



**Bruna Karine dos Santos**

**PROPOSTA DE UM SISTEMA DE EXAUSTÃO PARA  
ESTAÇÃO DE SOLDAGEM: ESTUDO DE CASO DE UMA  
EMPRESA DO SETOR AGRÍCOLA**

**Horizontina**

**2015**

**Bruna Karine dos Santos**

**PROPOSTA DE UM SISTEMA DE EXAUSTÃO  
PARA ESTAÇÃO DE SOLDAGEM:  
ESTUDO DE CASO DE UMA EMPRESA DO SETOR AGRÍCOLA**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

**ORIENTADOR:** Ademar Michels, Doutor.

**Horizontina**

**2015**

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“Proposta de um Sistema de Exaustão  
para Estação de Soldagem:  
Estudo de Caso de uma Empresa do Setor Agrícola”**

Elaborada por:

**Bruna Karine dos Santos**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 12/11/2015  
Pela Comissão Examinadora**

---

**Prof. Dr. Ademar Michels  
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

---

**Prof. Dr. Richard Thomas Lermen  
FAHOR – Faculdade Horizontalina**

---

**Prof. Esp. Leonardo Teixeira Rodrigues  
FAHOR – Faculdade Horizontalina**

**Horizontalina  
2015**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse trabalho aos meus pais pela formação, orientação, apoio e incentivo na escolha da minha formação.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família pelo incentivo e carinho.

Ao meu irmão César pelo incentivo e apoio nas minhas escolhas.

À empresa ARKISOFT pela disponibilização do software RapidDUCT.

Ao orientador, prof. Dr. Ademar Michels, pelo conhecimento transmitido.

À todos os meus colegas e amigos pelas horas de estudo.

“Não se espante com a altura do vôo. Quanto mais alto, mais longe do perigo. Quanto mais você se eleva, mais tempo há de reconhecer uma pane. É quando se está próximo do solo que se deve desconfiar”

Santos Dumont

## RESUMO

Os processo de soldagem à arco elétrico geram elementos como fumos metálicos e gases, os quais tornam o ambiente insalubre e podem causar doenças aos trabalhadores. O trabalho tem como objetivo apresentar o dimensionamento de um sistema de exaustão para estação de soldagem de uma empresa do setor agrícola. Inicialmente foram estudados as características e requisitos para o dimensionamento de um sistema de exaustão e posteriormente realizado o memorial descritivo por meio do método clássico, o qual consiste no dimensionamento a partir da área, do coeficiente de forma do captor e da velocidade de captura resultando na vazão do ar no sistema. Também foi realizado o dimensionamento do sistema de exaustão utilizando o software RapidDUCT, que utiliza as equações apresentadas pela ASHRAE. Os resultados do trabalho apresentam que o método clássico possibilitou o dimensionamento do sistema, definição dos valores de perdas de carga, velocidade de escoamento nos dutos e seleção dos principais diâmetros de tubulação. A aplicação do software também permitiu o dimensionamento do sistema, apresentando valores similares de diâmetro da tubulação, no entanto diferentes valores de perda de carga e velocidade de escoamento. Através dos resultados, pode-se dizer que os dois métodos são aplicáveis para o dimensionamento de sistemas de exaustão.

Palavras-chave: Processo de soldagem – sistema de exaustão – dimensionamento.

## **ABSTRACT**

The electric arc welding process produces elements such as metal fumes and gases, which make the unhealthy environment and may cause disease to workers. The work aims to present the dimensioning of an exhaust system for welding station of a company in the agricultural sector. Initially, were studied the characteristics and requirements for the dimensioning of an exhaust system and then held the specification by the traditional method, which consists in sizing from the area of the sensor shape coefficient and capture velocity resulting in flow of air in the system. It was also performed the dimensioning of the exhaust system RapidDUCT using the software, which uses the equations presented by ASHRAE. Work results show that the classic method enabled the system dimensioning, definition of load losses values, flow velocity in the ducts and selection of the main pipe diameters. The software application also allowed the plant dimensioning, with similar values of pipe diameter, however different pressure drop values and flow velocity. From the results, it can be said that the two methods are applicable for the dimensioning of exhaust systems.

Keywords: Welding process - exhaust system – dimensioning.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ventilação Natural.....	18
Figura 2: Ventilação Diluidora.....	19
Figura 3: Ventilação Exaustora.....	19
Figura 4: Exemplo de braço extrator individual acoplado em um exaustor.....	29
Figura 5: Exaustor de fumos metálicos e gases portátil.....	30
Figura 6: Instalação centralizada para captação de fumos metálicos e gases de soldagem.....	30
Figura 7: Equipamento individual, móvel para sucção na tocha.....	31
Figura 8: Área de estudo de caso.....	32
Figura 9: Leiaute preliminar do sistema de exaustão.....	39
Figura 10: Dados gerais.....	42
Figura 11: Desenho do sistema de exaustão.....	43
Figura 12: Gerenciamento de camadas.....	43
Figura 13: Propriedades do bocal.....	44
Figura 14: Propriedades do duto.....	44
Figura 15: Propriedades do ventilador.....	45
Figura 16: Propriedades do ventilador - retorno.....	45
Figura 17: Propriedades do ventilador - impulsão.....	45
Figura 18: Propriedades da boca de impulsão.....	46
Figura 19: Resultado dos elementos do Ventilador.....	46
Figura 20: Desenho da tubulação.....	47
Figura 21: Vista frontal do modelo 3D.....	48
Figura 22: Vista isométrica do modelo 3D.....	49

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Velocidade de captura em função das condições de geração.....	21
Quadro 2: Velocidade de captura em função da operação. ....	21
Quadro 3: Vazão do ar nos captosres. ....	22
Quadro 4: Coeficiente de atrito nos captosres. ....	23
Quadro 5: Velocidade de ar em dutos segundo ASHRAE.....	25
Quadro 6: Coeficiente de atrito de acessórios.....	26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distância adequada conforme vazão. ....	24
Tabela 2: Coeficiente de atrito nas curvas das canalizações. ....	26
Tabela 3: Coeficiente de atrito de redução do diâmetro. ....	26
Tabela 4: Coeficiente de atrito de expansão do diâmetro. ....	36
Tabela 5: Resultados dos dutos no sistema de exaustão ....	39
Tabela 6: Resultado da perda de carga dos acessórios.....	40
Tabela 7: Dados do sistema. ....	40
Tabela 8: Resultados da perda de carga na canalização.....	41
Tabela 9: Dados do ventilador OTAN. ....	41
Tabela 10: Comparação dos resultados.....	47

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	14
1.2 OBJETIVOS.....	14
<b>1.2.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>14</b>
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
2.1 AGENTES TÓXICOS .....	16
2.2 AGENTES TÓXICOS NO PROCESSO DE SOLDAGEM.....	17
2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO .....	17
<b>2.3.1 Ventilação local exaustora .....</b>	<b>20</b>
2.3.1.1 Captor .....	21
2.3.1.2 Sistema de Dutos.....	24
2.3.1.3 Perda de Carga.....	25
2.3.1.4 Equipamento de Controle de Poluentes .....	27
2.3.1.5 Ventilador.....	27
2.4 TIPOS DE EXAUSTORES.....	29
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>32</b>
3.1 ESTUDO DE CASO.....	32
3.2 MATERIAL.....	33
<b>4. MEMORIAL DE CÁLCULO .....</b>	<b>34</b>
4.1 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO NO CAPTOR.....	34
4.2 DETERMINAÇÃO DOS DUTOS.....	34
4.3 DETERMINAÇÃO DA PERDA DE CARGA NO SISTEMA .....	35
4.4 POTÊNCIA MECÂNICA .....	36
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>38</b>
5.1 DIMENSIONAMENTO CLÁSSICO.....	38
<b>5.1.1 Determinação da vazão no captor .....</b>	<b>38</b>
<b>5.1.2 Determinação dos dutos .....</b>	<b>38</b>
<b>5.1.3 Determinação da perda de carga no sistema.....</b>	<b>40</b>
<b>5.1.4 Potência mecânica .....</b>	<b>41</b>
5.2 DIMENSIONAMENTO PELO SOFTWARE RAPIDDUCT .....	42
5.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO CLÁSSICO E DO SOFTWARE.....	47
5.4 MODELAGEM 3D DO SISTEMA DE EXAUSTÃO.....	48
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>50</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>51</b>
<b>APÊNDICE A - DIMENSIONAMENTO SOFTWARE RAPIDDUCT.....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXO A - CURVA CARACTERÍSTICA VENTILADOR CENTRÍFUGO OTAM.....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXO B - CURVA CARACTERÍSTICA VENTILADOR CENTRÍFUGO SODECA.....</b>	<b>59</b>

# 1. INTRODUÇÃO

Dos diferentes produtos industrializados, em sua maioria apresentam alguma forma de união. O processo de soldagem é utilizado em diferentes indústrias, como o principal processo de fabricação para união de componentes. Sua aplicação vai desde pequenos componentes eletrônicos até grandes estruturas e equipamentos. É utilizado nas áreas de construção naval, civil, ferroviária, indústria aeronáutica automobilística e indústria agrícola. Na indústria agrícola é utilizada em fechamento de canto em diversos componentes, também em conjuntos como por exemplo o rotor, batedor, tanque, caixa de peneira, picador, caixa do ventilador e tubo descarregador.

Os processos de soldagem liberam partículas de fumo que são prejudiciais à saúde dos operadores, provenientes do arco de gás formado durante o processo. Cada processo de soldagem tem suas particularidades no que diz respeito à emissão de poluentes dependendo do tipo de consumível utilizado, energia aplicada, material base, revestimentos, enfim, uma série de fatores que influenciam quantitativa e qualitativamente as emissões de fumos do processo. Alguns aspectos, porém, são comuns a todos os processos, ou seja, em qualquer processo de soldagem a arco elétrico existem emissões de fumos e gases tóxicos oriundos do ponto de soldagem, normalmente estes poluentes atingem as maiores concentrações, na zona de respiração do soldador.

Portanto, ainda que não haja concentração excessiva de poluentes oriundos do processo de soldagem no ambiente interno, o soldador, que está próximo ao ponto de emissão, pode estar sujeito à altas concentrações de fumos metálicos e gases tóxicos na zona de respiração.

As indústrias siderúrgicas, petroquímicas, químicas, entre outras são poluidoras, muitas vezes lançam na atmosfera, sem tratamento adequado quantidades significativas de material poluente no estado de gases e vapores. As consequências podem manifestar-se na forma de doenças entre as quais inclui hipertensão pulmonar, doenças de fígado, doenças dos olhos e irritação, dermatites (MACINTYRE, 1990). Desta forma é importante a utilização de sistemas de exaustão como mecanismo de prevenção de doenças e tornar o ambiente industrial menos insalubre.

Cabe à engenharia encontrar a solução adequada para proporcionar as condições ambientais adequadas à vida humana. Esta medida inclui a ventilação industrial, através de um projeto adequado, ou seja, compatível com o grau de risco dos poluentes envolvidos no processo, a ventilação de ambientes, e também para segurar condições adequadas de modo a remover do ambiente contaminantes provenientes de equipamentos e processos industriais.

Segundo Clezar & Nogueira (1999), a ventilação tem como finalidade garantir a pureza do ar, visando à segurança e o bem-estar físico, e o controle da poluição. Para Oliveira (2008), a ventilação industrial é um processo de retirada ou fornecimento de ar por meios naturais ou mecânicos de um recinto fechado, com a finalidade de limpeza e controle das condições do ar, para que homem e máquina conviva em um mesmo recinto sem prejuízos de ambas as partes.

Para o dimensionamento de um sistema de ventilação industrial há necessidade de conhecimentos teóricos e práticos, que visam possibilitar melhores condições de avaliações e projeto, evitando dessa forma que a utilização de técnicas gerais da ventilação torne o projeto menos eficiente (MESQUITA, GUIMARÃES, NEFUSSI, 1977).

O correto dimensionamento de um sistema de exaustão tem a finalidade de projetar um sistema técnico capaz de remover com eficiência os fumos gerados pela fonte de emissão. O dimensionamento clássico consiste na aplicação de equações, sendo que as definições de alguns parâmetros são necessárias, o que muitas vezes são adotados empiricamente pela experiência do projetista ou do grupo de projetos.

Logo, a ventilação do ambiente deve ser criteriosamente planejada, executada e alterada quando necessário, a fim de que sejam prevenidos danos à saúde, segurança e bem-estar dos trabalhadores.

Projetos detalhados e em curto prazo faz com que softwares de dimensionamento de sistemas de exaustão sejam empregados nos projetos. Esses softwares auxiliam no desenvolvimento do dimensionamento do sistema e a principal vantagem é a facilidade do desenvolvimento, e para as correções, tornando o projeto mais eficiente em relação ao método clássico.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Os processos de soldagem emitem fumos e gases, os quais podem ser retirados pelo sistema de exaustão, esses poluentes são enviados para atmosfera depois de tratados. Com a utilização de um sistema de exaustão ocorre a redução da dispersão de contaminantes no ambiente industrial, essa movimentação do ar entre dois pontos, processa-se pelo estabelecimento de uma diferença de pressão do sistema exaustor.

