor de 13 cv.

APÊNDICE D

D.1 CÁLCULO PARA O DIMENSIONAMENTO DO CICLONE

Cálculo de dimensionamento de ciclone a partir das medidas propostas por Lapple.

Cálculo da área de entrada do ciclone A :

$$A = Q/v$$

A = Area de entrada

Q = Vazão

V = Velocidade

Considerando-se:

$Q = 2,35 \text{ m}^3/\text{S}$

$V = 17,78 \text{ m/s}$

$$A = 2,35/17,78$$

$A = 0,132 \text{ m}$

Como $A_1 = (\text{Altura de entrada}) \cdot (\text{Largura de entrada})$

$A_1 = 0,25D \cdot 0,5D$

$A_1 = 0,125D$

Portanto $D = \sqrt{A_1/0,125} = \sqrt{0,132/0,125} = 1,02\text{m}$

$D = 1,02 \text{ m}$

Calculando as dimensões a partir dos dados relacionados por Lapple.

Partes	Relação	Dimensão (m)
Altura de entrada	0,5 D	0,510
Largura de entrada	0,25 D	0,255
Profundidade do duto de saída	0,625 D	0,637
Diâmetro do duto de saída	0,5 D	0,510
Altura do corpo cilíndrico	2 D	2,040
Atura total	4 D	4,080
Diâmetro do duto de saída de pó	0,25 D	0,255

D.2 CÁLCULO DA DENSIDADE DO MATERIAL PARTICULADO

Cálculo da Média das massas obtidas para a determinação da densidade dos particulados

$$M = P1+P2+P3/ 3$$

$$M = 7,1295 + 6,7526 + 6,0003 / 3$$

$$M = 19,8824 / 3$$

$$M = 6,6274 \text{ g}$$

Cálculo do Desvio Padrão da média

$$\sqrt{(P1 - M)^2 * (P2 - M)^2 * (P3 - M)^2 / N - 1}$$

$$\sqrt{(7,1295 - 6,6274)^2 (6,7526 - 6,6274)^2 (6,0003 - 6,6274)^2 / 3 - 1}$$

$$\text{Desvio Padrão} = 0,575 \text{ g}$$

Cálculo da Densidade

$$\rho = M/V$$

$$\rho = 6,6274/25$$

$$\rho = 0,2650 \text{ g/mL} = 2650 \text{ kg/m}^3$$

D.3 CÁLCULOS PARA OBTENÇÃO DA GRANULOMETRIA DA AMOSTRA.

A Tabela D.1 representa os números, diâmetros da malha, diâmetros médios das partículas retidas e tara das peneiras.

Tabela D.1 – Resultados obtidos na análise granulométrica

Número da Peneira (mesh*)	Diâmetro da peneira (mm)*	Diâmetro médio (mm)	Tara (g)
12	1,397	1,397	498,87
16	0,991	1,194	462,51
20	0,833	0,912	440,08
60	0,246	0,5395	404,04
Panela		0,246	315,10

*Mesh = Fios por polegada

Os resultados obtidos após a agitação das peneiras com amostra estão descritos na Tabela D.2.

Tabela D.2 - Resultados obtidos na análise granulométrica (duplicata)

Número da Peneira (mesh)	Diâmetro da peneira (mm)	Diâmetro médio (mm)	Tara da peneira + amostra (g)
12	1,397	1,397	506,45 g
16	0,991	1,194	464,78 g
20	0,833	0,912	440,69 g
60	0,246	0,5395	418,72 g
Panela		0,246	339,95 g

O peso após a separação da amostra é subtraído pela tara da peneira, para obter o peso da amostra presente em cada peneira, os resultados se encontram na Tabela D.3.

Tabela D.3 - Resultados obtidos da análise granulométrica

Número da Peneira (mesh)	Diâmetro médio (mm)	Peso após agitação da amostra (g)
12	1,397	7,58 g
16	1,194	2,27 g
20	0,912	0,61 g
60	0,5395	14,68 g
Panela	0,246	24,85 g

Processando os dados para porcentagem tem-se:

$$(7,58/50) * 100 = 15,50\%$$

$$(2,27/50) * 100 = 4,54\%$$

$$(0,61/50) * 100 = 1,22\%$$

$$(14,68/50) * 100 = 29,04\%$$

$$(24,85/50) * 100 = 49,70\%$$

Descriminando todos os dados em uma tabela temos a seguinte representação final.

Número da Peneira (mesh)	Diâmetro médio (mm)	Peso após separação da amostra (g)	Fração retida em cada peneira (%)
12	1,397	7,58 g	15,50
16	1,194	2,27 g	4,54
20	0,912	0,61 g	1,22
60	0,5395	14,68 g	29,04
Panela	0,246	24,85 g	49,70

D.4 CÁLCULOS DA DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA

Adotando-se $Nv = 6$

$$\mu_g = \text{Viscosidade dos gases} = 2,6 \cdot 10^{-5}$$

B = Largura da entrada = 0,255 m

V_i = Velocidade Inicial = 17,78 m/s

ρ = Densidade da partícula = 2650 kg/m³

$$D_{50} = \sqrt{\frac{9 * 0,00026 * 0,255}{2 * 3,14 * 17,78 * 2650 * 6}}$$

$$D_{50} = 5,7555 * 10^{-6} \text{ m}$$

Cálculos da Eficiência de Coleta

- Cálculos da Eficiência Fracionada

$$Ni = \frac{1}{1 + \left(\frac{0,00579}{1,397}\right)^2} = 0,9999828$$

$$Ni = \frac{1}{1 + \left(\frac{0,00579}{1,194}\right)^2} = 0,9999764$$

$$Ni = \frac{1}{1 + \left(\frac{0,00579}{0,912}\right)^2} = 0,9999596$$

$$Ni = \frac{1}{1 + \left(\frac{0,00579}{0,5395}\right)^2} = 0,9998848$$

$$Ni = \frac{1}{1 + \left(\frac{0,00579}{0,246}\right)^2} = 0,9994463$$

Feito isso se soma todos os resultados Ni*Fr para chegar a eficiência de coleta total Nt

$$0,9999828 * 15,50 = 15,4997334$$

$$0,9999764 * 4,54 = 4,539892856$$

$$0,9999596 * 1,22 = 1,219950712$$

$$0,9998848 * 29,04 = 29,03665459$$

$$0,9994463 * 49,70 = 49,67248111$$

$$Nt = 15,4997334 + 4,539892856 + 1,219950712 + 29,03665459 + 49,67248111$$

Nt = 99,97 %