

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

RÔMULO SILVA KUNZLER

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE CAPTURA E COLETA DE RESÍDUOS  
DE MADEIRA EM UMA INDÚSTRIA DE PORTAS

Xanxerê

2022

RÔMULO SILVA KUNZLER

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE CAPTURA E COLETA DE RESÍDUOS  
DE MADEIRA EM UMA INDÚSTRIA DE PORTAS

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Câmpus Xanxerê do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Jean Monteiro de Pinho, Dr.

Coorientador: Prof. Jeancarlos Araldi, Dr.

Xanxerê

2022

RÔMULO SILVA KUNZLER

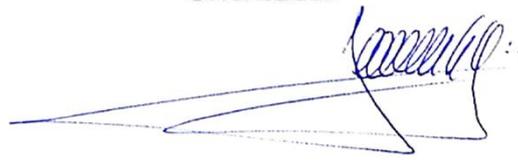
DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE CAPTURA E COLETA DE RESÍDUOS  
DE MADEIRA EM UMA INDÚSTRIA DE PORTAS

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Mecânico,  
pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e  
aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora  
abaixo indicada.

Xanxerê, 29, novembro de 2022.

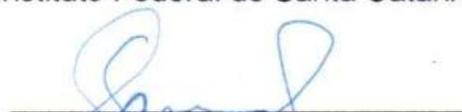


Prof. Jean Monteiro de Pinho, Dr  
Orientador

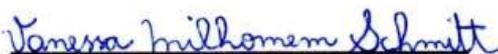


Prof. Jeancarlos Araldi, Dr.  
Coorientador

Instituto Federal de Santa Catarina



Prof. Samuel Scheleski, Me.  
Instituto Federal de Santa Catarina



Prof. Vanessa Milhomem Schmitt, Ma.  
Instituto Federal de Santa Catarina



Dedico este trabalho em memória da  
minha avó Edi Kunzler, que desde  
muito cedo, acreditou no meu potencial  
e me orientou pelos caminhos que me  
trouxeram até aqui.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a minha esposa Daiane, que esteve todo o tempo ao meu lado, proporcionando todo o suporte ao qual sem ele, este trabalho não seria possível. A minha filha Melinda, que em seus primeiros meses de vida, veio como um coeficiente extra de motivação.

Aos meus professores orientadores, Dr. Jean Monteiro de Pinho e Dr. Jeancarlos Araldi. Muito obrigado pela dedicação, parceria, ensinamentos e amizade.

Aos membros da banca, Prof. Me. Samuel Scheleski e Profa. Ma. Vanessa Milhomem Schmitt, por aceitarem colaborar com este trabalho.

A todos os professores do curso de Engenharia Mecânica do IFSC Câmpus Xanxerê, que contribuíram diariamente em minha jornada acadêmica com seu conhecimento e dedicação.

A todos os meus colegas técnicos administrativos e colaboradores do IFSC Câmpus Xanxerê, o trabalho de vocês torna possível esta instituição.

Aos meus colegas de trabalho e amigos que carregaram para a vida, Ieda Rottava, Rodolfo Denk Neto e Arno de Campos, pelo apoio durante esta caminhada.

E por fim, agradeço aos colegas e amigos que fiz no decorrer do curso, com os quais vivenciei diversos momentos ao longo desta trajetória.

## RESUMO

A indústria madeireira é uma atividade que com o avanço das normas regulamentadoras vem se atualizando e recebendo cada vez mais investimento técnico-científico. Desenvolver recursos técnicos conforme as normas vigentes, se torna um diferencial competitivo importante para as empresas que tem o objetivo de se destacar neste ramo. O processamento de produtos que possuem madeira como matéria prima produz resíduos que podem ocasionar riscos aos trabalhadores envolvidos e reduzir a produtividade da indústria, aumentando os custos de produção quando este não é administrado corretamente. O trabalho teve como objetivo, sugerir uma solução para resolver um problema dos resíduos oriundos dos processos produtivos em uma fábrica de portas semi-ocais em madeira, localizada no município de Xanxerê – SC. O presente estudo, através de visitas técnicas *in loco*, apanhou os dados do processo produtivo da empresa, e com os fundamentos da literatura técnica disponível, elaborou uma proposta de um sistema de ventilação local exaustora, através do cálculo das: vazões de captura para cada tipo de resíduo, dimensões para tubulação de transporte, dimensões de coletor e perdas de carga do sistema. Os resultados apontaram para um sistema composto de um ventilador equipado com uma potência absoluta maior, do que a instalada no atual projeto da fábrica, tendo em consideração a vigente demanda de exaustão de resíduos provenientes dos processos aplicados.

Palavras-Chave: Indústria madeireira. Ventilação industrial. Captura e coleta de resíduos.

## **ABSTRACT**

The timber industry is an activity that, with the advancement of regulatory norms, has been updating and receiving increasingly Scientific-technical investment. Developing technical resources in accordance with current regulations becomes an important competitive advantage for companies that aim to stand out in this field. The processing of products that have wood as a raw material produces waste that can pose risks to the workers involved and reduce the productivity of the industry, increasing production costs when it is not is correctly managed. The objective of this work was to suggest a solution to solve a problem of waste arising from production processes in a factory of wood interior hollow doors, located in the municipality of Xanxerê - SC. The present study, through on-site technical visits, gathered data from the company production process, and based on the available technical literature, developed a proposal for a local exhaust ventilation system, by calculating the: capture flows for each type of waste, dimensions for transport piping, collector dimensions and system head losses. The results pointed to a system composed of a fan equipped with a higher absolute power than that installed in the current factory project, considering the current demand for exhausting waste from the applied processes.

Keywords: Timber industry. Industrial ventilation. Capture and collection of waste.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ventilação local exaustora e ventilação geral diluidora .....	21
Figura 2 – VLE central.....	22
Figura 3 – Coletor único .....	22
Figura 4 – Da esquerda para direita: captor enclausurante, captor do tipo cabine e captor externo. ....	23
Figura 5 – Funcionamento de um ciclone. ....	27
Figura 6 – Ponto de equilíbrio ventilador-sistema .....	39
Figura 7 – Layout .....	41
Figura 8 – Layout em perspectiva .....	42
Figura 9 – Processo de fabricação de portas semiocas em madeira .....	43
Figura 10 – Dutos sistema de ventilação atual.....	44
Figura 11 – Dutos sistema de ventilação atual 2 .....	44
Figura 12 – Ventilador e ciclone atual .....	45
Figura 13 – Placa do motor do ventilador atual .....	45
Figura 14 – Resíduo de serra.....	46
Figura 15 – Resíduo do processo de lixamento .....	47
Figura 16 – Resíduo do processo de aplainamento .....	47
Figura 17 – Tubulação proposta em perspectiva.....	50
Figura 18 – Projeto do ciclone .....	51
Figura 19 – Local das restrições .....	54
Figura 20 – Tela de seleção de parâmetros software Vortex® .....	55
Figura 21 – Curvas de desempenho do ventilador ART-N 1001 Classe II .....	56
Figura 22 – Layout e implantação da proposta de sistema VLE .....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Velocidades de captura recomendadas .....	31
Tabela 2 – Velocidades recomendadas para o dimensionamento do duto.....	31
Tabela 3 – Propriedades do ar em atmosfera padrão .....	33
Tabela 4 – Rugosidade de alguns materiais de construção para dutos .....	36
Tabela 5 – Visitas técnicas .....	40
Tabela 6 – Máquinas e equipamentos .....	40
Tabela 7 – Vazões .....	49
Tabela 8 – Diâmetro de tubulações .....	50
Tabela 9 – Diâmetro de tubulações .....	52
Tabela 10 – Balanceamento de dutos .....	53

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Conceitos fundamentais .....	19
Quadro 2 – Classificação dos ventiladores .....	23
Quadro 3 – Coletores indicados para trabalho em madeira .....	25
Quadro 4 – Vazões de captura .....	39
Quadro 5 – Especificação do ciclone .....	31
Quadro 6 - Coeficiente de entrada para captores .....	33
Quadro 7 - Coeficiente de perda nos acessórios da tubulação .....	36
Quadro 8 - Coeficiente de perda de carga em cones de equilíbrio .....	37
Quadro 9 - Caracterização dos resíduos.....	47

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

FORMOBILE - Feira Internacional da Indústria de Móveis e Madeira

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

INCA – Instituto Nacional de Câncer

VGD – Ventilação local diluidora

VLE – Ventilação local exaustora

## LISTA DE SÍMBOLOS

A – Área

$A_e$  - Área da seção transversal de entrada de ar do ciclone

$A_s$  - Área da seção transversal de saída de ar do ciclone

$C_e$  – Coeficiente de entrada para captores

D – Diâmetro

d – Diâmetro do ciclone

$D_{pc}$  – Diâmetro de corte

$d_p$  – Diâmetro de partícula

H - Fator multiplicativo da altura da entrada de ar pelo diâmetro

K – Coeficiente de perda de carga

Q – Vazão

L – Comprimento do duto

$l$  – Fator multiplicativo da largura da entrada de ar pelo diâmetro

m – Metros

$p_a$  - Pascal

$P_v$  – Pressão de velocidade

Re – Número de Reynolds

s - Segundo

X – Distância de captura

V – Velocidade

$V_c$  – Velocidade de captura

$V_e$  – Velocidade de entrada

$^{\circ}C$  – Graus Célsius

$\rho$  – Massa específica

$\rho_{ar}$  – Massa específica do ar

$\rho_p$  – Massa específica da partícula

$\eta_c(d_p)$  - Eficiência de coleta para partículas

$\Delta P$  – Perda de carga

$f$  - Fator de atrito

$\varepsilon$  - Rugosidade do material

$\mu$  – Viscosidade absoluta

$\nu$  – Viscosidade cinemática

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativa.....</b>	<b>16</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>17</b>
1.2.1	Objetivo geral .....	17
1.2.2	Objetivo específico .....	17
<b>1.3</b>	<b>Delimitações .....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Indústria madeireira .....</b>	<b>19</b>
2.1.1	Resíduos resultantes do processo de produção de portas em madeira .....	19
<b>2.2</b>	<b>Elementos de ventilação.....</b>	<b>20</b>
2.2.1	Ventilação local exaustora .....	21
2.2.1.1	Captor.....	22
2.2.1.2	Dutos .....	23
2.2.1.3	Ventilador.....	24
2.2.1.4	Coletor .....	25
2.2.1.4.1	Ciclone .....	26
2.2.2	Perda de carga .....	27
2.2.2.1	Perda de carga distribuída.....	27
2.2.2.2	Perda de carga localizada .....	28
2.2.3	Balanceamento.....	28
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>Determinação da vazão necessária .....</b>	<b>29</b>
3.1.1	Velocidade de captura .....	30
<b>3.2</b>	<b>Projeto de dutos .....</b>	<b>31</b>
3.2.1	Velocidade de transporte .....	31
<b>3.3</b>	<b>Projeto do ciclone .....</b>	<b>31</b>
<b>3.4</b>	<b>Perdas de carga.....</b>	<b>33</b>