É de suma importância a acuracidade das informações da área em estudo, equipamento, pois a partir delas pode ser dimensionado o sistema de exaustão. O dimensionamento do sistema de exaustão é uma etapa do projeto complexa, requer informações e análises de dados, e muitas vezes as definições de parâmetros são adotados empiricamente.

A NR18 é a norma que regulamenta a utilização do sistema de exaustão na construção civil, o item 18.11.2 diz que:

Quando forem executadas operações de soldagem e corte a quente em chumbo, zinco ou materiais revestidos de cádmio, será obrigatória a remoção por ventilação local exaustora dos fumos originados no processo de solda e corte, bem como na utilização de eletrodos revestidos (ATLAS, Equipe, 2014, p.355).

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Realizar o dimensionamento de um sistema de exaustão para estação de soldagem.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são um conjunto de tarefas realizadas que convergem para o atendimento do objetivo geral do presente trabalho. Os objetivos específicos são:

- Estudar as características e requisitos dos sistemas de exaustão;
- Desenvolver o memorial descritivo;

- Realizar o dimensionamento com o software RapidDUCT<sup>1</sup>;
- Analisar os resultados do dimensionamento clássico e do software.

---

<sup>1</sup> A empresa ARKISOFT disponibilizou uma licença de 30 dias do software RapidDUCT para realização do trabalho.



## 2. REVISÃO DA LITERATURA

É essencial o conhecimento de alguns princípios e teorias que serviram de base para o trabalho. Os conceitos utilizados no trabalho são agentes tóxicos, processo de soldagem, classificação dos sistemas de ventilação.

### 2.1 AGENTES TÓXICOS

Os agentes tóxicos são designados em saúde ocupacional como agentes químicos de doenças profissionais, podem ocorrer no estado sólido, líquido ou gasoso. Quando no estado sólido ou líquido, podem apresentar-se suspensos no ar como material particulado. Já os agentes tóxicos que se apresentam no estado gasoso são constituídos pelos gases e vapores, vale destacar uma das propriedades mais importante desse agente é a capacidade de misturar-se com o ar, assim tornando parte do mesmo. Portanto, podem ser classificadas de acordo com sua formação podendo estar na forma de poeiras, fumos e névoas (MESQUITA, GUIMARÃES, NEFUSSI, 1977).

As poeiras são consideradas partículas sólidas com diâmetro maior que 1  $\mu\text{m}$ , já os fumos metálicos também são considerados partículas sólidas, porém com um diâmetro menor que 1  $\mu\text{m}$  resultantes da condensação de vapores, e as névoas são as partículas líquidas com diâmetro de 0,1 e 100  $\mu\text{m}$ , resultantes da condensação de vapores ou ainda pela dispersão mecânica de líquidos (MESQUITA, GUIMARÃES, NEFUSSI, 1977).

Os fumos de soldagem são produzidos em consequência da vaporização e derretimento do eletrodo consumível, e como resultado parte da poluição ambiental é provocada pelo material base gerada no processo, principalmente quando coberto por impurezas, como resíduos de óleo, e possíveis revestimentos, como tintas, óleo ou camadas de zinco, no caso de recobrimento galvanizado, que aumentam significativamente a emissão de fumos durante a soldagem (FÜHR, 2012).

Os gases liberados durante o processo podem ser os gases de proteção como gerados por influência do processo de soldagem, um dos gases produzidos durante o processo é o ozônio, uma forma instável de oxigênio, sendo produzido pela influência da radiação, no entanto este não é o único gás há outros gases que são formados

durante o processo. No processo de acabamento que muitas vezes ocorrem no posto de soldagem produzem partículas sólidas, geralmente são produzidas na preparação e finalização de trabalhos de soldagem quando também são usados equipamentos como esmerilhadeiras, rebolos (GAREIS *apud* SILVA, 2003).

## 2.2 AGENTES TÓXICOS NO PROCESSO DE SOLDAGEM

Os processos de soldagem produzem elementos como fumos metálicos, gases, partículas e radiação, e a emissão de cada elemento, depende de vários fatores: material base, revestimento sobre material base, processo de soldagem, composição do eletrodo, revestimento do eletrodo, composição do gás de proteção, tipo de alimentação da fonte de soldagem, voltagem e amperagem, ou seja, os parâmetros de soldagem (SILVA, 2003).

Marques, Modenesi, Bracarense (2009), recomenda que as operações de soldagem deve ser efetuada em locais bem ventilados e, se necessário deve ser utilizado ventiladores e exaustores. Os gases de proteção empregados em processos de soldagem, geralmente não são tóxicos, mas deslocam o ar, pois são mais pesados que este e podem causar danos à saúde dos soldadores.

## 2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO

A grande maioria das operações e processos industriais geram uma grande quantidade de vapores, gases, fumos metálicos e poeiras produzidas, que são contaminantes que possuem uma alta toxicidade, não podendo ser dispersos em um ambiente de trabalho afetando diretamente os funcionários, e com isso gerando consequências em seus organismos (MACINTYRE, 1990).

Ao referir-se a respeito da ventilação geral Macintyre (1990), diz que a ventilação geral consiste na movimentação de quantidades relativamente grandes de ar através de espaços confinados, com finalidade de melhorar as condições do ambiente. Principalmente a manutenção do conforto e eficiência do homem, que restabelece as condições desejáveis para o ar, alteradas pelo aquecimento dos equipamentos ou condições climáticas, e também visa a saúde do homem para controlar a concentração de gases, vapores e partículas no ambiente.

A presença de ar sem contaminantes nos ambientes de trabalho é essencial para o metabolismo do homem, por ser fonte de oxigênio, porém o ar também é um veículo que transporta as impurezas suspensas até a penetração e absorção no organismo, dessa maneira a ventilação nos ambientes de trabalho deve ser devidamente planejada de forma natural ou artificial, a fim de prevenir danos à saúde, segurança e bem-estar aos trabalhadores (MESQUITA, GUIMARÃES, NEFUSSI, 1977).

De modo geral, segundo Costa (2005) os sistemas de renovação do ar de um ambiente podem ser classificados em:

- Ventilação natural ou espontânea;
- Ventilação artificial ou forçada.

A ventilação natural ou espontânea é aquela que se verifica devido a diferença de pressão natural, ocasionadas pelos ventos e gradientes de temperatura existentes através das superfícies que delimitam o ambiente. Já a ventilação artificial ou forçada o ar movimenta-se por meios mecânicos, e pode ser geral diluidora ou local exaustora (COSTA, 2005).

Em uma definição de Macintyre (1990), a ventilação natural proporciona a entrada e a saída do ar de um ambiente sob forma controlada e intencional devido a aberturas existentes para esse fim, como é o caso de janelas e portas. Geralmente é objeto de considerações que se fazem na elaboração de projeto civil, e deve ser considerado que o fluxo de ar que entra ou sai pelas aberturas de uma construção depende da diferença entre pressões existentes no exterior e no interior do recinto e da resistência oferecida à passagem do ar pelas aberturas Figura 1.

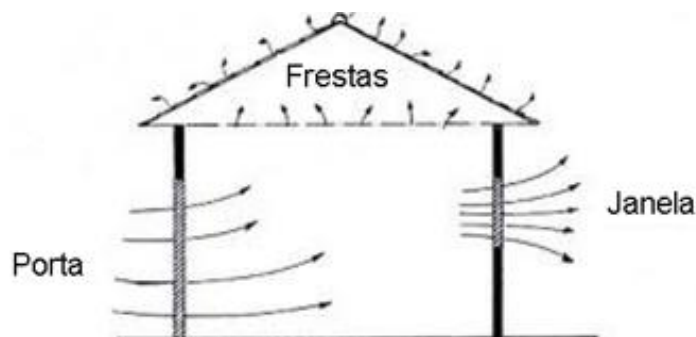


Figura 1: Ventilação Natural.  
Fonte: Lisboa, 2007.

Já a ventilação artificial a movimentação do ar é forçada por meios mecânicos que promove um deslocamento de massa maior que a gravidade e a resistência dos

materiais onde são transportados, (MACINTYRE, 1990). Esta, por sua vez, se divide em:

- Ventilação geral diluidora Figura 2 promove uma redução na concentração dos contaminantes, insuflando ou exaurindo ar, misturando os poluentes com o ar limpo, diluindo antes de serem retirados do ambiente. A ventilação geral diluidora não impede a emissão dos poluentes no ambiente de trabalho podendo ser aplicada somente nas condições onde o poluente não deve estar em concentrações que exceda a capacidade de diluição adequada, a distância dos trabalhadores com o ponto de geração deve ser o suficiente para assegurar a saúde, a toxicidade do poluente deve ser baixa e o poluente é gerado de forma uniforme (MESQUITA, GUIMARÃES, NEFUSSI, 1977).



Figura 2: Ventilação Diluidora.  
Fonte: Lisboa, 2007.

- A ventilação local exaustora Figura 3 extrai o contaminante mecanicamente no próprio local em que é produzido, antes de se espalhar pelo ambiente. Atua capturando os poluentes por meio de uma corrente de ar com velocidade adequada (velocidade de captura), criada por meios de dispositivos especiais conhecidos como captores, além disso também é responsável por transportar pelo ar os detritos como poeiras, fumos metálicos e vapores (COSTA, 2005).

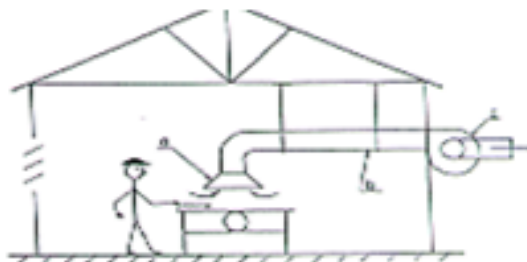


Figura 3: Ventilação Exaustora.  
Fonte: Lisboa, 2007.

### 2.3.1 Ventilação local exaustora

Tem como objetivo principal a proteção da saúde do trabalhador, uma vez que capta os poluentes de uma fonte (gases, vapores ou poeiras tóxicas), antes que os mesmos se dispersem no ar do ambiente de trabalho, ou seja antes que atinjam a zona de respiração do trabalhador (OLIVEIRA, 2008).

De uma forma indireta este tipo de sistema também influi no bem-estar, na eficiência e na segurança do trabalhador, por exemplo retira do ambiente uma parte do calor liberado por fontes quentes que eventualmente existam. Além disso tem papel importante a fim de que os poluentes emitidos por uma fonte possam ser tratados em um equipamento de controle de poluentes (filtros, lavadores, etc.), eles têm que ser captados e conduzidos pelo sistema (MESQUITA, GUIMARÃES, NEFUSSI, 1977).

Mesquita, Guimarães, Nefussi, (1977), destacam os principais componentes de um sistema de ventilação:

- Captor: é o ponto de entrada dos gases a serem exauridos pelo sistema.
- Sistema de dutos: responsável pelo transporte dos gases captados;
- Ventilador: responsável pelo fornecimento da energia necessária à movimentação dos gases (fornece um diferencial de pressão entre o captor e a saída do sistema);
- Equipamento de controle de poluição do ar: destina-se a reter os poluentes, impedindo seu lançamento na atmosfera, é utilizado quando necessário.

Mesquita, Guimarães, Nefussi (1977), destacam que o sistema de exaustão deve ser projetado dentro dos princípios de engenharia, ou seja, de maneira a se obter a melhor eficiência ao menor custo possível, porém na maioria dos casos o objetivo principal do sistema é a proteção da saúde do homem, assim esse fator deve ser considerado em primeiro lugar e os demais devem estar condicionados a esse objetivo.

### 2.3.1.1 Captor

O captor de um sistema de ventilação local exaustora é um dispositivo que, colocado junto à fonte de contaminação, tem a finalidade de criar uma velocidade de captação ( $V_c$ ), essa velocidade deve ser capaz de arrastar o contaminante para seu interior. A velocidade deve verificar-se até uma distância ( $x$ ) da boca do captor, que limita a zona de captação, dentro da qual a velocidade é superior a  $V_c$  (COSTA, 2005).

O Quadro 1 e o Quadro 2 apresentam as velocidades de captura recomendadas pela ASHRAE, respectivamente em função das condições de geração e da operação específica (COSTA, 2005).

Condição de geração	Exemplo	$V_c$ (m/s)
Sem velocidade inicial no ar parado	Evaporação de tanque, soldas Desengraxamento, eletrodeposição	0,25 a 0,5
Geração no interior de cabines	Velocidade de abertura da cabine	0,25 a 1,0
Geração com velocidade inicial baixa	Cabines de pintura, misturadores, Enchimento de barris, escolha Transferência de transporte (<1m/s), Pesagens e embalagens	0,5 a 1,0
Geração ativa	Britadores, peneiras Limpeza de peças por trepidação Transferência de transporte (>1 m/s)	1,0 a 2,5
Geração com grande força	Esmerilhamento Jatos abrasivo	2,5 a 10,0

Quadro 1: Velocidade de captura em função das condições de geração.  
Fonte: Adaptado de Costa, 2005, p.147.