3.4.1	Perda de carga nos captores.....	33
3.4.2	Perda de carga no ciclone .....	35
3.4.3	Perda de carga nos dutos.....	35
3.4.3.1	Perda de carga distribuída.....	35
3.4.3.2	Perda de carga localizada .....	37
3.4.4	Balanceamento de dutos .....	38
<b>3.5</b>	<b>Dimensionamento do ventilador .....</b>	<b>39</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1</b>	<b>DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....</b>	<b>40</b>
4.1.1	Levantamento de dados do projeto atual da empresa.....	40
4.1.2	Levantamento do fluxo do processo .....	43
4.1.3	Sistema de ventilação projeto atual.....	43
4.1.4	Caracterização dos resíduos .....	46
<b>4.2</b>	<b>Dimensionamento do sistema de ventilação .....</b>	<b>49</b>
4.2.1	Determinação da vazão necessária .....	49
4.2.2	Projeto de dutos .....	49
4.2.3	Dimensionamento do coletor .....	50
4.2.4	Perdas de carga do sistema .....	51
4.2.4.1	Balanceamento.....	53
4.2.5	Escolha do ventilador .....	54
4.2.6	Layout e implantação do sistema proposto .....	56
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>58</b>
<b>5.1</b>	<b>Considerações para trabalhos futuros .....</b>	<b>59</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>60</b>
	<b>ANEXO A – Catálogo ventilador Otam ATR-N Classe II A-4 .....</b>	<b>62</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

A indústria madeireira, objeto do presente estudo, atua há mais de 30 anos na cidade de Xanxerê, sendo uma referência regional na fabricação de portas de madeira. Sua capacidade de produção atual é de 400 portas semi-ocas por dia.

O processamento da matéria-prima para a fabricação envolve uma série de operações de usinagem, como o processo de corte com serras circulares, processos de aplainamento e lixamento. Uma vez que a madeira é uma matéria-prima natural, e apesar de já ter sido pré-processada em serrarias, suas características e dimensões apresentam uma grande variabilidade, de modo que ao longo da produção de portas grandes volumes de serragem, maravalha e pó de madeira são produzidos junto às regiões de corte. Neste sentido, é fundamental que sejam utilizados dispositivos chamados de captores, para realizar a captura destes resíduos e transportá-los para fora do ambiente fabril, através de um sistema de ventilação.

Ao longo destes mais de 30 anos muitas modificações e ajustes no arranjo produtivo foram realizados, de modo que o sistema de captura e transporte de resíduos também precisou ser modificado. Entretanto, por se tratar de um sistema que não apresenta riscos de acidentes graves aos colaboradores, mas sim de lesões graduais devido a efeitos secundários de uma captura inadequada, como problemas respiratórios, acidentes por visibilidade limitada e quedas, muitas das modificações foram realizadas pelos próprios operadores das máquinas operatrizes da indústria, sem um acompanhamento de profissionais especializados. Como resultado, a eficiência e a eficácia do sistema de captura foram prejudicadas.

### **1.1 Justificativa**

O presente trabalho busca resolver um problema da região, utilizando um estudo de caso de uma indústria local, portanto um problema real, alinhando-se a missão institucional do IFSC que consiste na aplicação do conhecimento científico e tecnológico, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico local.

O processamento de produtos que possuem madeira como matéria prima produz resíduos que podem ocasionar riscos aos trabalhadores envolvidos e a produtividade da indústria, aumentando os custos de produção, quando este não é administrado corretamente.

Segundo publicado pelo INCA (2021) o pó de serra quando inalado, pode se depositar nas vias respiratórias ocasionando uma variedade de problemas respiratórios alérgicos e não alérgicos. O órgão ainda recomenda a ventilação dos locais por intermédio de exaustores, com fim de remover os contaminantes do ambiente laboral.

Lida (2005), afirma que desconfortos ambientais tais como o excesso de poeira dependendo da intensidade e exposição, causam desconforto influenciando diretamente na produtividade dos colaboradores e potencializam o risco de acidentes. As instalações de indústrias deste ramo, por causa da natureza da sua matéria-prima, são intrinsecamente predispostas a acidentes como explosões e incêndios, se fazendo de suma importância remover do ambiente laboral os resíduos provenientes do processo de beneficiamento da madeira.

Além dos problemas de saúde e ambientais causados, a serragem e o pó de madeira pode afetar diretamente a qualidade do produto final, já que alguns processos como a colagem dos painéis de portas, é comprometido quando não realizado em um ambiente livre de pó (FORMOBILE, 2022).

Visando solucionar os problemas ocasionados pelos resíduos de madeira, em acordo com às normas ambientais e de saúde vigentes, serão utilizados os conceitos apropriados ao longo do curso para fazer um estudo dos resíduos gerados e dimensionar um sistema de ventilação.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Dimensionar um sistema de captação de resíduos dos processos de beneficiamento de madeira e pó para a empresa objeto de estudo.

### **1.2.2 Objetivo específico**

1. Levantar os dados de processo da empresa objeto de estudo;
2. Tipificar os resíduos gerados pelos processos produtivos aplicados;
3. Sugerir uma solução adequada para a captação dos resíduos gerados no processo de produção;
4. Dimensionar um sistema de ventilação objetivando mitigar os impactos

causados pelos resíduos resultantes do processo de produção.

### **1.3 Delimitações**

O trabalho proposto delimitou-se em coletar as informações sobre o processo de fabricação de artefatos em madeira, baseado nesses dados realizar o dimensionamento de um sistema de coleta de resíduos de pó de madeira, visando atender às normas vigentes para ventilação industrial. Tendo como referência os dados de uma empresa especializada na fabricação de portas semiocas em madeira, situada no município de Xanxerê, Santa Catarina, no ano de 2022.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

O presente capítulo abordará os conceitos relacionados aos processos envolvidos na produção de portas de madeira, os tipos de resíduos resultantes do processo, bem como os sistemas de ventilação mecânica, de modo a servir como base para o estudo.

### 2.1 Indústria madeireira

Ponce (1995), afirma que a madeira é um dos materiais mais remotos utilizados pelas civilizações antigas na construção de moradias, instrumentos e ferramentas. Embora atualmente exista uma diversidade maior de outros materiais de construção, como o aço, plásticos e o alumínio, a madeira ainda será continuamente utilizada na produção de componentes para habitação, pelas suas características estéticas, versatilidade e durabilidade.

#### 2.1.1 Resíduos resultantes do processo de produção de portas em madeira

Qualquer processo produtivo industrial gera algum tipo de resíduo, e no caso da produção de portas em madeira não é diferente. Segundo Fagundes (2003), a norma NBR 10.004 da ABNT, classifica esse resíduo como de Classe II A não inerte, “podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2004).

Por se tratar de um resíduo natural e, portanto, biodegradável, a serragem e a poeira da madeira não causam grandes impactos ambientais. Porém, as legislações a respeito estão avançando ao decorrer dos anos se tornando cada vez mais severas, exigindo um controle eficiente e destinação correta dos resíduos gerados. De acordo com a política nacional de resíduos sólidos, Lei 12.305/2010 em seu artigo 9º diz: “*Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos*”.

Os resíduos na indústria madeireira são gerados quando a madeira é cortada, moldada ou lixada, seja por processo manual ou mecanizado, para ser aplicada nas formas mais distintas, tais como a fabricação de móveis, portas e janelas, materiais

de construção, postes etc.

Podem ser divididos em 4 categorias distintas: 1. Serragem: é o produto resultante da passagem da lâmina da serra pela matéria prima; 2. Maravalha: resíduo resultado dos processos de aplainamento; 3. Cavacos: resultado da padronização do comprimento e da largura das peças; 4. Pó de serra: resultado principalmente pelos processos de lixamento, possui alto poder de dispersão (CASSILHA; et al., 2004).

## 2.2 Elementos de ventilação

De acordo com Clezar e Nogueira (2009), a ventilação é uma área do conhecimento tecnológico amplamente aplicada, tanto em processos produtivos industriais como processos de controle ambiental. Em ambientes destinados à ocupação humana, a ventilação é uma ferramenta utilizada para controlar questões de conforto e segurança. No Quadro 1, estão elencados alguns dos importantes conceitos da área da ventilação.

Quadro 1 - Conceitos fundamentais

<b>Ventilar</b>	Trocar o ar de um recinto fechado
<b>Ventilação natural</b>	Trocar o ar de um recinto fechado por meios naturais
<b>Ventilação mecânica</b>	Trocar o ar de um recinto fechado por meios mecânicos
<b>Ventilação industrial</b>	Trata das aplicações da ventilação para o setor industrial

Fonte: Adaptado de Clezar e Nogueira (2009).