Operação	$V_c$ (m/s)	Observação
Jatos abrasivos	2,5 0,3 a 0,5	Em cabines Em salas
Enchimento de barris	0,4 a 0,5	No ponto de operação
Corte manual de granito	1,0	No ponto de operação
Esmerilhamento	1,0 a 2,0	Grelha de fluxo descendente
Pintura a pistola	0,5 a 1,0	Face da cabine
Solda de prata	0,5	Face de coifa
Solda elétrica	0,5 a 1,0	No ponto de operação

Quadro 2: Velocidade de captura em função da operação.  
Fonte: Adaptado de Costa, 2005, p.147.

Segundo Mesquita, Guimarães, Nefussi (1977), o dimensionamento de um captor vai depender em muito do bom-senso e da experiência do projetista e estará completamente dimensionado quando determinar as seguintes etapas:



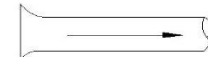



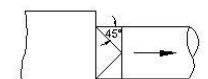


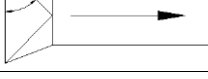
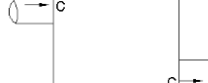
- Sua forma e dimensão;
- Sua posição relativa a fonte de poluentes;
- Vazão de ar a ser exaurida para captura completa dos poluentes;
- Energia necessária para movimentar os gases exauridos para dentro dele.

O Quadro 3 fornece os valores do coeficiente de forma do captor ( $K$ ) e da vazão ( $Q$ ) dos principais tipos de captores (COSTA, 2005).

Tipo de captor	$k$	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)
Boca circular plana Boca retangular plana de $H/L > 0,1$	$\frac{0,1 \cdot \Omega_0 + x^2}{0,1 \cdot \Omega_0}$	$\left(\Omega_0 + \frac{x^2}{0,1}\right) \cdot V_c$
Bocas circulares com flange de largura igual a $D$	$\frac{0,1 \cdot \Omega_0 + x^2}{0,133 \cdot \Omega_0}$	$\left(0,1\Omega_0 + \frac{x^2}{0,133}\right) \cdot V_c$
Fenda de $H/L < 0,1$	$\frac{3,7 \cdot L}{\Omega_0}$	$(3,7 \cdot L) \cdot V_c$
Fenda de $H/L < 0,1$ com flange de largura igual a $H$	$\frac{2,8 \cdot L}{\Omega_0}$	$(2,8 \cdot L) \cdot V_c$
Coifas simples: Pequenas (1,2 m a 1,5 m)	$\frac{1,25 \cdot PH}{\Omega_0}$	$1,25 \cdot P \cdot H \cdot V_c$
Médias (1,5 m a 2,5 m)	$\frac{1,35 \cdot PH}{\Omega_0}$	$1,35 \cdot P \cdot H \cdot V_c$
Grandes (2,5 m a 5 m)	$\frac{1,45 \cdot PH}{\Omega_0}$	$1,45 \cdot P \cdot H \cdot V_c$

Quadro 3: Vazão do ar nos captores.  
Fonte: Adaptado de Costa, 2005, p. 149.

A perda de energia devido a transformação de pressão resulta em uma diminuição de vazão que entra no duto, quando comparada com a vazão que entraria se não houvesse perdas. Essa queda de vazão é dada pelo coeficiente de entrada  $\mu$ , que representa a relação entre a vazão real e a ideal (MESQUITA, GUIMARÃES, NEFUSSI, 1977). O Quadro 4 fornece os valores de  $\lambda$  (fator de atrito) e  $\mu$  (coeficiente de entrada) para os diversos tipos de captores.

Tipo de captor	Descrição	$\lambda$	$\mu$
	Extremidade plana de duto	0,93	0,72
	Extremidade de duto flangeado	0,49	0,82
	Boca bem arredondada	0,04	0,98
	Orifício de canto vivo	1,78	0,60
	Captor direto no duto	0,50	0,82
	Orifício mais duto flangeado ( $C_{orifício} = C_{duto}$ )	2,30	0,55
	Captor ligado ao duto por peça cônica: Circular Retangular	0,15 0,25	0,93 0,89
	Captor ligado ao duto por peça arredondada	0,06 -0,10	0,97
	Captor cônico: Circular Retangular	0,15 0,25	0,93 0,89
	Câmara de gravidade	1,5	0,63
	Captor padrão de esmeril	0,65	0,78

Quadro 4: Coeficiente de atrito nos captores.

Fonte: Adaptado de Costa, 2005, p. 151.

Lisboa (2007), ressalta que cada conjunto fonte-captor exige uma determinada vazão de exaustão, a vazão total a ser movimentada será a somatória das vazões de cada captor. Os seguintes requisitos devem ser atendidos pela vazão exaustão:

- Deve captar praticamente a totalidade dos poluentes emitidos;
- Não deve interferir com processos e operações, como por exemplo o arraste de matérias-primas e produtos, etc.;



- Deve ser uma vazão econômica, ou seja, deve ser a mínima necessária para atender os requisitos anteriores.

A Tabela 1 especifica a distância adequada do captor até o ponto de operação conforme a vazão para uma bancada de soldagem.

Tabela 1: Distância adequada conforme vazão.

Distância x (m)	Duto simples Q (m <sup>3</sup> /s)	Duto com entrada flangeada ou cônica Q (m <sup>3</sup> /s)
0,152399	0,15810	0,11798
0,152399 a 0,2286	0,35631	0,26429
0,2286 a 0,3048	0,63004	0,4719

Fonte: Adaptado Macintyre, 1990, p.236.

### 2.3.1.2 Sistema de Dutos

Costa (2005), destaca um ponto importante em relação aos dutos do sistema de ventilação local exaustora, sempre que possível deve ter seção circular, para evitar arestas ou zonas de velocidade reduzida, que possibilitam a estagnação dos contaminantes. Podem ser classificados de acordo com o material contaminante a transportar, assim temos:

Classe I: Materiais não abrasivos, como pinturas, serragens, etc.;

Classe II: Materiais abrasivos em pequenas quantidades, como politrizes, esmeris, etc.,

Classe III: Materiais abrasivos em grande concentração, como britadores de rocha, jato de areia de granalha, etc.

A velocidade do ar nas canalizações de ventilação local exaustora deve ser suficiente para manter as partículas do contaminante em suspensão e ao mesmo tempo, deve transportá-las (COSTA, 2005). Lisboa (2007), destaca uma característica para os poluentes gasosos, a velocidade tem pouca importância uma vez que não ocorre a sedimentação na tubulação mesmo para velocidades baixas. Os valores recomendados estão apresentados no Quadro 5.

Material	c (m/s)
Vapores, gases, fumos, poeiras muito finas (< 0,05 µm)	10
Poeiras secas finas	15
Poeiras indústrias médias	17,5
Partículas grossas	17,5 a 22,5
Partículas grandes, material úmidos	> 22,5

Quadro 5: Velocidade de ar em dutos segundo ASHRAE.  
Fonte: Costa, 2005, p. 154.

### 2.3.1.3 Perda de Carga

A perda de carga representa a energia mecânica convertida em energia térmica por efeitos de atrito. É oriunda da resistência e de mudanças de direção do escoamento, com deslocamento da camada limite, tais perdas ocasionam uma diminuição no nível de pressão total (CLEZAR & NOGUEIRA, 1999).

Se for considerado dois pontos entre um trecho reto do sistema de dutos, há uma queda de pressão estática entre os dois pontos causada pelo atrito nas paredes do duto. Logo, cada unidade de superfície de parede contribui com a mesma resistência (atrito), ou seja, a força total de atrito é proporcional à superfície interna do duto com a qual o fluido está em contato (MESQUITA, GUIMARÃES, NEFUSSI, 1977).

A velocidade do duto influencia na perda de carga do sistema, ou seja, na energia requerida para o fluido percorrer o sistema de dutos. Quanto maior a velocidade maior será a perda de carga e maior a potência exigida do ventilador. Portanto, é conveniente que a velocidade fique próxima da velocidade de transporte recomendada (LISBOA, 2007).

Perdas de carga em singularidades é qualquer elemento do sistema que causa distúrbios no fluxo do ar, como por exemplo os cotovelos, junções, contrações, expansões, e representam pontos de perda de carga localizada, todos esses elementos devem ser projetados na geometria que ocasione a menor perda de carga possível no sistema (LISBOA, 2007).

Ao longo do duto de instalação da ventilação local exaustora, existem peças que contribuem para o aumento da perda de carga do sistema, em razão do atrito, das turbulências. As principais peças que contribuem para o aumento da perda de carga são: bocas de captação, curvas, cotovelos, joelhos e alargamento graduais ou expansões, reduções, filtros, entre outros (MACINTYRE, 1990). Os valores de

coeficiente de atrito ( $\lambda$ ) de curvas e joelhos adotados no sistema de ventilação local exaustora estão apresentados na Tabela 2 e Quadro 6.

Tabela 2: Coeficiente de atrito nas curvas das canalizações.

R/D	0	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
$\lambda$	0,87	0,73	0,38	0,26	0,17	0,15	0,14	0,14	0,16

Fonte: Costa, 2005, p.157.

Acessórios	$\lambda$
Joelho de secção circular	0,87
Joelho de secção retangular	1,25
Com veias simples	0,35
Com veias duplas	0,10

Quadro 6: Coeficiente de atrito de acessórios.

Fonte: Costa, 2005, p.107.

Quando ocorre uma perda gradual de diâmetro, à medida que a energia cinética diminui, a energia de pressão aumenta, ocorre uma perda de carga que depende do ângulo ( $\alpha$ ) (MACINTYRE,1990). A Tabela 3 apresenta os valores do coeficiente de perda de carga em redução do diâmetro.

Tabela 3: Coeficiente de atrito de redução do diâmetro.

Ângulo ( $\alpha$ )	$\lambda$
5°	0,28
10°	0,44
15°	0,58
20°	0,72
25°	0,87
30°	1,00
+ de 30°	1,00

Fonte: Macintyre, 1990, p.143.

#### *2.3.1.4 Equipamento de Controle de Poluentes*

Os poluentes exauridos do ambiente de trabalho devem ser coletados para evitar sua emissão para a atmosfera, criando problemas de poluição do ar. A coleta do poluente pode ser feita por uma série de equipamentos projetados especificamente. De uma forma geral, a escolha depende de fatores relativos às propriedades do contaminante, aspectos econômicos e práticos. Podem ser coletores gravitacionais, sônicos, precipitadores térmicos, centrífugos ou ciclones, coletores úmidos (MESQUITA, GUIMARÃES, NEFUSSI, 1977).

Em relação aos filtros do sistema de ventilação, representam pontos de perda de carga que devem ser considerados no cálculo da pressão exigida do sistema e conseqüentemente da pressão e potência exigida do ventilador e potência do motor. No projeto deve ser prevista a perda de carga limite para fins de dimensionamento de pressões e potências, pois o aumento da perda de carga acima do limite para fins de dimensionamento de pressões e conseqüentemente redução na eficiência de captação e se a velocidade nos dutos cair abaixo da velocidade de transporte, ocorrerá deposição de partículas na tubulação. Assim, a perda de carga nos filtros deverá ser frequentemente verificada através de manômetros em U, a vantagem desse manômetro é possuir baixo custo e fácil instalação (LISBOA, 2007).

#### *2.3.1.5 Ventilador*

Os ventiladores são turbomáquinas geratrizes ou operatrizes, também designadas como turbodinâmicas, que se destinam a produzir o deslocamento de gases (MACINTYRE, 1990). Para Mesquita, Guimarães, Nefussi (1977), a função básica do ventilador é mover uma dada quantidade de ar por um sistema conectado a ele, assim o ventilador deve gerar uma pressão estática suficiente para vencer as perdas do sistema e uma pressão cinemática para manter o ar em movimento.

Os ventiladores têm seguem a Lei dos ventiladores, que determina:

A vazão varia com a rotação, que a pressão desenvolvida varia com o quadrado da rotação, e que a potência varia com o cubo da rotação (MESQUITA, GUIMARÃES, NEFUSSI, 1977, pág. 282).

Mesquita, Guimarães, Nefussi (1977), classifica os ventiladores em axiais e centrífugos, destacando as principais vantagens e desvantagens:

- Centrifugo de pás radiais: é um ventilador robusto, para movimentar efluentes com grande carga de poeira, e corrosivas, porém apresenta baixa eficiência e seu funcionamento é barulhento.
- Centrifugo de pás para frente: Tem capacidade exaustora a baixas velocidades, e não é adequado para trabalhos a alta pressão e altas cargas de poeira e apresenta frequentes problemas de corrosão se mal utilizado. Possui uma eficiência estática máxima de 60%, ou seja, eficiência desses ventiladores é elevada (máxima 70%).
- Centrifugo de pás para trás: Apresenta eficiência maior e uma autolimitação de potência, isso significa que se o ventilador está sendo usado em sua máxima potência o motor não será sobrecarregado por mudanças de sistemas dutos, outra vantagem desse ventilador é de ser silencioso se trabalhar em um ponto eficiente.
- Axial propulsor: é o mais barato para mover grandes volumes de ar a baixas pressões. Geralmente utilizado para circulação de ar e raramente para ventilação local exaustora.
- Tubo-Axial: é um propulsor possui pás mais grossas e largas colocado dentro de um tubo, o que permite direta conexão em dutos.
- Axial com aerofólios: Possui calota central, o que possibilita sua utilização a pressões elevadas. Geralmente utilizado em ventilação de minas subterrâneas, e algumas ocasiões em indústrias, deve se ter cuidado na forma da pá para que não haja risco de erosão e corrosão.

Macintyre (1990), classifica os ventiladores conforme o nível energético da pressão:

- Baixa pressão: até uma pressão efetiva de 200 Kgf/m<sup>2</sup>.
- Média pressão: para pressões de 200 a 800 Kgf/m<sup>2</sup>.
- Alta pressão: para pressões de 800 a 2.500 Kgf/m<sup>2</sup>.
- Muito alta pressão: para pressões de 2.500 a 10.000 Kgf/m<sup>2</sup>.

## 2.4 TIPOS DE EXAUSTORES

São apresentadas os principais tipos e características dos diferentes equipamentos utilizados para captação de poluentes como por exemplo braços extratores, exaustores portáteis, sistemas centralizados, sucção na tocha (NEDERNAN, 2015).

- Braços Extratores

Os braços extratores Figura 4 devem ser flexíveis, leves e precisos, ou seja, o soldador deve posicioná-lo com um simples movimento, de forma que o equipamento se mantenha na posição desejada, ao mesmo tempo sem atrapalhar a operação de soldagem e captando eficientemente os fumos metálicos e gases gerados.



Figura 4: Exemplo de braço extrator individual acoplado em um exaustor.  
Fonte: Nederman, 2015.

Os braços extratores podem ser utilizados como unidades individuais, acoplados diretamente a um exaustor, em sistemas centralizados com um exaustor central e vários braços ou ainda em unidades de filtragem móveis.

- Exaustores Portáteis

São equipamentos para utilização em situações onde os braços extratores não tem acesso ao ponto de solda. O exaustor conforme Figura 5 é conectado diretamente a mangueiras flexíveis na entrada e na saída de ar, captando o ar contaminado do ponto de solda e descarregando-o no ambiente externo. Devido à necessidade de utilização de mangueiras, as vezes de grande comprimento, e ao próprio bocal magnético, este equipamento apresenta algumas limitações para utilização em

ambientes de produção. No entanto pode ser uma boa alternativa para locais confinados, em oficinas de pequeno porte ou em trabalhos eventuais de soldagens.



Figura 5: Exaustor de fumos metálicos e gases portátil.  
Fonte: Nederman, 2015.

- Sistemas Centralizados

Empresas que fazem uso intensivo de processos de soldagem como a indústria automobilística, de equipamentos pesados e metalúrgicas de grande porte, podem necessitar de sistemas centralizados que atendam às necessidades de captação de muitos pontos de solda.

O uso de braços extratores específicos para captação dos fumos metálicos e gases da soldagem, além de tornar o sistema muito mais eficaz o torna mais barato, tanto em termos de investimento inicial como em termos de operação. Um recurso disponível é a utilização de dampers automáticos em sistemas com vários braços extratores Figura 6.



Figura 6: Instalação centralizada para captação de fumos metálicos e gases de soldagem.  
Fonte: Nederman, 2015.

Os dampers automáticos são conectados através de sensores às máquinas de solda e só abrem durante o período da emissão dos poluentes. Quando o arco de soldagem é interrompido o damper se fecha automaticamente evitando desperdício de energia. Este recurso representa uma economia devido à redução na vazão total requerida pelos sistemas centralizados que podem então ser dimensionados com tubulações, exaustores e filtros muito menores.

- Sucção Na Tocha

É um método eficiente para a captação na fonte de poluentes gerados na soldagem Figura 7, no entanto apresenta algumas limitações, pois só pode ser usado no processo de soldagem MIG/MAG. Isto se deve ao fato de que a tocha utilizada em conjunto com o dispositivo de sucção é uma tocha MIG/MAG. Outra característica deste tipo de captação é sua baixa eficiência comparada à captação através de braços extratores, ou seja, de uma forma geral a quantidade de fumos metálicos e gases succionados é menor, dependendo das condições do local de soldagem e em especial da posição. Na posição sobre a cabeça, por exemplo, a captação é muito reduzida em comparação à posição plana.



Figura 7: Equipamento individual, móvel para sucção na tocha.  
Fonte: Nederman, 2015.

A filtragem dos fumos metálicos é necessária quando há recirculação do ar poluído captado, porém pode ser dispensável quando há descarga externa, dependendo da legislação local.



### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 ESTUDO DE CASO

Foi utilizado como bases os dados de uma empresa do setor metal mecânico na região noroeste do Rio Grande Do Sul, as estações a serem estudadas apresentam dimensão total de 21,1 m por 14,3 m, com uma área de 301,7 m<sup>2</sup>.

O estudo de caso foi dividido por duas estações A1 e A2, conforme a Figura 8, a estação A1 possui uma fonte de soldagem enquanto a estação A2 possui quatro fontes. A área analisada para realização da coleta de contaminantes é similar em todas as fontes de soldagem, apresentando uma área de 0,35 m<sup>2</sup> sendo uma característica importante para o dimensionamento do sistema.

A Figura 8 também representa a planta baixa da área em estudo com as respectivas fontes de soldagem identificados como A, B, C, D, E. Em relação a fonte de soldagem A as fontes B, C estão a uma distância de 8 m e as fontes D, E estão a 20 m. Em relação ao eixo y a fonte de soldagem A está centralizado na área em estudo, ou seja, está disposto a uma distância de 7,15 m, e as fontes B, C, D, E estão a uma distância de 2,5 m deslocados em relação a fonte de soldagem A.

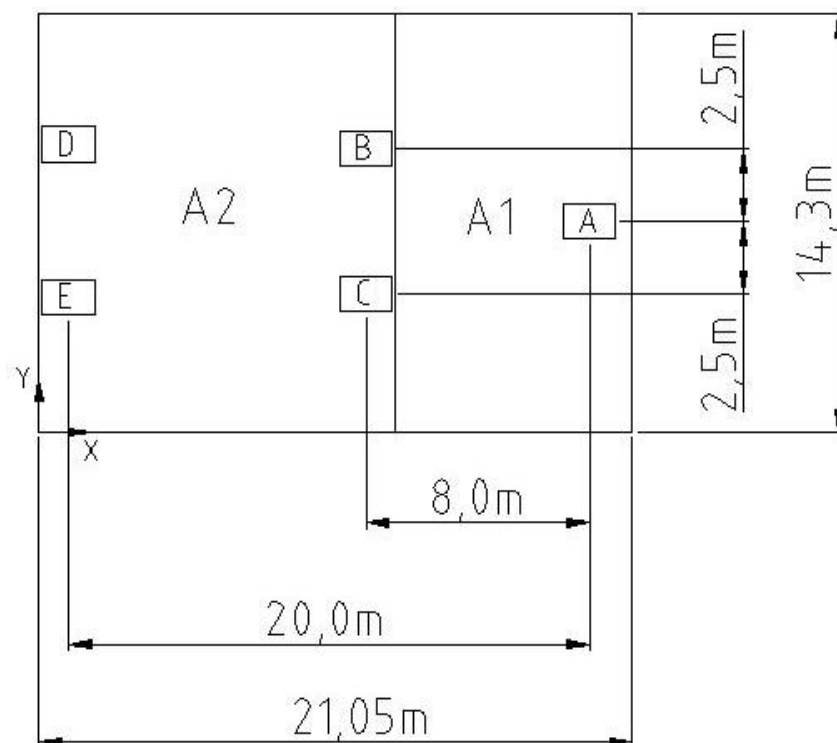


Figura 8: Área de estudo de caso.

## 3.2 MATERIAL

O material utilizado para o desenvolvimento foram os softwares de desenho computacional Solidworks, Autocad e RapidDuct. Por meio dos resultados obtidos do dimensionamento foi realizado o desenho 3D do sistema de exaustão. E com a disponibilidade do software RapidDuct para fins educacionais foi realizado o dimensionamento do sistema de exaustão.

Os softwares AutoCad e Solidworks são ferramenta gráficas suportadas pela tecnologia computacional, cujo objetivo é o desenvolvimento de desenhos e projetos aplicados às mais diversas áreas da engenharia possibilita a utilização para a elaboração de leiaute em (2D), e criação de modelos tridimensionais (3D), além dos desenhos técnicos.

O Software RapidDUCT é utilizado para o dimensionamento de instalações de distribuição de ar projetada por dutos. Indicado para o projeto de climatização, ventilação e exaustão. Calcula o tamanho dos dutos (seção retangular e circular), seleciona os difusores, ventilação, simula o comportamento do acoplamento ventilador-rede, etc. Desenha automaticamente as plantas da instalação com todos seus elementos. Gera a memória de cálculo e carta psicométrica. Para a realização de cálculos utiliza o método descrito no ASHRAE FUNDAMENTOS MANUAL (1997), e possui uma biblioteca de símbolos difusores, grelhas, filtros, válvulas, etc., também contém um banco de dados de pontos de distribuição, modelos de condutos e ventiladores comerciais entre outras opções que o programa disponibiliza.

## 4. MEMORIAL DE CÁLCULO

O memorial de cálculo descreve os cálculos efetuados até chegar ao resultado. A elaboração do dimensionamento do sistema de exaustão seguiu o método proposto por Costa (2005), que consiste da aplicação de expressões matemáticas.

### 4.1 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO NO CAPTOR

O primeiro passo é a determinação da vazão necessária no bocal de acordo com o tipo de bocal que está sendo dimensionado. O processo seguido é através da utilização da equação da estimativa da vazão (Q) na Equação 1.

$$Q = k.Vc.\Omega_0 \quad (1)$$

Onde:

Q= Vazão (m<sup>3</sup>/s)

k= Coeficiente de forma da boca do captor (adimensional)

$\Omega_0$ = Área de coleta de contaminante (m<sup>2</sup>)

Vc= Velocidade de captura (m/s)

O coeficiente de forma da boca do captor foi determinado de acordo com o tipo de bocal estabelecido pela Equação 2.

$$K = \frac{0,1.\Omega_0 + x^2}{0,1.\Omega_0} \quad (2)$$

Onde:

x= Distância do bocal ao ponto de captação (m)

K= Coeficiente de forma da boca do captor (adimensional)

A partir do resultado da vazão em cada captor, foi determinado o dimensionamento dos dutos.

### 4.2 DETERMINAÇÃO DOS DUTOS

Foi determinado a seção transversal do duto Equação 3, e a partir desse valor foi determinado o diâmetro do duto Equação 4, para isso foi aplicado a equação da continuidade.

$$Q = A \cdot c \quad (3)$$

Onde:

$A$ = Seção transversal do duto ( $m^2$ )

$c$ = Velocidade do ar poluído com gases e vapores (m/s)

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (4)$$

Onde:

$D$ = Diâmetro (m)

$\pi$ = Pi (3,14)

#### 4.3 DETERMINAÇÃO DA PERDA DE CARGA NO SISTEMA

A perda de carga do sistema foi determinada pelas Equações 5 e 6, recomendadas pela ASHRAE.

Por meio da Equação 5 determinou-se a perda de carga dos acessórios como captor, curvas, joelhos e saída do fluído.

$$J = \Sigma \lambda \frac{Vr^2}{2g} \cdot \gamma \quad (5)$$

Onde:

$J$ = Perda de carga ( $kgf/m^2$ )

$Vr$ = Velocidade real (m/s)

$\Sigma \lambda$ = Somatório do coeficiente de atrito (adimensional)

$g$ = Intensidade do campo gravitacional ( $9,81m/s^2$ )

$\gamma$ = Peso específico do ar ( $1,2 kgf/m^3$ )

Por meio da Equação 6 foi determinado a perda de carga dos dutos do sistema em estudo.

$$J_{dutos} = 0,001026 \cdot l \cdot \frac{Vr^{2,51}}{Q^{0,61}} \quad (6)$$

Onde:

$J_{dutos}$ = Perda de carga da dutos ( $kgf/m^2$ )

$l$ = Comprimento da canalização (m)

#### 4.4 POTÊNCIA MECÂNICA

A potência mecânica da instalação foi determinada por meio da Equação 7.

$$P_m = \frac{Q \cdot \Delta p_t}{75 \cdot \eta_t} \quad (7)$$

Onde:

$P_m$  = Potência mecânica (cv)

$\Delta p_t$  = Perda de carga do sistema (kgf/m<sup>2</sup>)

$\eta_t$  = Rendimento total (adimensional)

OTAM (2015), determina o procedimento para a determinação do ventilador da seguinte forma:

- Da Tabela 4 obteve-se, o coeficiente de correção, o qual é determinado de acordo com a elevação do nível do mar e a temperatura.
- O ventilador é selecionado dividindo a perda de carga total pelo coeficiente da Tabela 4.
- A potência real absorvida é equivalente à potência absorvida nas curvas, multiplicando pelo coeficiente da Tabela 4.

Tabela 4: Coeficiente de atrito de expansão do diâmetro.