Cabe destacar, que as operações e processos das indústrias, em sua maioria, produzem vapores, gases, fumos e poeiras, que são contaminantes com toxicidade, exigindo um eficiente controle das partículas dispersas em um ambiente de trabalho a fim de prezar pela saúde dos trabalhadores diretamente envolvidos, evitando consequências em seus organismos (MACINTYRE, 1990).

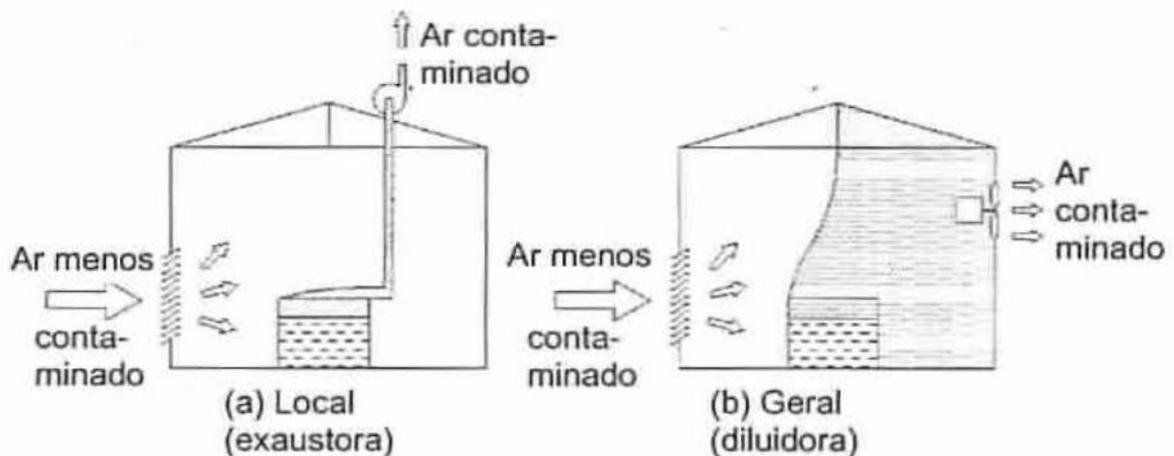
O ar possui a capacidade de se tornar um veículo que transporta impurezas suspensas até a penetração e absorção no organismo. O fato de o ar poder transportar impurezas faz com que a ventilação nos ambientes industriais deve ser devidamente projetada de forma natural ou artificial, a fim de proporcionar segurança e bem-estar aos trabalhadores envolvidos (MESQUITA et al, 1977).

Como não existem regras pré-estabelecidas que descrevem os métodos que devem ser utilizados para controlar a quantidade de resíduos dispersos no ambiente, as especificidades de cada indústria ditam o tipo de proteção a ser utilizada. Cabe à

engenharia, optar pela técnica correspondente de controle das correntes de ar, compatível com o grau de risco envolvido, projetar a solução mais adequada a fim de manter o ambiente ajustado às normas vigentes, com a maior eficiência possível, utilizando o mínimo de recursos energéticos (MACINTYRE, 1990).

A ventilação se divide em dois grupos: 1. ventilação local exaustora (VLE) e, 2. ventilação geral diluidora (VGD), conforme demonstrado na Figura 1. A VLE é realizada por intermédio de um equipamento que tem a função de captar as partículas de ar junto à fonte. Utiliza-se em situações em que a fonte geradora é perfeitamente identificada no interior de um ambiente. Já a VGD se utiliza da ventilação do ambiente como um todo, e é indicada onde a fonte do resíduo não está limitada a um único ponto dentro do ambiente (CLEZAR E NOGUEIRA, 2009).

Figura 1 - Ventilação local exaustora e ventilação geral diluidora



Fonte: Clezar e Nogueira (2009).

### 2.2.1 Ventilação local exaustora

Nesta seção, serão apresentadas as características, conceitos e equipamentos da ventilação local exaustora.

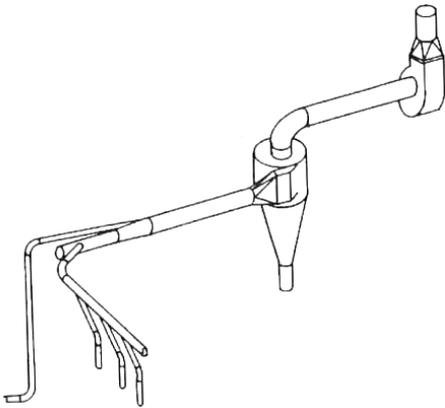
Seus componentes são divididos em quatro partes:

1. **Captor:** onde o contaminante é atraído para o sistema, podendo variar de acordo com a complexidade do equipamento em que está instalado, tem papel fundamental na sua eficiência do sistema de ventilação.
2. **Dutos:** é responsável por direcionar o ar da fonte contaminante ao reservatório coletor.

3. **Ventilador:** tem a função de fornecer a energia necessária para produzir o deslocamento dos gases.
4. **Coletor:** equipamento responsável por evitar a poluição atmosférica, removendo-o da corrente de ar, armazenando o contaminante.  
(CLEZAR, NOGUEIRA, 2009)

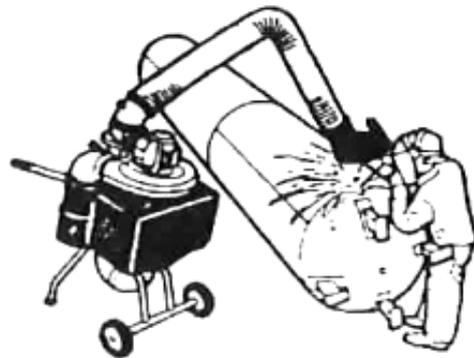
Na VLE, pode-se escolher entre duas possibilidades de instalação: um sistema VLE central (Figura 2) e um coletor único (Figura 3). A sua escolha está sujeita ao tipo de processo, custos envolvidos, flexibilidade e confiabilidade necessária.

Figura 2 – VLE central



Fonte: Clezar e Nogueira (2009).

Figura 3 – Coletor único

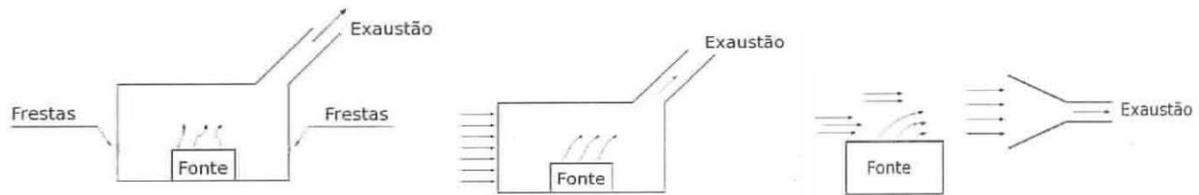


Fonte: Clezar e Nogueira (2009).

### 2.2.1.1 Captor

Macintyre (1990), afirma que os captosres são dispositivos que estabelecem um fluxo positivo para seu interior, pela diferença de pressões. Já para Oliveira (2013), são ferramentas de captura que podem ter geometrias diversas, cujo dimensionamento deve ser específico para cada situação a fim de se obter o melhor resultado, enclausurando parte da fonte de contaminantes direcionando os poluentes para o sistema de exaustão, a Figura 4 mostra as três categorias de captosres e seu funcionamento.

Figura 4 – Da esquerda para direita: captor enclausurante, captor do tipo cabine e captor externo.



Fonte: Clezar e Nogueira (2009).

Segundo Clezar e Nogueira (2009), os captos se classificam em três grupos.

1. enclausurantes, quando a fonte de poluentes é completamente coberta pelo captor, apresentando pequenas frestas de abertura para a entrada de ar. 2. cabine, com modelo similar ao citado anteriormente, porém com uma das faces abertas, permitindo acesso ao processo, e por fim, 3. captos externos, que não envolvem a fonte.

#### 2.2.1.2 Dutos

De acordo com Macintyre (1990), a disposição dos dutos de um sistema de exaustão deve ter o objetivo de conduzir o ar e os contaminantes, tanto em situações com elevada como também com pouca pressão, podendo considerar o fluido como incompressível. Seu projeto é fundamentado no princípio de conservação de energia para os fluidos em escoamento e na equação da continuidade, que são parametrizados pela equação de Bernoulli.

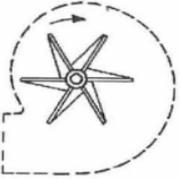
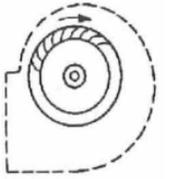
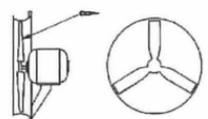
Além deste, existem outros aspectos que devem ser considerados para o correto dimensionamento de uma rede de dutos, um deles é a presença de portas de inspeção. Clezar e Nogueira (2009), explicam em seu livro ventilação industrial, que em escoamentos com a existência de contaminantes particulados, como no caso de uma indústria madeireira, existe uma tendência ao acúmulo de tal material nos pontos de obstrução ou onde ocorrem mudanças de direção, podendo gerar aumento da perda de carga e entupimentos. Portanto, as portas de inspeção devem ser instaladas em locais estratégicos, visando facilitar a manutenção e a limpeza dos dutos.

### 2.2.1.3 Ventilador

Os ventiladores são máquinas desenvolvidas com a finalidade de produzir o deslocamento dos gases, são eles que fornecem energia ao escoamento. Essa movimentação ocorre com a energia mecânica, fornecida pelo motor elétrico, sendo transferida para os gases em forma de energia cinética e energia potencial de pressão (MACINTYRE, 1990).