Temp. do ar °C	Nível do mar 760	Elevação do nível do mar (m)								
		300	450	600	750	900	1200	1500	1800	2100
		Pressão Barométrica (mmHg)								
		735	720	705	695	680	655	630	610	585
-40	1,234	1,191	1,170	1,150	1,128	1,105	1,066	1,028	0,987	0,956
-18	1,152	1,110	1,092	1,072	1,052	1,033	0,950	0,957	0,922	0,894
0	1,082	1,043	1,024	1,005	1,052	0,970	0,934	0,900	0,865	0,838
20	1,000	0,964	0,947	0,930	0,990	0,896	0,864	0,832	0,799	0,774
38	0,946	0,912	0,895	0,878	0,913	0,847	0,816	0,785	0,755	0,732
66	0,869	0,838	0,824	0,807	0,863	0,779	0,750	0,722	0,695	0,672
93	0,803	0,775	0,760	0,747	0,793	0,720	0,693	0,667	0,642	0,622
121	0,747	0,720	0,707	0,695	0,682	0,670	0,645	0,622	0,592	0,578
149	0,679	0,672	0,660	0,647	0,626	0,625	0,602	0,579	0,577	0,540
177	0,654	0,630	0,620	0,608	0,597	0,586	0,654	0,543	0,522	0,507
205	0,616	0,594	0,583	0,572	0,562	0,552	0,532	0,512	0,482	0,477

Fonte: Adaptado OTAM, 2015.

OTAM (2015), apresenta algumas recomendações para a determinação da potência e rotação do ventilador:

- A potência absorvida lida nas curvas deve ser incrementada para ter em conta as perdas de transmissão, assim como uma eventual sobrecarga. Esta se produz quando o ponto de funcionamento do ventilador não coincide com o ponto de projeto.
- Se a queda de pressão ocasionada pelo sistema, para a vazão de projeto, for inferior à prevista, o ponto de trabalho se deslocará à direita, seguindo a curva de velocidade de rotação imposta pela transmissão, sendo a potência absorvida neste caso superior à prevista. Portanto é aconselhável incrementar a potência absorvida em 20%.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados do dimensionamento clássico e pelo software RapidDUCT, apresentando o desenho da planta da instalação.

### 5.1 DIMENSIONAMENTO CLÁSSICO

#### 5.1.1 Determinação da vazão no captor

O coeficiente de forma da boca do captor Equação 2 foi determinado de acordo com o tipo de captor selecionado que foi do tipo boca bem arredondada, pois apresenta baixo fator de atrito e alto coeficiente de entrada se comparado com os demais captores do Quadro 4, considerando a distância do captor até o ponto de operação de 0,3048m, conforme Tabela 1.

$$K = 3,65$$

Com o valor do coeficiente de forma da boca do captor foi determinado a vazão de cada bocal, por meio da Equação 1 da estimativa da vazão (Q), considerando os dados iniciais para o dimensionamento, a velocidade de captura (0,5 m/s) conforme quadro 2 e área de captação (0,35m<sup>2</sup>).

$$Q = 0,64 \text{ m}^3/\text{s}$$

A partir do resultado da vazão em cada captor, foi determinado o dimensionamento dos dutos.

#### 5.1.2 Determinação dos dutos

A Figura 9, representa o leiaute preliminar do sistema de exaustão do estudo, os pontos 2, 5, 6, 7, e 8 representam os captor, o ponto 1 representa o ventilador, e o ponto 9 a saída do ar.

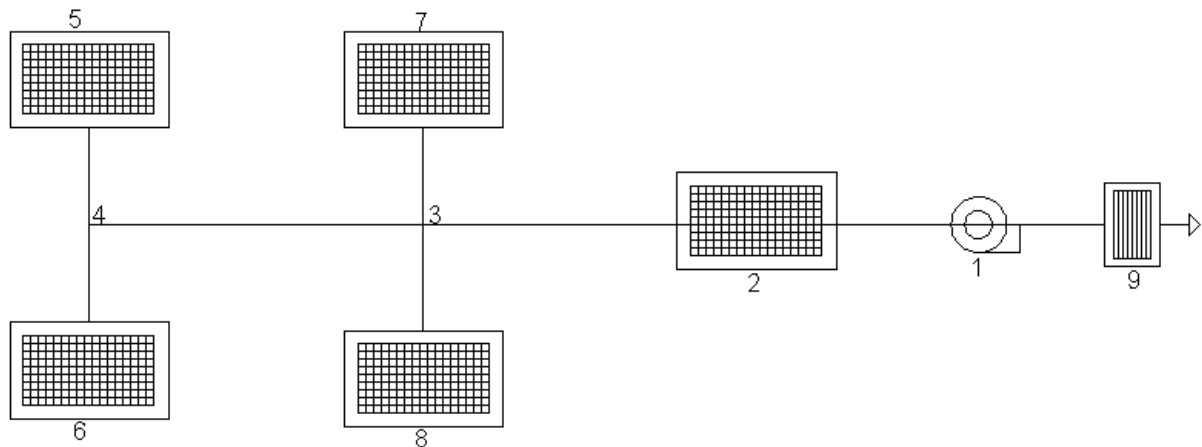


Figura 9: Leiaute preliminar do sistema de exaustão.  
Fonte: RapidDUCT.

A partir da determinação da vazão em cada bocal, foi determinado a velocidade máxima nos diversos trechos sendo 10 m/s, conforme Quadro 5. A partir da vazão em cada segmento foi determinado o diâmetro dos dutos por meio da Equação 4, e posteriormente foi determinado no catálogo tubos Oliveira o diâmetro comercial, e com o diâmetro comercial foi calculado a velocidade real no duto. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados dos dutos no sistema de exaustão

Trecho	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$A$ (m <sup>2</sup> )	$D$ (m)	$\phi$ C (m)	$V_r$ (m/s)
Duto (1-2)	3,20	0,320	0,638	0,64	10,10
Duto (2-3)	2,56	0,256	0,571	0,609	8,79
Duto (3-4)	1,28	0,128	0,404	0,406	9,88
Duto (4-5, 4-6, 3-7, 3-8)	0,64	0,064	0,285	0,355	6,46
Duto (2-M)	0,64	0,064	0,285	0,355	6,46
Duto (1-9)	3,20	0,320	0,638	0,64	10,10

Onde:

$\phi$  C= Diâmetro comercial (m)

$V_r$  = Velocidade real (m/s)

Após a aplicação dos cálculos teóricos de dimensionamento dos dutos, foi determinado as perdas de carga no sistema.



### 5.1.3 Determinação da perda de carga no sistema

Por meio da Equação 5 foi determinado a perda de carga do captor, curvas, joelhos, aumento de seção e saída do fluido, os valores estão apresentados na Tabela 6.

Foi considerado como dados iniciais de coeficiente de atrito 0,26 (Tabela 2) para cada curva, e que o sistema contém 4 curvas. Para cada joelho do sistema foi considerado um coeficiente de atrito de 0,58 (Quadro 6), totalizando 5 joelhos no sistema, foram consideradas 7 reduções de seção com coeficiente de atrito de 0,58 (Tabela 3), para o captor foi considerado um coeficiente de atrito de 0,04 (Quadro 4) e para a saída do fluido o coeficiente de atrito é 1 conforme sugerido por Costa (2005).

Tabela 6: Resultado da perda de carga dos acessórios.

Elemento	$J$ (kgf/m <sup>2</sup> )	$J$ (Pa)
Captos	0,511	5,01
Curvas	2,658	26,08
Joelhos	24,04	238,87
Redução da seção	18,77	184,11
Saída	6,12	60,07
<b>Total</b>	<b>52,104</b>	<b>511,14</b>

Por meio da Equação 6 foi determinado a perda de carga dos dutos do sistema em estudo. Considerando como dados iniciais a vazão e o comprimento em cada segmento da tubulação conforme Tabela 7.

Tabela 7: Dados do sistema.

Segmento	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$L$ (m)
Duto (1 - 2)	3,20	1
Duto (2 - 3)	2,56	8
Duto (3 - 4)	1,28	12
Duto (4 - 5, 4 - 6, 3 - 7, 3 - 8)	0,64	10
Duto (2 - M)	0,64	7,5
Duto (1 - 9)	3,20	4

A Tabela 8 apresenta os resultados da perda de carga dos dutos do sistema.

Tabela 8: Resultados da perda de carga na canalização.

Segmento	$J$ (kgf/m <sup>2</sup> )	$J$ (Pa)
Duto (1 - 2)	0,168	1,64
Duto (2 - 3)	1,082	10,62
Duto (3 - 4)	3,330	32,67
Duto (4 - 5, 4 - 6, 3 - 7, 3 - 8)	1,459	14,31
Duto (2 - M)	1,094	10,73
Duto (1 - 9)	0,670	6,58
<b>Total</b>	<b>7,80</b>	<b>76,55</b>

#### 5.1.4 Potência mecânica

A potência mecânica da instalação foi determinada por meio da Equação 7. Considerando a perda de carga total do sistema (59,91 kgf/m<sup>2</sup> correspondente a 587,69 Pa) e um rendimento de 70% conforme indicado por Costa (2005).

$$P_m = 3,65 \text{ cv}$$

$$P_m = 2,68 \text{ kW}$$

Após a determinação da vazão total necessária, tipo de captor, dutos, perdas de carga no sistema, foi recomendado através de catálogos o ventilador adequado para o estudo de caso.

No Anexo A é apresentado a curva característica do ventilador centrífugo de RFS 710, de simples aspiração. A Tabela 9 apresenta os valores encontrados por meio do anexo A, a potência, a rotação e o rendimento. Conforme Tabela 4 o coeficiente de correção é de 0,964, portanto a perda de carga a ser plotada na curva característica do ventilador será de 62,14 kgf/m<sup>2</sup>.

Tabela 9: Dados do ventilador OTAM.

Rotação	920 rpm
Potência	2,9 cv ou 2,13 kW
Rendimento	88%

Fonte: OTAM, 2015.

Recalculando a potência do ventilador com rendimento de 88%, a potência é de 2,9 cv ou 2,13 kW. No entanto o catálogo OTAM (2015), recomenda que a potência absorvida lida nas curvas dever ser incrementada em 20% para ter em conta as perdas de transmissão, assim como uma eventual sobrecarga no sistema, portanto a potência do ventilador será de 3,5 cv ou 2,6 kW.

## 5.2 DIMENSIONAMENTO PELO SOFTWARE RAPIDDUCT

Inicialmente foi atribuído as características do tipo de ventilação, altitude geográfica, tipo de utilização do edifício, modelo de duto, propriedades gerais dos dutos, conforme Figura 10

Dados gerais

Instalação: VENTILAÇÃO FORÇADA LOCAL

Altitude geográfica (m): 277,00

Utilização do edifício: INDUSTRIA

Propriedades gerais dos dutos

Modelo de duto: Conducto C-Chapa-UNE

Tipo de transformação: Cotovelo liso R/H

Relação R/H: 1,00

Altura máxima (m): 10,000

Modelo boca impulsão: Rejilla impulsión

Modelo boca retorno: AIRZONE Rejilla retorno techo

Aceitar Cancelar Ajuda

Figura 10: Dados gerais.  
Fonte: RapidDUCT.

A segunda tarefa realizada foi o desenho do leiaute de distribuição dos coletores Figura 11, determinando a localização da tubulação, o tipo de bocal do captor, ventilador e a saída de ar.

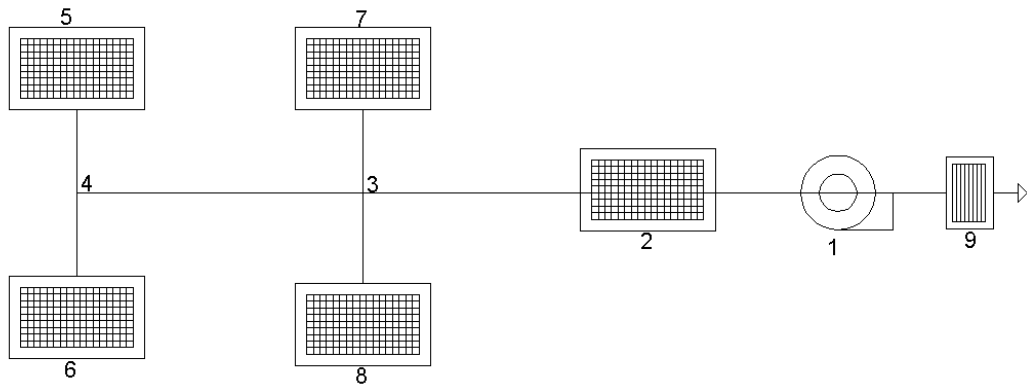


Figura 11: Desenho do sistema de exaustão.  
Fonte: RapidDUCT.

Então foi realizado a configuração do gerenciamento de camadas onde determinou-se o nome da área e a cor do sistema e também foi determinado em qual área do estudo para o software realizar os cálculos, conforme Figura 12.

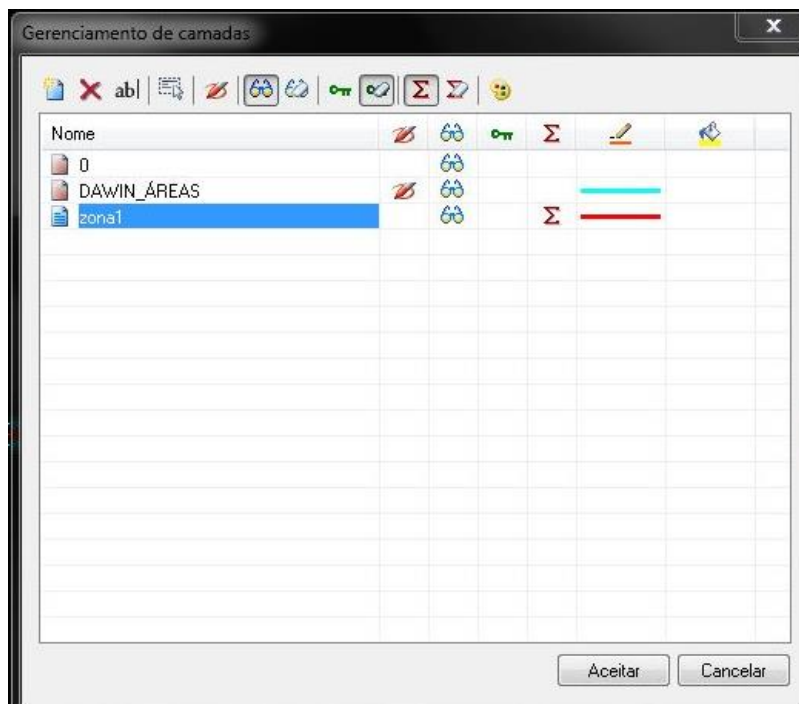


Figura 12: Gerenciamento de camadas.  
Fonte: RapidDUCT.

Posteriormente foi atribuído as propriedades das bocas dos captos, como a vazão, e o modelo disponível no software, conforme Figura 13.



Figura 13: Propriedades do bocal.  
Fonte: RapidDUCT.

Posteriormente foi atribuído as propriedades do duto, como modelo do duto disponível do software, conforme Figura 14.

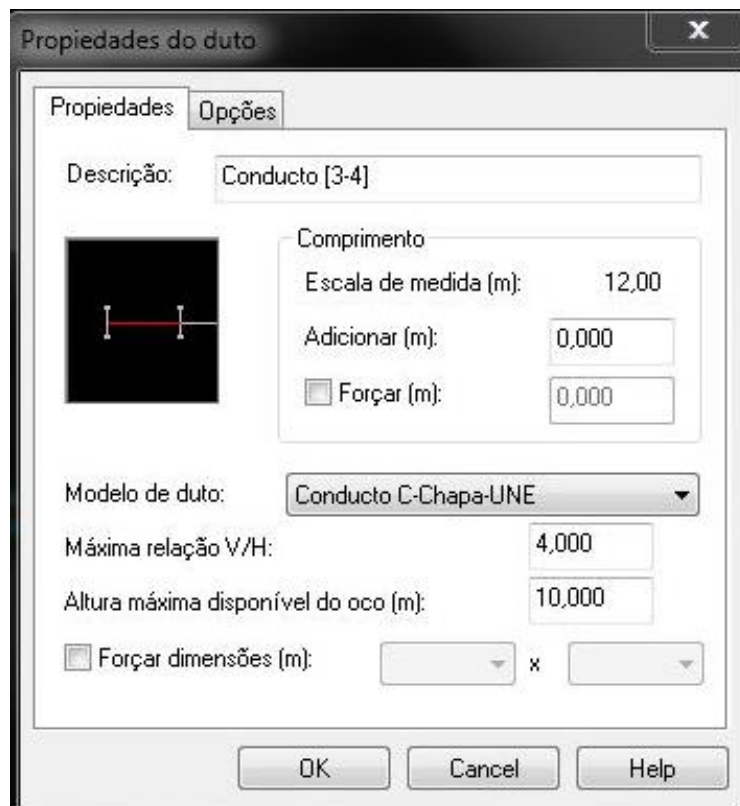


Figura 14: Propriedades do duto.  
Fonte: RapidDUCT.

Em seguida foi atribuído as propriedades do ventilador, como modelo do ventilador disponível do software, para o sistema de exaustão o método de cálculo é

por velocidade constante sendo adotado a velocidade de 10 m/s, conforme Figura 15, Figura 16 e Figura 17.



Figura 15: Propriedades do ventilador.  
Fonte: RapidDUCT.

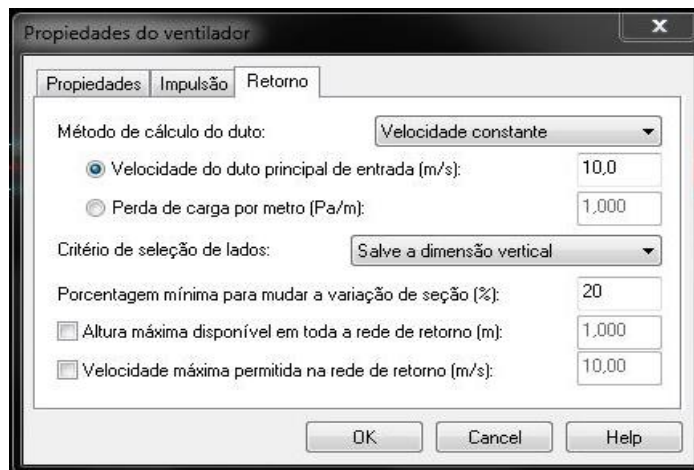


Figura 16: Propriedades do ventilador - retorno.  
Fonte: RapidDUCT.

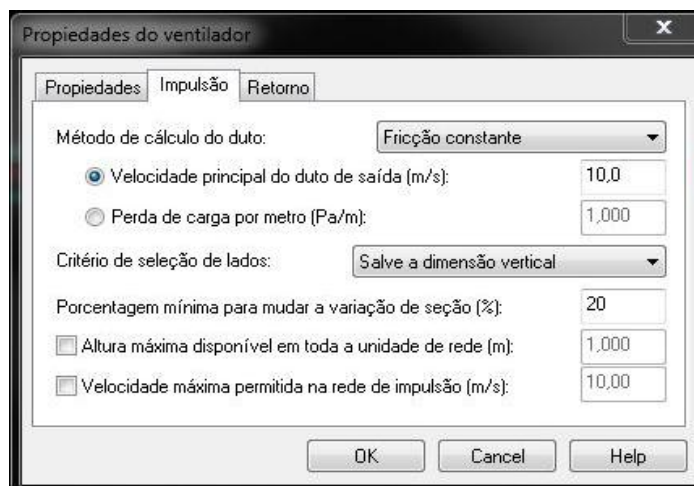


Figura 17: Propriedades do ventilador - impulsão.  
Fonte: RapidDUCT.

Na Figura foi determinado a vazão total para a saída do ar por meio do somatório da vazão de cada captor e a velocidade máxima de saída do ar foi considerada 10m/s conforme Quadro 5.

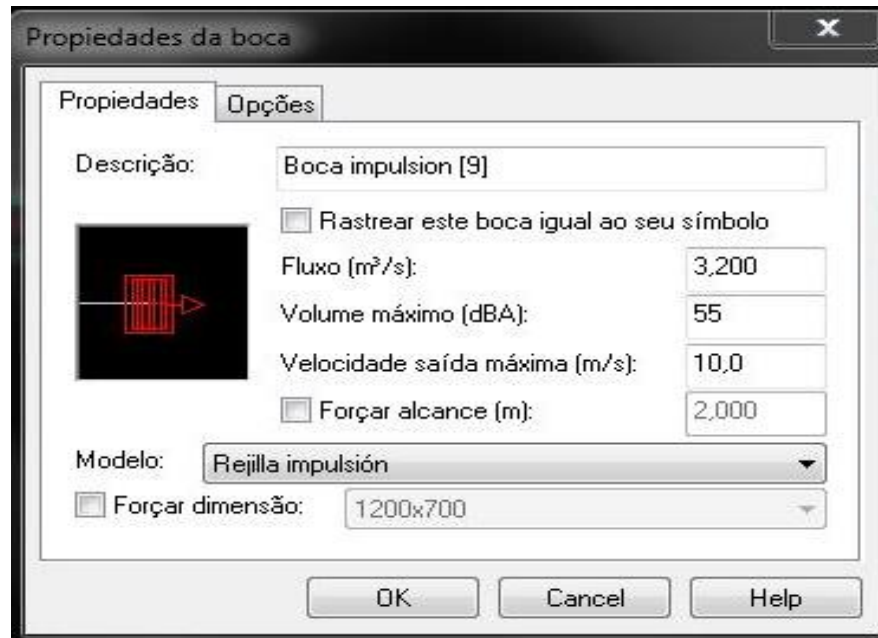


Figura 18: Propriedades da boca de impulsão.  
Fonte: RapidDUCT.

Após determinado as propriedades do sistema de dutos, captores, e ventilador obteve-se os resultados do ventilador. A linha com estrela corresponde a curva do ventilador e a linha com os pontos corresponde a linha do sistema Figura 19.

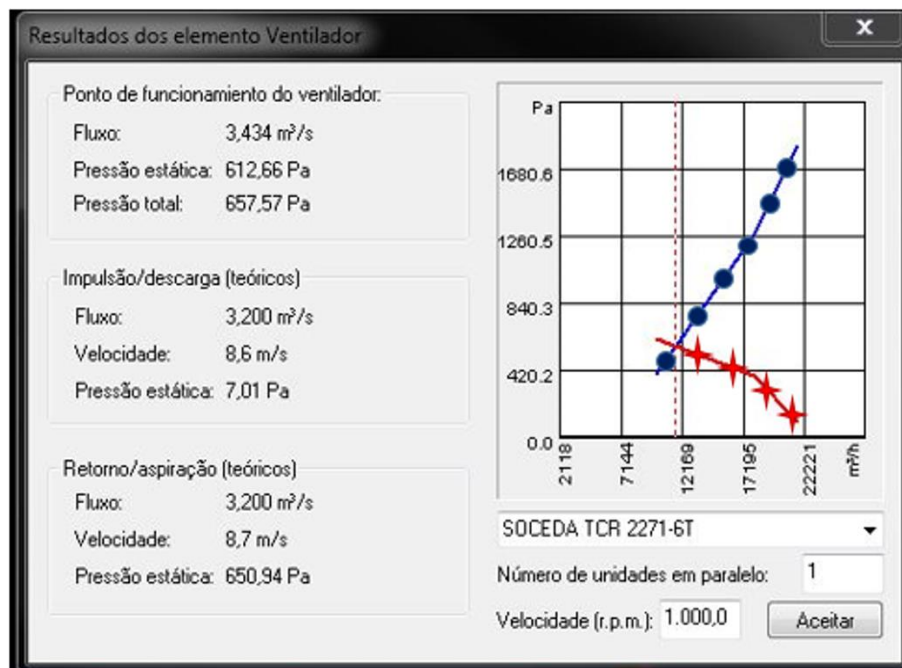


Figura 19: Resultado dos elementos do Ventilador.  
Fonte: RapidDUCT.

Após o esboço do leiaute do sistema, selecionamento dos coletores, tubulação e ventilador, o software RapidDUCT converte as informações em um modelo 2D (Figura 20).

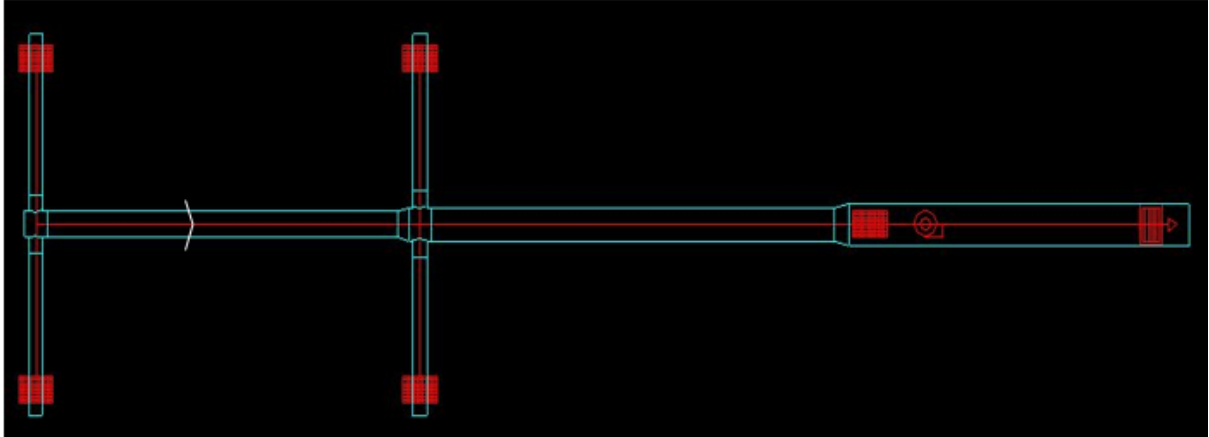


Figura 20: Desenho da tubulação.  
Fonte: RapidDUCT.

O software permite a elaboração de um relatório contemplando todas as informações do projeto. No Apêndice A é apresentado o relatório do dimensionamento pelo software.

### 5.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO CLÁSSICO E DO SOFTWARE

Na Tabela 10 é apresentada a análise dos resultados dos cálculos realizado pelo método clássico e pelo software RapidDUCT.