Dentro de uma classificação mais abrangente, Clezar e Nogueira (2009), divide os ventiladores em dois tipos: 1. Os ventiladores centrífugos, onde o escoamento é significativamente radial e os 2. ventiladores axiais, este por sua vez com fluxo predominantemente paralelo ao eixo. O Quadro 2, mostra os diferentes tipos de ventiladores contidos em cada um desses dois grupos e suas características.

Quadro 2 - Classificação dos ventiladores

<b>Ventiladores centrífugos</b>		<b>Ventilador centrífugo de pás radiais</b>	Ventilador robusto, indicado para movimentar ar com grande carga de particulado. Possui baixa eficiência.
		<b>Ventilador centrífugo de pás inclinadas para frente</b>	Apesar de ter uma eficiência mais elevada que o de pás retas, não é adequado para trabalhar com ar contendo material particulado. Ocupa pouco espaço para sua instalação. Utilizado com frequência na VGD e na ventilação para conforto.
		<b>Ventilador centrífugo de pás inclinadas para trás</b>	Ventilador com mais altas rotações dentre os apresentados. Apresenta a eficiência mais elevada. Indicado para movimentar grandes vazões de ar com pequenos diferenciais de pressão.
<b>Ventiladores axiais</b>		<b>Ventilador axial propulsor</b>	Indicado para movimentar grandes vazões de ar com pequenos diferenciais de pressão. Apresenta grande simplicidade construtiva e baixo custo. Sua instalação é feita, normalmente, sem duto. É bastante utilizado na VGD.
		<b>Ventilador de tubo axial</b>	Trabalha com diferenciais de pressão maiores do que o axial propulsor. Apresenta grande rendimento.

Fonte: Adaptado de Clezar e Nogueira (2009).

#### 2.2.1.4 Coletor

Os equipamentos coletores de contaminantes, tem a função de reter os poluentes que são capturados junto à fonte geradora. Entretanto também exercem outras funções como: evitar risco de incêndio, segregação de material particulado e reutilização do ar purificado proveniente de outros locais (OLIVEIRA, 2013).

Macintyre (1990), divide os coletores em três grupos:

1. Filtros de ar;
2. Coletores de poeiras;
3. Lavadores de gases, condensadores, depuradores, torres de absorção etc.

Conforme explica Macintyre (1990), a aplicação dos filtros de ar está na *“remoção de poeiras no grau de concentração em que possam encontrar-se no ar ambiente exterior ou interior e na recirculação de ar no recinto”*. Os coletores de poeira, por sua vez, têm a finalidade de realizar a coleta de contaminante em grandes quantidades. Por fim, o terceiro grupo tem por objetivo fazer a retirada de vapores e gases do ar.

O processo de purificação do ar se utiliza de ações de ordem físicas, químicas ou pela combinação das duas, exemplo: eletrostática, inércia, gravidade filtragem e lavagem. Devido a variedade de purificadores de ar que é encontrada, ao projetar um sistema de ventilação alguns critérios devem ser levados em consideração, como os fatores de concentração de partículas de contaminantes e seus tamanhos, área afetada, aporte financeiro, eficiência energética, normas de saúde vigente e grau de purificação almejada (MACINTYRE, 1990).

Uma importante observação acerca dos coletores é expressa por Clezar e Nogueira (2009), *“[...] a ação de filtragem não deve ser confundida com a ação de peneiramento a qual consiste numa interceptação em escala macroscópica do material particulado”*.

Clezar e Nogueira (2009), explica que a seleção de um coletor para uma determinada aplicação deve levar em consideração vários parâmetros, que influenciarão diretamente na escolha. Fatores como: grau de purificação, grau de concentração, propriedades físicas e químicas do contaminante, condições de transporte, fatores de ordem econômicos e de manutenção.

O Quadro 3 exemplifica os tipos de coletores recomendados para trabalhos

com madeira. Conforme observado, o coletor do tipo ciclone é o mais indicado para nossa aplicação.

Quadro 3– Coletores indicados para trabalho em madeira

Operações	Teor de carga	Poeira	Uso frequente	Pouco usado
serra	moderada	variável	C	F
lixamento	moderada	fina	L	CF
resíduos	forte	variável	C	F
Legenda: C- ciclones; L – lavadores; F – filtros de manga.				

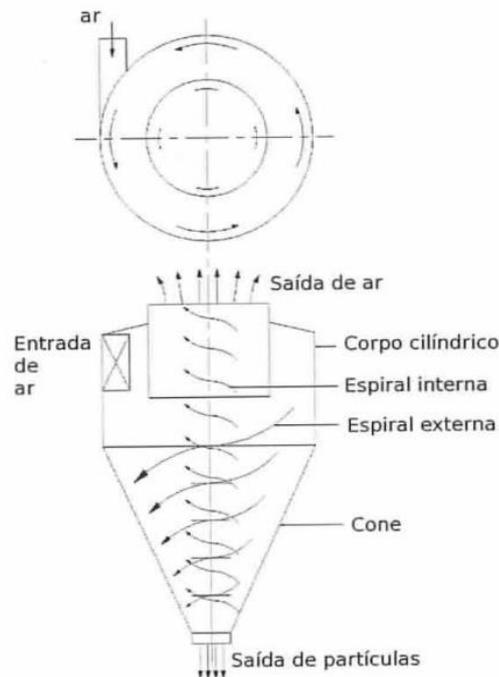
Fonte: Adaptado Clezar e Nogueira (2009).

#### 2.2.1.4.1 Ciclone

Segundo Clezar e Nogueira (2009) os ciclones, também conhecidos como coletores centrífugos, são equipamentos de controle de poluição, cujo princípio de funcionamento se baseia na atuação da força centrífuga.

A Figura 5 apresenta de maneira esquemática, o princípio de funcionamento de um ciclone. O escoamento de ar contaminado entra tangencialmente pela parte superior do ciclone e é direcionado a mudar sua direção, adquirindo um movimento espiral descendente pela periferia do corpo e da seção cônica. Este movimento espiral faz com que as partículas contaminadas, pela ação da força centrífuga, sejam lançadas contra as paredes do coletor. Essas partículas ao se chocarem contra as paredes, se separam do fluxo principal, caindo no bocal de saída inferior, pela ação da gravidade. O ar livre das partículas de maior tamanho segue o escoamento por uma espiral ascendente, tendo como único caminho, a tubulação instalada na extremidade superior. A eficiência deste tipo de coletor está diretamente relacionada com a força centrífuga induzida na partícula de contaminante, assim deve se considerar um compromisso entre a eficiência e a perda de carga na seleção de um ciclone como solução de projeto (CLEZAR, NOGUEIRA, 2009).

Figura 5 – Funcionamento de um ciclone.



Fonte: Clezar e Nogueira (2009).

## 2.2.2 Perda de carga

Todo o escoamento em dutos perde velocidade por conta do atrito com suas paredes internas. Esse fenômeno ocorre quando as partículas nas zonas periféricas entram em contato com as paredes do interior do duto, que por sua vez freiam o movimento do fluido. As partículas periféricas, com sua velocidade já reduzida, entram em contato com as demais partículas do fluido interagindo por intermédio de efeitos de viscosidade e turbulência diminuindo a energia do escoamento (ZANINI, 2016).

### 2.2.2.1 Perda de carga distribuída

Macintyre (1990), afirma que a perda de carga distribuída, que ocorre no comprimento linear da tubulação, pode ser calculada através de duas metodologias distintas, uma delas é a aplicação da equação de Darcy e Weisbach, e a outra com base nos diagramas de projeto de dutos que dispõe materiais e condições de trabalho pré-determinadas.

### 2.2.2.2 Perda de carga localizada

Ao longo da extensão dos dutos de um sistema de ventilação/exaustão pode-se encontrar algumas geometrias e aparatos que corroboram para o aumento da perda de carga no sistema. Essas peças podem ser, bocas ou saída, grelhas de insuflamento, curvas, cotovelos, alargamentos, reduções e filtros (MACINTYRE, 1990).

### 2.2.3 Balanceamento

Segundo Clezar e Nogueira (2009), o balanceamento de um sistema de dutos pode ser descrito como o estado em que o fluxo de escoamento em cada um dos terminais está de acordo com a vazão prevista em projeto. Existem dois métodos para o controle da vazão dos dutos: 1. Balanceamento por registros: onde a vazão do sistema é projetada com valores descritos na literatura de acordo com o tipo de poluente, ficando os registros instalados em pontos estratégicos da tubulação com a função de suprir a vazão necessária, e 2. Balanceamento estático: por sua vez, se utiliza unicamente da perda de carga como meio de controle da vazão para chegar aos valores de projeto.

### 3 METODOLOGIA

O método de cálculo adotado no dimensionamento do sistema de ventilação local exaustora e coleta, objeto de estudo deste trabalho, baseia-se no livro Ventilação Industrial de Clezar e Nogueira (2009).

#### 3.1 Determinação da vazão necessária

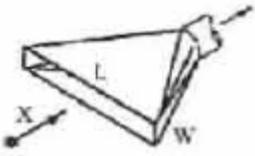
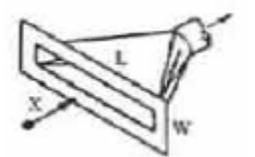
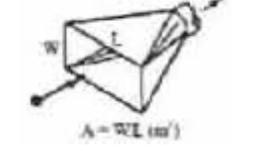
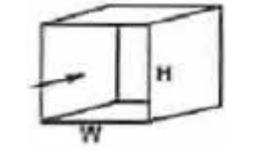
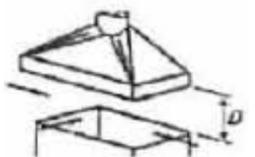
Para dimensionar o sistema, determinou-se a vazão volumétrica necessária para coletar os resíduos gerados em cada máquina. A vazão em cada captor, foi obtida a partir das velocidades de captura recomendadas na literatura para as diferentes condições de geração de contaminantes em cada um dos equipamentos.