Tabela 10: Comparação dos resultados.

	Conduto (1-2)	Conduto (2-3)	Conduto (3-4)	Conduto (4-5, 4-6, 3-7, 3-8)	Conduto (2-M)	Conduto (1-9)
<b>Φ C Clássico (m)</b>	0,64	0,609	0,406	0,355	0,355	0,64
<b>Φ RapidDUCT (m)</b>	0,63	0,5	0,4	0,25	0,25	0,63
<b>Velocidade Clássico (m/s)</b>	10,10	8,79	9,88	6,46	6,46	10,10
<b>Velocidade RapidDUCT (m/s)</b>	11	14	10,9	14	14	11
<b>Perda de carga Clássico (Pa)</b>	1,64	10,62	32,67	14,31	10,73	6,58
<b>Perda de carga RapidDUCT (Pa)</b>	1,71	28,04	35,24	20,42	-	6,84
<b>Perda de carga total Clássico (Pa)</b>	587,70					
<b>Perda de carga total RapidDUCT (Pa)</b>	657,50					



O Software possui o equacionamento segundo a norma ASHRAE, recomenda-se o uso do software pela sua facilidade operacional, que proporciona menor tempo para o desenvolvimento do dimensionamento. A diferença dos resultados do software em relação ao método clássico deve-se pelos valores de coeficientes aplicados, no software foi utilizado os sistemas disponíveis em seu banco de dados, apresentando um coeficiente para cada tipo de duto e acessório. E, para o dimensionamento clássico os coeficientes utilizados seguiu o método sugerido por Costa (2005).

#### 5.4 MODELAGEM 3D DO SISTEMA DE EXAUSTÃO

A Figura 22 representa a vista frontal do modelo 3D do sistema de exaustão, sendo possível verificar a mudança de diâmetro da tubulação. E a Figura 22 representa a vista isométrica do sistema de exaustão, sendo possível visualizar o sistema no geral como os dutos, captores, ventilador, curvas e redução de seção.

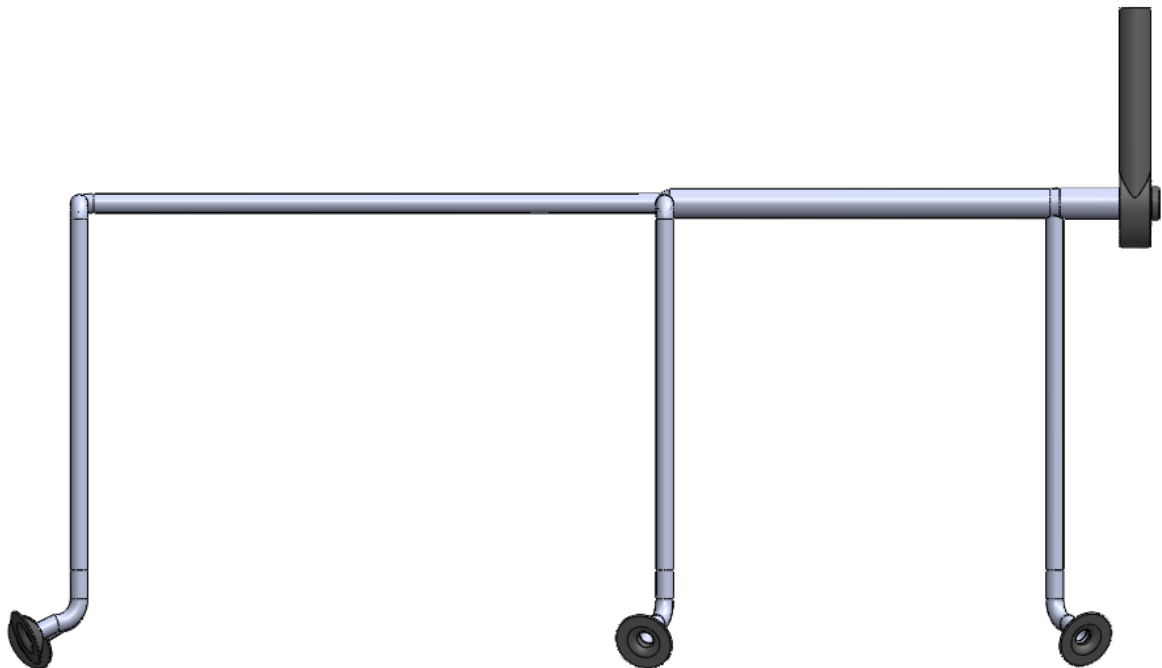


Figura 21: Vista frontal do modelo 3D.

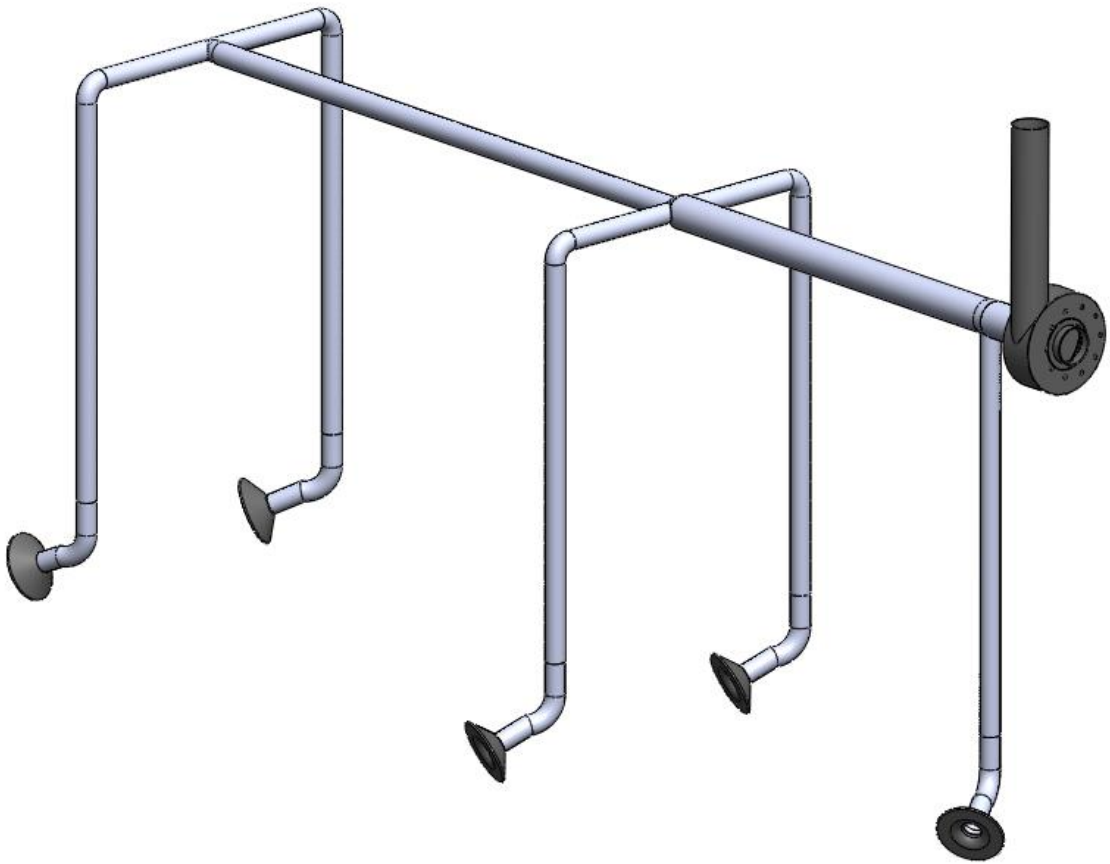


Figura 22: Vista isométrica do modelo 3D.

## 6. CONCLUSÃO

As indústrias de máquinas agrícolas apresentam uma grande quantidade de processos geradores de agentes tóxicos e os sistemas de exaustão contribuem para um ambiente de trabalho salubre, removendo os gases e fumos metálicos que são prejudiciais à saúde do operador.

A aplicação de um memorial descritivo para o dimensionamento de um sistema de exaustão, por meio da velocidade de captura, da velocidade do ar nos dutos, distância do captor ao ponto de captação, possibilitou a determinação da vazão, do diâmetro dos dutos e da perda de carga do sistema, com os dados necessários foi possível determinar o ventilador com a respectiva característica de potência, rotação e rendimento, porém é um processo que requer cuidados na aplicação das equações e demanda maior tempo do projetista.

O dimensionamento por meio do software RapidDUCT, permite um menor tempo de projeto e gera automaticamente os desenhos dos elementos constituintes do sistema de exaustão. Os dados do software são exportados por meio de um relatório, onde cabe ao projetista analisar a conformidade dos dados fornecidos pelo programa.

Os valores do diâmetro da tubulação definidos pelo método clássico e pelo software são similares. No entanto, foi constatado diferentes valores para as perdas de carga no sistema, que se justifica devido o software seguir o equacionamento proposto pela ASHRAE. O software tem em seu banco de dados os coeficientes para cada tipo de material e acessórios, no método clássico foi adotado os coeficientes sugeridos por Costa (2005). Para a seleção do ventilador os valores de perda de carga resultantes do software (657,57 Pa) e do método clássico (587,69 Pa) resultam no mesmo ventilador sugerido pelo software RapidDUCT.

Ambos os métodos de dimensionamento são válidos para projetos de sistemas de exaustão e a escolha do método para a aplicação do dimensionamento dependerá da empresa, de quanto tempo e investimento tem disponível para. O software permite a execução de projetos em um menor tempo pela facilidade de desenvolvimento e possíveis correções durante o dimensionamento, assim tornando o projeto mais eficiente, porém é essencial que o projetista conheça o método clássico para garantir a coerência dos dados fornecidos pelo software.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATLAS, E. **Segurança e Medicina do Trabalho**. 74. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

CLEZAR, C. A; NOGUEIRA, A. C. R. **Ventilação industrial**. Florianópolis: UFSC, 1999.

COSTA, Ê. C. Da. **Ventilação**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

FÜHR, T. A. **Reconhecimento e avaliação dos riscos ambientais gerados nos processos de soldagem de uma empresa do segmento metal mecânico**. Tese (Pós graduação/Engenharia de Segurança do trabalho) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí. 2012.

LISBOA, H. de M. **Controle da poluição atmosférica: Ventilação Industrial**. Montreal, 2007.

MACINTYRE, A. J. **Ventilação Industrial E Controle Da Poluição**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1990.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2009.

MESQUITA, A. L. S.; GUIMARÃES, F. A.; NEFUSSI, N. **Engenharia De Ventilação industrial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

NEDERMAN. **Seleção de equipamentos para captação de fumos e gases de soldagem**. Disponível em: <<http://www.mkfiltragem.com.br/informativos/Selecao3.pdf>>. Acesso: 16 Nov. 2015.

OLIVEIRA, J. M De. **Noções de ventilação Industrial**. 2008. Disponível em: <[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/VENTILACAO\\_INDUSTRIAL.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/VENTILACAO_INDUSTRIAL.pdf)>. Acesso: 09 Jul. 2015.

OTAM. **Ventiladores centrífugos RFS/RFD.** Disponível em:  
<[http://www.solerpalau.com.br/public/files/folders/d98c1pt\\_rfs\\_rfd\\_025\\_2011\\_j.pdf](http://www.solerpalau.com.br/public/files/folders/d98c1pt_rfs_rfd_025_2011_j.pdf)>

Acesso em: 01 Out. 2015

SILVA, S. A. da. **Análise Ergonômica Do Trabalho Do Soldador: Contribuição Para Projeção Ergonômica.** Tese (Mestrado/Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SODECA. **Ventiladores centrífugos e exaustores em linha para condutas.**

Disponível em:

<[http://www.sodeca.com/upload/imgCatalogos/PT/CT01\\_centrifugo\\_online\\_2014PT.pdf](http://www.sodeca.com/upload/imgCatalogos/PT/CT01_centrifugo_online_2014PT.pdf)> Acesso: 26 Set. 2015.

TUBOS, Oliveira. **Catálogo de produtos.** Disponível em:

<<http://www.tubosoliveira.com.br/images/catalogo-2013.pdf>> Acesso em: 26 Set. 2015.

# APÊNDICE A - Dimensionamento Software RapidDUCT

## MEMORIAL DE CÁLCULO

### DADOS DO EDIFÍCIO

Uso do edifício: INDÚSTRIA

Altitude geográfica: 277,00 m.

### CARACTERÍSTICAS DO VENTILADOR

Vazão de Aspiração e descarga: 3,434 m³/s.

Pressão estática necessária: 612,66 Pa.

Pressão total necessária: 657,57 Pa.

Temperatura do ar nos dutos: 20 °C.

Velocidade de descarga: 8,6 m/s.

Foi selecionado um equipamento comercial com referência SODECA TCR 2271-6T, girando a uma velocidade de 1.000 RPM (Anexo A).

### MÉTODO DE CÁLCULO

As fórmulas de cálculo que foram utilizadas são as apresentadas no manual ASHRAE HANDBOOK. FUNDAMENTALS 1997 editado por American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. das quais são reproduzidas as mais importantes:

#### Perdas de pressão por fricção:

$$\Delta P_f = f \cdot \frac{L}{Dh} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

E utilizando a equação de Blasius:

$$f = 0,173 \cdot \alpha \cdot Re^{-0,18} \cdot Dh^{-0,04}$$

Se obtém a equação para o ar úmido:

$$\Delta P_f = \alpha \cdot 14,1 \cdot 10^{-3} \cdot L \cdot \frac{v^{1,82}}{Dh^{1,22}}$$

Esta equação é válida para temperaturas compreendidas entre 15,0 °C e 40,0 °C, pressões inferiores a correspondente a uma altitude de 1.000,00 m. E umidades relativas compreendidas entre 0% e 90%.

Onde:

$\Delta P_f$ = Perdas de pressão por fricção (Pa)

$f$ = Fator de fricção (adimensional)

$D_h$ = Diâmetro hidráulico (m)

$v$ = Velocidade (m/s)

$Re$ = Número de Reynolds (adimensional)

$L$ = Comprimento total (m)

$\alpha$ = Fator que depende do material utilizado (adimensional)

### **Perdas de pressão por singularidades:**

$$\Delta P_s = C_o \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

Onde:

$\Delta P_s$ = Perdas de pressão por singularidades (Pa)

$C_o$ = coeficiente de perda dinâmica (adimensional)

$\rho$  = Densidade do ar úmido (kg/m<sup>3</sup>)

Os coeficientes  $C_o$  de perda de carga dinâmica estão tabulados para os distintos tipos de acessórios normalmente utilizados nas redes da canalização.

### **Métodos de dimensionamento:**

O circuito de impulsão foi calculado usando o método de fricção constante. Para o dimensionamento do circuito de retorno foi utilizado o método de Velocidade constante.

### **Método de Atrito Constante**

Consiste em calcular a canalização de forma que a perda de carga por unidade de comprimento em todos os tramos do sistema seja idêntica. A área da seção de cada duto está relacionada unicamente com a vazão de ar que transporta, por tanto, de igual percentagem de vazão sobre o total, igual área de dutos.

### **Método da Velocidade constante**

Este método consiste em manter constante a velocidade nos dutos, reduzindo a seção o valor adequado depois de cada derivação.

A pressão estática necessária no ventilador se calcula levando em conta a perda de carga no tramo de maior resistência e o ganho de pressão devida a redução da velocidade desde o ventilador até o final deste tramo.

## Dimensões Seleccionadas

### Dutos de impulsão

A rede de dutos de impulsão consta de 1 dutos e 1 bocas de distribuição. A seguir são detalhados os resultados mais importantes:

- Vazão de impulsão 3,434 m<sup>3</sup>/s.
- Perda de carga no duto principal 1,711 Pa/m.

### Dutos de retorno

A rede de dutos de retorno consta de 7 dutos e 5 bocas de distribuição. Os resultados detalhados tramo a tramo são expostos nos anexos de cálculo incluídos nesta memória. A seguir se detalha os resultados mais importantes:

- Vazão de retorno 3,434 m<sup>3</sup>/s.
- Perda de carga no duto principal 1,711 Pa/m.
- A máxima velocidade se alcança no duto conduto [4-5] e tem o valor 14,0 m/s.
- A mínima velocidade se alcança no duto conduto [3-4] e tem o valor 10,9 m/s.

## ANEXO DE CÁLCULO DAS REDES DE DUTOS

### SUBSISTEMA “Ventilador”

#### DETALHE DO CÁLCULO DAS UNIDADES TERMINAIS

IMPULSÃO	Dimensões (Horz.xVert) ou Ø (m)	Q Nom. (m <sup>3</sup> /s)	Q real (m <sup>3</sup> /s)	Nível s. (dBA)	A. (m <sup>2</sup> )	C (m/s)	ΔPs (Pa)	ΔPb (Pa)	ΔPe (Pa)	ΔPc (Pa)	ΔPv (Pa)
Boca impulsão [9]	700x700	3,200	3,434	25,6	1,131	4,1	28,92	12,99	0,00	0,45	51,92



RETORNO	Dimensões (Horz.xVert.) ou Ø (m)	Q Nom. m³/s	Q real m³/s	Nível s. dBA	A. m²	C m/s	ΔPs (Pa)	ΔPb (Pa)	ΔPe (Pa)	ΔPc (Pa)	ΔPv (Pa)
Boca retorno [5]	R 600x600	0,640	0,687	35,1	0,360	6,0	335,67	16,18	84,05	2,15	604,72
Boca retorno [6]	R 600x600	0,640	0,687	35,1	0,360	6,0	335,67	16,18	84,05	2,15	604,72
Boca retorno [7]	R 600x600	0,640	0,687	35,1	0,360	6,0	335,49	16,17	0,00	2,15	604,80
Boca retorno [8]	R 600x600	0,640	0,687	35,1	0,360	6,0	335,49	16,17	0,00	2,15	604,80
Boca retorno [2]	R 600x600	0,640	0,687	35,1	0,360	6,0	27,77	16,17	612,79	0,07	605,65

Onde:

Q Nom= Vazão nominal;

Q real= Vazão real;

Nível s= Nível sonoro;

A= Seção na entrada;

C= Velocidade na saída;

Δ Ps= Perda de pressão nas transformações de conexão (Pa);

Δ Pb= Perda de pressão na boca (Pa);

Δ Pc= Perda de pressão no duto de conexão (Pa);

Δ Pe= Perda de pressão provocada na comporta para o equilíbrio do sistema (Pa);

Δ Pv= Pressão total necessária desde o ventilador (Pa).

#### DETALHE DO CÁLCULO DOS DUTOS

IMPULSÃO	Ø (m)	Área (m²)	Ø eqv. (m)	L ong (m)	L eqv. (m)	Vazão (m³/s)	C (m/s)	ΔPs. (Pa)	ΔPf. (Pa)	ΔPt (Pa)	Pt. final (Pa)
Conduto [1-9]	Ø 0,63	0,312	0,63	4,00	1,59	3,434	11,0	2,72	6,84	9,56	42,36

RETORNO	Ø (m)	Área (m²)	D eqv. (m)	L ong (m)	L eqv. (m)	Vazão (m³/s)	C (m/s)	ΔPs. (Pa)	ΔPf. (Pa)	ΔPt (Pa)	Pt. final (Pa)
Conduto [1-2]	Ø 0,63	0,312	0,63	1,00	1,56	3,434	11,0	2,67	1,71	4,38	601,26
Conduto [2-3]	Ø 0,50	0,196	0,50	8,00	12,18	2,748	14,0	42,69	28,04	70,73	530,54
Conduto [3-4]	Ø 0,40	0,126	0,40	12,00	1,50	1,374	10,9	4,40	35,24	39,64	499,69
Conduto [4-5]	Ø 0,25	0,0491	0,25	2,50	4,93	0,687	14,0	40,30	20,42	60,71	438,98
Conduto [4-6]	Ø 0,25	0,0491	0,25	2,50	4,93	0,687	14,0	40,30	20,42	60,71	438,98
Conduto [3-7]	Ø 0,25	0,0491	0,25	2,50	19,05	0,687	14,0	155,47	20,41	175,88	354,66
Conduto [3-8]	Ø 0,25	0,0491	0,25	2,50	19,05	0,687	14,0	155,47	20,41	175,88	354,66

Onde:

Ø eqv= Diâmetro do duto circular equivalente (m);

L ong= Comprimento de duto reto (m);

L eqv= Comprimento equivalente de duto reto devida as transformações e curvas (m);

Δ Ps= Perda de pressão nos acessórios e singularidades (Pa);

Δ Pf= Perda de pressão por fricção (Pa);

Δ P= Perda de pressão total no duto (Pa);

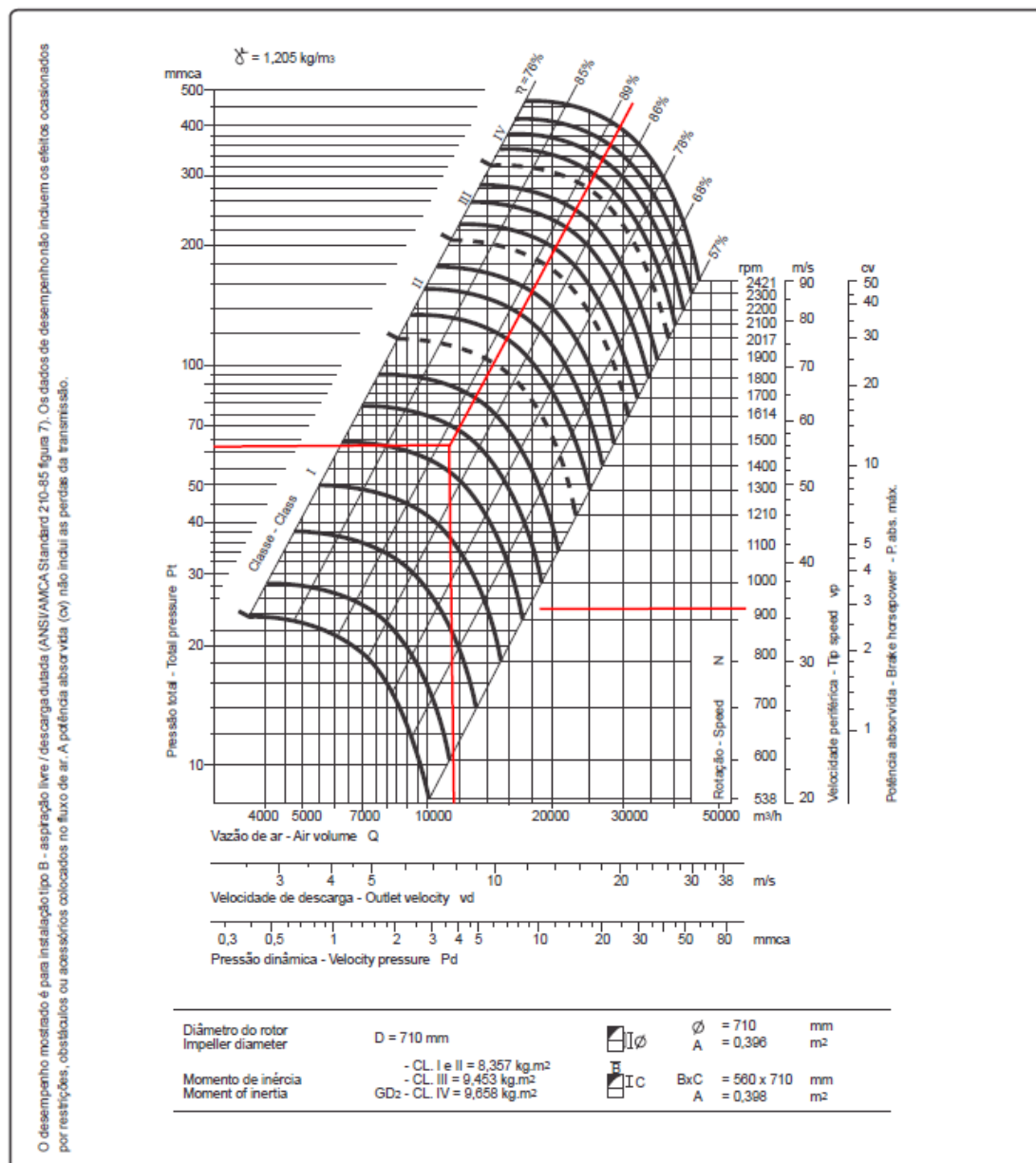
Pt Final= Pressão total ao final do duto (Pa).

**LISTA DE ELEMENTOS**

<b>Unidades</b>	<b>Descrição</b>	<b>QTDE</b>
und	Ventilador [1] (3,434 m <sup>3</sup> /s; 612,66 Pa)	1
und	AIRFLOW R Lamas R 600x600	5
und	Impulsão 700x700	1
m	Conduto C-Chapa-UNE ø 0,50 m	8,05
m	Conduto C-Chapa-UNE ø 0,25 m	9,39
m	Conduto C-Chapa-UNE ø 0,40 m	11,75
m	Conduto C-Chapa-UNE ø 0,63 m	5,30
und	Conduto C-Chapa-UNE ø 500 mm Cotovelo 90° liso R/H = 1,00	1
und	Conduto C-Chapa-UNE ø 250 mm Cotovelo 90° liso R/H = 1,00	4
und	Conduto C-Chapa-UNE ø 630 mm Cotovelo 90° liso R/H = 1,00	1
und	Conduto C-Chapa-UNE ø 0,40 m Peça em T	1
und	Conduto C-Chapa-UNE ø 0,50 m Peça em Cruz	1
und	Conduto C-Chapa-UNE Redução ø 0,40 m-ø 0,25 m	2
und	Conduto C-Chapa-UNE Redução ø 0,50 m-ø 0,25 m	2
und	Conduto C-Chapa-UNE Redução ø 0,63 m-ø 0,50 m	1
und	Conduto C-Chapa-UNE Redução ø 0,50 m-ø 0,40 m	1

## ANEXO A - Curva característica ventilador centrífugo OTAM

RFS 710



**ANEXO B - Curva característica ventilador centrífugo SODECA**