O cálculo da vazão foi realizado pelo método de velocidade constante, utilizando o princípio de continuidade da equação de Bernoulli, segundo Macintyre (1990), *“a equação de continuidade mostra que o valor é obtido pelo produto da área da seção normal aos filetes líquidos em escoamento pela velocidade média na mesma seção”*. A fórmula abaixo é a utilizada para cálculo da vazão volumétrica em que:  $Q$  = vazão ( $m^3/s$ ),  $V$  = velocidade ( $m/s$ ),  $A$  = área ( $m^2$ ).

$$Q = VA \quad (1)$$

O captor tem a função de conduzir o contaminante para o dentro do sistema de ventilação. Deve ser instalado a uma distância  $X$  (em metros) da fonte, esta chamada zona de captação. O Quadro 4 traz o método de cálculo de vazão para as diferentes geometrias de captores. A vazão necessária para o sistema, foi obtida somando as vazões de todos os captores.

Quadro 4– Vazões de captura

Tipo de captor	Descrição	Razão de aspecto (W/L)	Vazão volumétrica (Q)
	Fresta	$\leq 0,2$	$Q = 3,7LVX$
	Fresta flangeada	$\leq 0,2$	$Q = 2,8 LVX$
	Abertura plana	$\geq 0,2$ ou circular	$Q = V (10X^2 + A)$
	Abertura flangeada	$\geq 0,2$ ou circular	$Q = 0,75V (10X^2 + A)$
	Cabines	Conforme a aplicação	$Q = VA = VWH$
	Coifa	Conforme a aplicação	$Q = 1,4PDV$
V é a velocidade de captura na distância X			

Fonte: Adaptado de Clezar e Nogueira (2009).

### 3.1.1 Velocidade de captura

A velocidade de captura recomendada para cada tipo de operação é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Velocidades de captura recomendadas

Condição de dispersante do contaminante	Velocidade de captura (m/s)
Sem velocidade inicial no ar parado	0,25 – 0,5
Geração no interior de cabines	0,5 – 1,0
Geração com velocidade inicial baixa	0,5 a 1,0
Geração ativa	1,0 a 2,5
Geração com grande força	2,5 a 10

Fonte: Adaptado de Da Costa (2005).

### 3.2 Projeto de dutos

Para o dimensionamento de dutos do sistema de ventilação e coleta, foi empregue a fórmula 1, aplicando a fórmula da área para diâmetros, isolando  $D$  (diâmetro em metros), assim obtendo a fórmula 2:

$$D = \frac{\sqrt{4Q}}{\pi V} \quad (2)$$

#### 3.2.1 Velocidade de transporte

As velocidades de escoamento para cada tipo de contaminante estão dispostas na Tabela 2.

Tabela 2 – Velocidades recomendadas para o dimensionamento do duto

Contaminante	Velocidades recomendadas (m/s)
Vapores, gases, fumos, poeiras, muito finas (< 0,5 µm)	10
Poeiras secas finas	15
Poeiras industriais médias	17,5
Partículas grossas	17,5 a 22,5
Partículas grandes, material úmido	>22,5

Fonte: Da Costa (2005).

### 3.3 Projeto do ciclone

O princípio de funcionamento de um ciclone ou coletor centrífugo, é a atuação da força centrífuga sobre as partículas. Para o dimensionamento, foi necessário a especificação do diâmetro do ciclone, fazendo uso das equações 3, 4 e 5, isolando  $d$ , usando os valores de área para um Ciclone de padrão A (Quadro 5).

Para determinar os parâmetros de partícula, foram utilizadas as características

de diâmetro e densidade da menor partícula a ser removida da corrente de ar, conforme recomendação de Da Costa (2005).

$$d_{pc} = 0,27 \sqrt{\frac{\mu_{ar} \cdot d}{Ve(\rho_p - \rho_{ar})}} \quad (3)$$

$$\eta_c(dp) = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{dp}\right)^2} \quad (4)$$

$$Ve = \frac{Q}{(l \cdot H)} \quad (5)$$

Onde:

$d_{pc}$  : diâmetro de corte;

$d$  : diâmetro do ciclone, m;

$Ve$  : velocidade de entrada do ar, m/s;

$\rho_{ar}$  : massa específica do ar, kg/m<sup>3</sup>;

$\rho_p$  : massa específica da partícula, kg/ m<sup>3</sup> (Tabela 4);

$\mu$  : viscosidade absoluta do ar, kg/m s;

$\eta_c(dp)$  : eficiência de coleta para partículas;

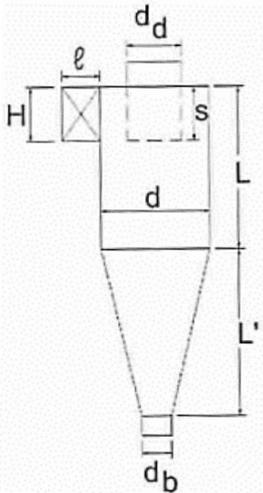
$dp$  : diâmetro de partícula, m;

$l$  : fator multiplicativo da largura da entrada de ar pelo diâmetro;

$H$  : fator multiplicativo da altura da entrada de ar pelo diâmetro.

Com o diâmetro do ciclone calculado, através do Quadro 5, é possível encontrar as dimensões de projeto de acordo com o modelo selecionado.

Quadro 5– Especificação do ciclone

	Dimensão	$l$	H	S	$d_d$	L	L'	$d_b$	d
		Ciclones-padrão A (alta eficiência)							
Fator multiplicativo do diâmetro	0,2	0,5	0,5	0,5	1,5	2,5	0,2	1,0	
	Ciclones-padrão B (média eficiência)								
Fator multiplicativo do diâmetro	0,375	0,75	0,875	0,75	1,5	2,5	0,2	1,0	

Fonte: Adaptado Clezar e Nogueira (2009).

Tabela 3 – Propriedades do ar em atmosfera padrão

Temperatura (°C)	Massa específica $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade cinemática $\nu$ (Pa.s)	Viscosidade absoluta do ar $\mu$ (Pa.s)
0	1,292	1,71E-5	1,32E-5
10	1,247	1,76E-5	1,41E-5
20	1,204	1,82E-5	1,51E-5
30	1,165	1,86E-5	1,60E-5
40	1,127	1,87E-5	1,66E-5
50	1,109	1,95E-5	1,76E-5

Fonte: Adaptado de Blevins (1984).

### 3.4 Perdas de carga

As perdas de energia associadas a esforços adicionais nos escoamentos, camadas de perdas de cargas, tratam de uma queda de pressão oriundas de obstáculos e alterações na direção do fluido. As expressões básicas empregadas para a determinação destas perdas foram:

$$\Delta P = K \cdot P_v \quad (6)$$

$$P_v = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \quad (7)$$

Em que:

$\Delta P$ : Perda de carga, pa;

$K$ : coeficiente de perda de carga no captor;

$V$ : velocidade de captura, m/s;

$P_v$ : Pressão de velocidade, pa;

$\rho$  : massa específica do ar, kg/m<sup>3</sup> (Tabela 3).

#### 3.4.1 Perda de carga nos captores

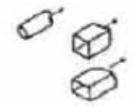
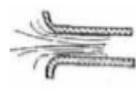
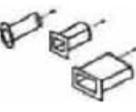
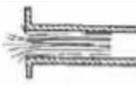
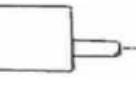
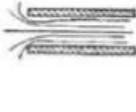
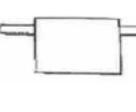
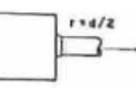
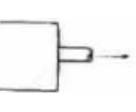
A perda de carga nos captores foi calculada pela equação:

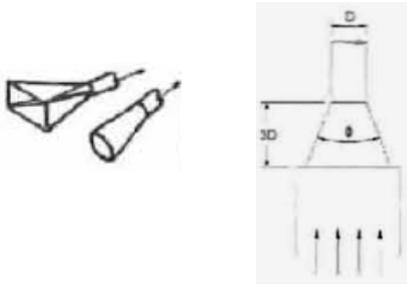
$$K = \frac{1 - C_e^2}{C_e^2} \quad (8)$$

Na qual:

$C_e$ : Coeficiente de entrada para captores (Quadro 6).

Quadro 6– Coeficientes de entrada para captores

Tipo	Descrição	Coeficiente $C_e$	Tipo	Descrição	Coeficiente $C_e$
	Aberturas planas	0,72		Circular	0,98
	Aberturas flangeadas	0,82		Abertura flangada $\leq 2d$	0,80
	Forma de cone	0,98		Tubulação $\leq 2d$	0,53
	Captor para rebolos abrasivos	Saída em linha reta, sem afunilamento		13° de inclinação	0,79
		0,78			
		Saída em linha reta, sem afunilamento			
		0,85			
	Coifa com cone duplo	0,55		Tubulação flangeada	0,9
	Orifício mais duto flangeado	0,55		Sem inclinação sem flange	0,72
	Câmara de sedimentação	0,63		Orifício de bordo delgado	0,6
	Cabine, saída arredondada	0,97		Flangeada 13° de inclinação	0,94
	Cabine, saída direta	0,82			

Cônicos ou afunilados	$\Phi$ (Graus)	Coeficiente $C_e$	
		Redondo	Retangular
	15	0,93	0,89
	30	0,96	0,93
	45	0,97	0,93
	60	0,96	0,92
	90	0,93	0,89
	120	0,89	0,86
	150	0,84	0,82

Fonte: Adaptado Clezar e Nogueira (2009).

### 3.4.2 Perda de carga no ciclone

Com as dimensões do ciclone definidas, foi empregado a equação 9 para obter o coeficiente de perda de carga do ciclone projetado.

$$K = 21,16 \cdot \left(\frac{A_s}{A_e}\right)^{1,21} \cdot P_v \quad (9)$$

Onde temos:

$A_s$ : área da seção transversal de entrada de ar do ciclone, m;

$A_e$ : área da seção transversal de saída de ar do ciclone, m;

$P_v$ : pressão de velocidade, pa.

### 3.4.3 Perda de carga nos dutos

#### 3.4.3.1 Perda de carga distribuída

Para determinação da perda de carga distribuída nos trechos lineares dos dutos, foi utilizada a seguinte equação:

$$\Delta P = f \left(\frac{l}{D}\right) \left(\frac{\rho V^2}{2}\right) \quad (10)$$

Onde:

$V$ : a velocidade do escoamento, m/s;

$L$ : o comprimento linear, m;

$D$ : diâmetro do duto, m;

$f$ : fator de atrito;

$\rho$  : massa específica do ar, Kg/m<sup>3</sup>.

Para estabelecer o fator de atrito, foi empregado o procedimento delineado por Clezar e Nogueira (2009) em seu livro *Ventilação Industrial*, ante o método utilizando o *diagrama de Moody*. Este critério faz uso da série de equações a seguir:

$$f = a + b \cdot Re^{-c} \quad (11)$$

$$a = 0,53 \left(\frac{\varepsilon}{D}\right) \quad (12)$$

$$b = 88 \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D}\right)^{0,44} \quad (13)$$

$$c = 1,62 \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D}\right)^{0,134} \quad (14)$$

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (15)$$

Neste caso:

$\varepsilon$  : rugosidade do material (Tabela 4);

$D$ :diâmetro do duto, m;

$V$ :velocidade do escoamento, m/s;

$\rho$  : massa específica do ar (Tabela 3), kg/m<sup>3</sup>;

$\mu$  :viscosidade absoluta do ar (Tabela 3).

Tabela 4 – Rugosidade de alguns materiais de construção para dutos

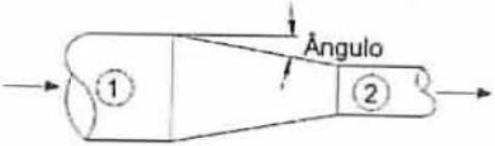
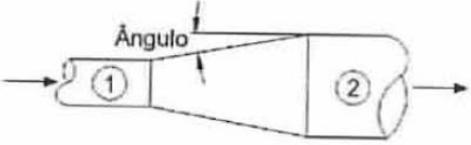
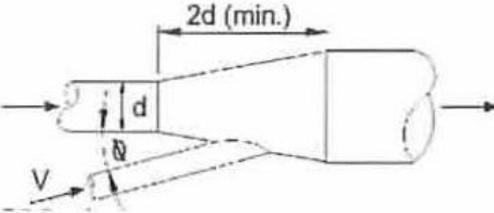
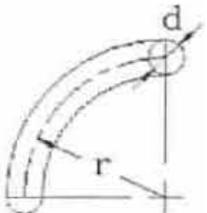
Material do Duto	Rugosidade Absoluta (mm)
Aço carbono sem revestimento e limpo	0,003 a 0,05
PVC	0,01 a 0,05
Alumínio	0,04 a 0,06
Aço galvanizado, com costura longitudinal e espaçamento de juntas de 1,2 m	0,05 a 0,10
Aço galvanizado, construído por rolamento, com costura espiral e juntas a 3 m	0,06 a 0,12
Aço galvanizado, com costura em espiral, com 1, 2 ou 3 nervuras	0,09 a 0,12
Aço galvanizado, com costura longitudinal, e junta a 760 mm	0,15
Duto rígido de fibra de vidro	0,9
Duto revestido internamente com fibra de vidro	1,5
Duto metálico flexível totalmente estendido	1,2 a 2,1
Duto flexível de tecido e fio, totalmente estendido	1,0 a 4,6
Concreto	1,3 a 3,0

Fonte: ASHRAE (2001).

### 3.4.3.2 Perda de carga localizada

As perdas de carga localizadas nos acessórios da tubulação foram calculadas fazendo uso dos coeficientes de perda de carga tabelados (Quadro 7), empregados na equação (6).

Quadro 7 – Coeficiente de perda nos acessórios da tubulação

Reduções graduais		Expansões graduais	
			
Ângulo em graus	Coeficiente de perda de carga K	Ângulo em graus	Coeficiente de perda de carga K
5	0,05	3,5	0,22
10	0,06	5,0	0,28
15	0,08	10,5	0,44
20	0,10	15,0	0,58
25	0,11	20,0	0,72
30	0,13	25,0	0,87
45	0,20	30,0	1,00
60	0,30	Mais de 30	1,00
Entrada de ramal secundário		Curvas	
			
Ângulo em graus	Coeficiente de perda de carga K	r/d	Coeficiente de perda de carga K
10	0,06	2,75	0,25
15	0,09	2,50	0,22
20	0,12	2,25	0,26
25	0,15	2,00	0,27
30	0,18	1,75	0,32
35	0,21	1,50	0,39
40	0,25	1,25	0,55

45	0,28		
50	0,32		
60	0,44		
90	1,00		

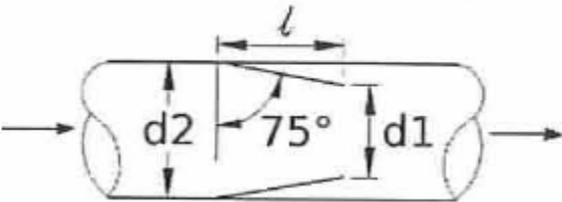
Fonte: Adaptado Clezar e Nogueira (2009).

#### 3.4.4 Balanceamento de dutos

Segundo Clezar e Nogueira (2009), o projeto do sistema de ventilação deve buscar variações de perda de carga nos terminais, inferiores a 20%. Para a realização do balanceamento foi utilizado o método de balanceamento estático, no qual foram adicionadas reduções de secção ao longo da tubulação, adicionando uma perda de carga adicional, nos pontos necessários.

O cálculo de perda de carga destas restrições, denominadas cones de equilíbrio, foi determinado considerando os coeficientes descritos no Quadro 8, aplicado na equação 2.

Quadro 8– Coeficiente de perda de carga em cones de equilíbrio



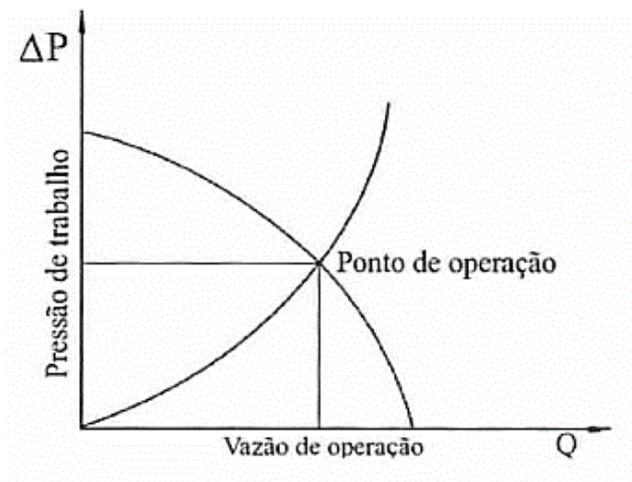
$d2/d1$	Fator K (perda de carga)
0,50	9,00
0,55	6,60
0,60	3,00
0,65	1,80
0,70	1,20
0,75	0,65
0,80	0,34
0,85	0,15

Fonte: Adaptado Clezar e Nogueira (2009).

### 3.5 Dimensionamento do ventilador

Um ventilador que opera conectado a um sistema de dutos deve apresentar uma vazão proporcional à perda de carga produzida pela tubulação. O ventilador foi selecionado de acordo com tipo mais adequado a aplicação do problema, observando os critérios recomendados pela literatura de apoio utilizada neste estudo (Quadro 2), para se obter a melhor custo-benefício (Figura 6).

Figura 6 – Ponto de equilíbrio ventilador-sistema



Fonte: Clezar e Nogueira (2009).

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

#### 4.1.1 Levantamento de dados do projeto atual da empresa

A empresa objeto de estudo do presente trabalho está instalada no município de Xanxerê, no estado de Santa Catarina, atuando há mais de 30 anos no ramo de estruturas e produtos de madeira. A planta realiza a manufatura de madeira laminada e de chapas de madeira compensada, prensada e aglomerada, tendo como principal produto a fabricação de portas semi-ocultas aberturas em madeira.

O trabalho teve início com visitas técnicas na fábrica conforme descrito na tabela 5, onde foi identificado o problema e seguido com o levantamento de informações detalhadas sobre o maquinário, parâmetros de processo envolvidos na manufatura de produtos, bem como tomar conhecimento do layout e arranjo físico da atual.

Tabela 5 – Visitas técnicas

<b>Data</b>	<b>Descrição das atividades</b>
12/04	Início do trabalho, apresentação da proposta
12/05	Visita técnica às instalações, levantamento de dados do processo
14/06	Levantamento de informações, medições de captos e de layout
11/10	Coleta de resíduos e medições de consumo de energia do atual ventilador

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

As máquinas e equipamentos fonte de resíduos de madeira estão elencados na tabela 6.

Tabela 6 – Máquinas e equipamentos

	<b>Nome</b>	<b>Fabricante</b>
1	Lixadeira banda larga de precisão	Tecmatic
2	Serra Esquadrejadeira	Invicta
3	Lixadeira de cinta horizontal	-
4	Serra circular	Omeco
5	Serra de desdobro horizontal	-
6	Prensa a vapor 1	
7	Prensa a vapor 2	

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Durante as visitas foram realizadas medições para a confecção do layout da fábrica bem como arranjo qual os equipamentos estão distribuídos na planta (Figuras 7 e 8).





#### 4.1.2 Levantamento do fluxo do processo

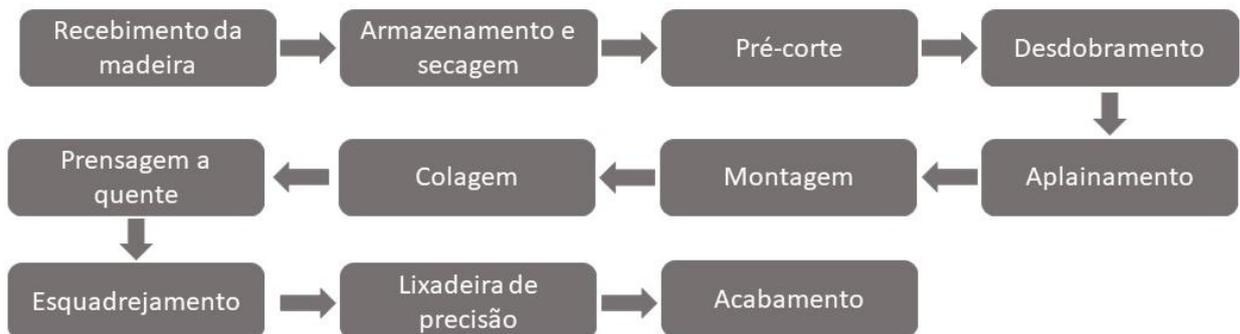
O processo de fabricação de portas semi-ocas se inicia com o recebimento das chapas de madeira, em maior parte eucalipto de reflorestamento, previamente tratadas e secas do fornecedor externo.

Em seguida a matéria prima é encaminhada para o pré-corte, onde será usinada, tomando forma para abastecer as demais etapas do processo, passando posteriormente pelo processo de desdobramento e aplainamento.

Por diante é realizada a montagem dos reforços internos, que serão colados junto as lâminas externas e prensados a quente, formando a porta. Após esta etapa, as portas passarão pelo esquadrejamento, lixamento e acabamento, onde estarão prontas para a entrega ao cliente.

O fluxograma a seguir (Figura 9) elenca as etapas de fabricação de portas semiocas.

Figura 9 – Processo de fabricação de portas semiocas em madeira



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Segundo informações apuradas junto a diretoria da empresa, no momento a fábrica concentra sua produção na manufatura de portas semiocas, deixando de lado a produção de batentes e alizares. A capacidade de produção instalada, segundo informações repassadas pela gestão de produção, é de 400 portas diariamente.

#### 4.1.3 Sistema de ventilação projeto atual

A empresa conta com um sistema de ventilação local exaustora operando em sua planta, porém, este não está cumprindo com sua finalidade, permitindo o acúmulo de resíduos no ambiente. Os operadores da fábrica, na intenção de adequar o

sistema, implementam soluções caseiras a fim de solucionar o problema (Figuras 10 e 11).

Figura 10 – Dutos sistema de ventilação atual



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 11 – Dutos sistema de ventilação atual 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O sistema de ventilação instalado possui um coletor do tipo ciclone (Figura 12), e é alimentado por um ventilador centrífugo dotado de um motor de 25 Cv (Figura 13).

Figura 12 – Ventilador e ciclone atual



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 13 – Placa do motor do ventilador atual



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Conforme abordado durante a revisão bibliográfica, o sistema de ventilação local exaustora, é o mais apropriado para solucionar o problema de captação de resíduos, gerados pelo processo alvo deste estudo. Pois possui a capacidade de

extrair um determinado contaminante do ambiente, captando-o diretamente em sua fonte geradora, antes que se espalhe, o transportando para fora do ambiente.

#### 4.1.4 Caracterização dos resíduos

Os resíduos oriundos do processo, observados durante as visitas, são predominantemente de três tipos diferentes, sendo resíduo com maior volume gerado na empresa é a serragem e o pó de serra (Figuras 14 e 15), que é formado por pequenas partículas, produto da passagem da madeira pela lâmina da serra e pelas lixas. O outro resíduo predominante é o de maravalha (Figura 16) resultantes do processo de desdobramento e aplainamento (FAGUNDES, 2003).

Figura 14 – Resíduo de serra



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 15 – Resíduo do processo de lixamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

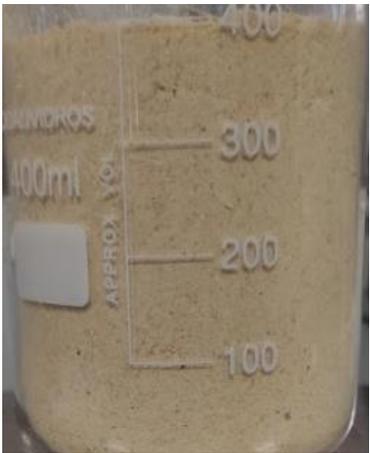
Figura 16 – Resíduo do processo de aplainamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Durante estas visitas, foram coletadas amostras dos 3 diferentes resíduos resultantes do processo. Utilizando um microscópio ótico e um paquímetro, foi determinado o diâmetro médio das amostras. A madeira utilizada na fabricação das portas semi-ocas é o Eucalipto-grandis. Os dados se encontram elencados no Quadro 9.

Quadro 9 - Caracterização dos resíduos

Tipo 1 – Pó de serra	Tipo 2 - Serragem	Tipo 3 - Maravalha
		
$dp = 0,00004 \text{ m}$	$dp = 0,00032 \text{ m}$	$dp = 0,0045 \text{ m}$
$\rho_p = 420 \text{ kg / m}^3$ (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2022)		
$\rho_p$ = massa específica da partícula $dp$ = diâmetro da partícula		

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

## 4.2 Dimensionamento do sistema de ventilação

### 4.2.1 Determinação da vazão necessária

Para a determinação da vazão necessária ao sistema, foi realizada a medição dos captores instalados nos equipamentos fontes de resíduo empregados no processo. Categorizado o tipo resíduo, e conforme as velocidades recomendadas na Tabela 1, foi estimado a velocidade de captura para cada um dos captores. Os resultados aplicando o método de cálculo para as vazões de captura exemplificado no quadro 4 estão elencadas na Tabela 7. Obs.: as numerações de cada equipamento, estão correspondentes de acordo com a tabela 6.

Tabela 7 – Vazões

	Tipo de captor	Flange	Tipo de resíduo	Distância de captura (m)	Velocidade de captura (m/s)	Dimensões do captor (m)	Vazão (m³/s)
1	Circular	Sim	Pó de serra	0,1	1	Ø 0,15	0,08
	Fresta	Sim		0,15	1	2 x (1 x 0,15)	0,37
2	Retangular	Não	Serragem	0,1	2,5	0,3 x 0,3	0,48
	Fresta	Sim		0,15	2,5	2,8 x 0,26	2,94
3	Retangular	Não	Pó de serra	0,1	1	0,3 x 0,35	0,21
4	Retangular	Não	Serragem	0,1	2,5	0,4 x 0,3	0,55
5	Retangular	Não	Maravalha	0,2	2,5	0,55 x 0,4	1,55
	Retangular	Sim		0,2	2,5	0,5 x 1	1,69
Somatório de todas as vazões							7,87

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

### 4.2.2 Projeto de dutos

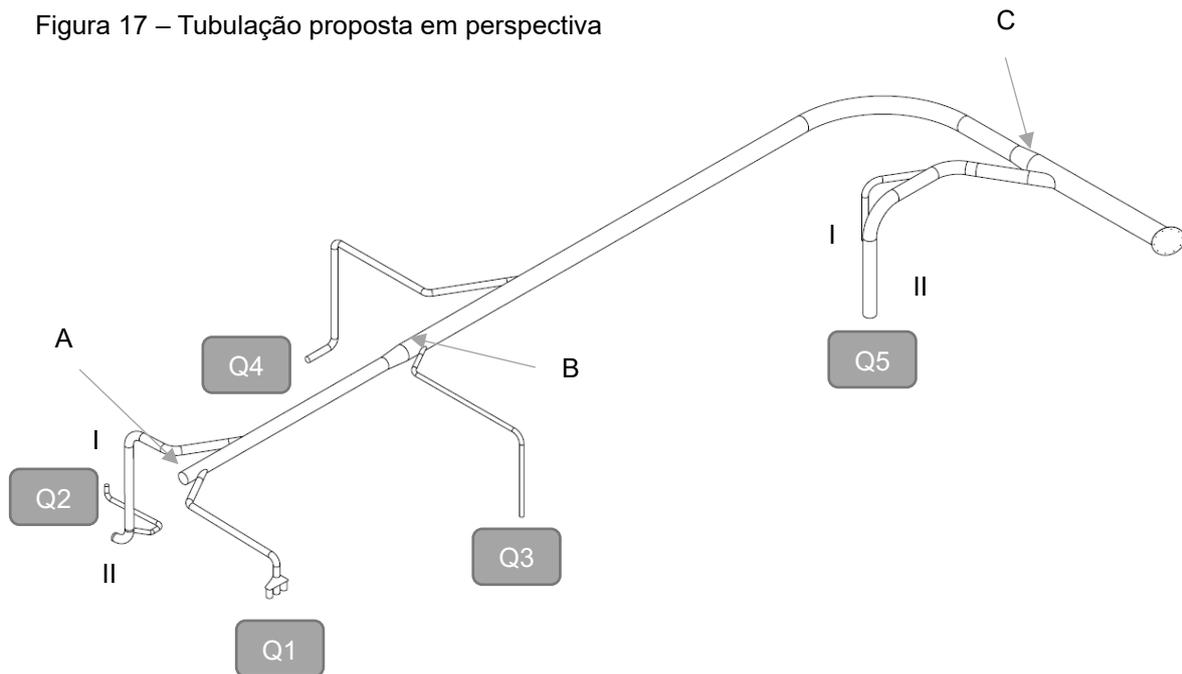
Para determinação dos diâmetros de dutos foi utilizado a equação 2, que usa da velocidade de transporte recomendada (Tabela 2) e a vazão necessária ao sistema calculada (Tabela 7).

A velocidade de transporte, de acordo com os tipos de resíduos gerados pelo processo, é  $\geq 22,5$  m/s. Para atender as demandas de vazão requerida pelo sistema sem aumentar demasiadamente o diâmetro dos dutos, optou-se pelo projeto considerando uma velocidade de transporte de 25 m/s.

Com objetivo de diminuir os efeitos das perdas de carga, foram utilizadas as recomendações para projeto de dutos encontrados na literatura, para as curvas, reduções, expansões e terminais. Sempre que possível, o projeto foi concebido considerando as geometrias que geravam menor perda de carga ao sistema.

Os diâmetros dos dutos conectados a saída dos captores, foram mantidos de acordo com o diâmetro de saída original do equipamento até o ramal de conexão ao duto central. Já o duto central foi dividido em seções com uma variação de diâmetros entre elas, visando a viabilidade econômica do projeto, visto que esta variação não causou prejuízos as vazões e velocidade de captura. A Tabela 8 e Figura 17 detalham a solução para tubulação proposta.

Figura 17 – Tubulação proposta em perspectiva



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tabela 8 – Diâmetro de tubulações

	Diâmetro duto do captor (m)	Diâmetro duto intermediário (m)	Seção	Diâmetro duto central (m)
Q1	0,15	0,15	A	0,4
Q2 I	0,1	0,2	A	0,4
Q2 II	0,2			
Q3	0,1	0,1	B	0,5
Q4	0,15	0,15	B	0,5
Q5 I	0,15	0,3	C	0,6
Q5 II	0,3			

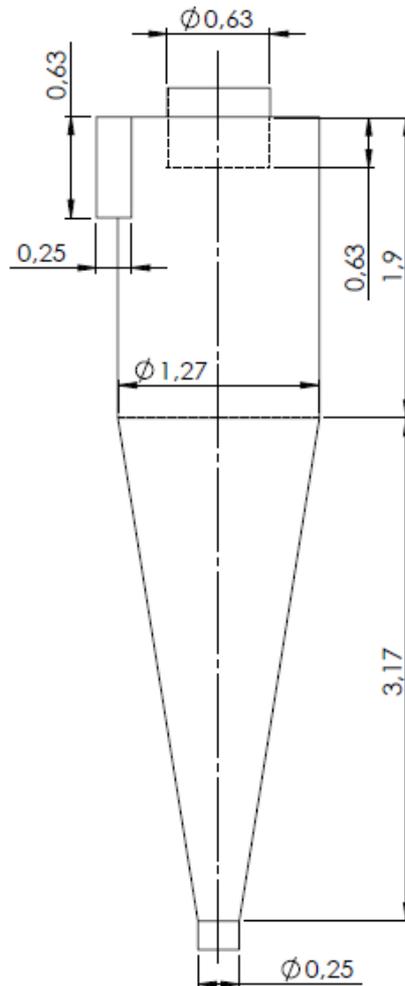
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

#### 4.2.3 Dimensionamento do coletor

Para realizar a coleta e separação do resíduo da corrente de ar foi selecionado o ciclone, pois é a solução que melhor se atende aos requisitos do processo (Quadro

3). Utilizando a metodologia apresentada no item 3.4, foi realizado o projeto do ciclone com uma eficiência de 95%. A Figura 18 ilustra as dimensões do ciclone projetado.

Figura 18 – Projeto do ciclone



Obs.: dimensões em metros

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

#### 4.2.4 Perdas de carga do sistema

As perdas de carga calculadas para o sistema, seguem elencadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Perdas de carga do sistema

	<b>Tipo de perda de carga</b>	<b>Perdas de carga (Pa)</b>
Q1	Captor I	1,54
	Captor II	1,67
	Redução 30°	75
	Curva 1 r/D = 2,5	82,50
	Junção 30°	67,50
	Curva 2 r/D = 2,5	82,50
	Trechos lineares D = 0,15 m	306,24
	Cone de equilíbrio 75° D 0,51 m d 0,11 m	450
Q2	Captor I	3,48
	Captor II	2,26
	Curva 1 r/D = 2,5	82,50
	Curva 2 r/D = 2,5	82,50
	Curva 3 r/D = 2,5	82,50
	Curva 4 r/D = 2,5	82,50
	Curva 5 r/D = 2,5	82,50
	Curva 6 r/D = 2,5	82,50
	Junção 30°	67,50
	Junção 30°	67,50
	Trecho reto	203,57
Trecho reto	166,14	
Q3	Captor	1,90
	Curva 1 r/D = 2,5	82,50
	Curva 2 r/D = 2,5	82,50
	Junção 30°	67,50
	Trechos lineares D = 0,2 m	220,63
	Cone de equilíbrio 75° D 0,2 m d 0,14 m	450
Q4	Captor	3,48
	Curva 1 r/D = 2,5	82,50
	Curva 2 r/D = 2,5	82,50
	Curva 3 r/D = 2,5	82,50
	Junção 30°	67,50
	Trechos lineares D = 0,15 m	358,27
	Cone de equilíbrio D 26 d = 12,5	243,75
Q5	Captor 1	1,83
	Captor 2	3,48
	Trecho linear D = 0,15 m	131,07
	Trecho linear D = 0,3 m	77,17
	Curva 1 r/D = 2,5	82,50
	Curva 2 r/D = 2,5	82,50
	Curva 3 r/D = 2,5	82,50
	Junção 30°	82,50
	Junção 30°	82,50
	Cone de equilíbrio D 0,3 d = 0,21	450,00
Secção linear A-B	Trecho linear D = 0,4	90,96
	Ampliação 5°	105,0
Secção linear B-C	Trecho linear D = 0,5	175,49
	Curva r/D 2,5	82,50
	Ampliação 5°	105
Secção linear C	Trecho linear D = 0,6	37,99
Duto pós-ventilador	Curva 1 r/D = 2,5	82,50
	Curva 2 r/D = 2,5	82,50
	Expansão 10,5°	165
	Trecho linear D = 0,5 m	56,99
Ciclone		386,99

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

#### 4.2.4.1 Balanceamento

Durante o projeto de dutos, foi verificado a diferença de perdas de carga ( $\Delta P$ ) em todos os terminais em relação ao terminal que inicialmente apresentou a maior perda de carga (Q2), de modo adequar os diferenciais de pressão aos valores de referência. Segundo Clezar e Nogueira (2005), um sistema de ventilação está balanceado quando a diferença de perda de carga entre todos os terminais é inferior a 20% entre os captores.

Para essa equalização, optou-se por utilizar cones de equilíbrio, acessórios que cria uma redução de seção no duto, gerando assim uma restrição mecânica fixa no escoamento. A tabela 10 demonstra os valores de perda de carga iniciais e após balanceamento. A distribuição dos cones de equilíbrio, ao longo da tubulação, está ilustrada na figura 19.

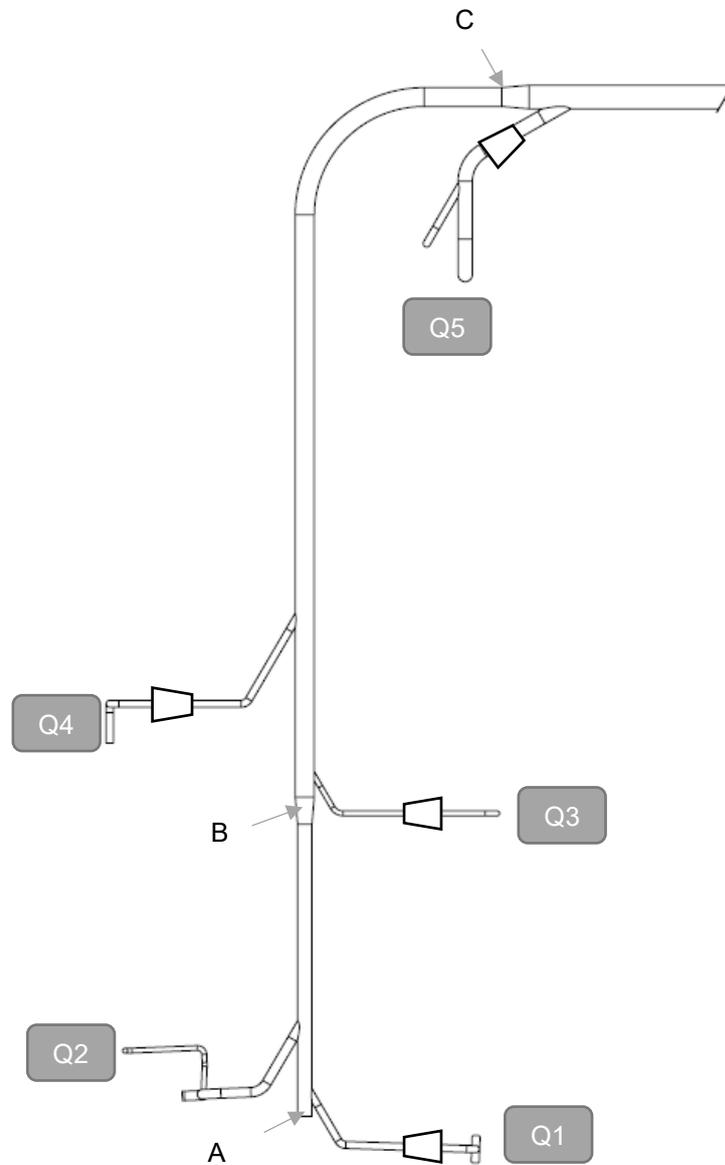
Concluída a etapa de balanceamento, foi possível estimar a perda de carga do sistema, usada como parâmetro para a escolha do ventilador.

Tabela 10 – Balanceamento de dutos

	<b>Segmento de tubulação</b>	<b><math>\Delta P</math> antes do balanceamento (Pa)</b>	<b>Diferença de perda de carga em % antes do balanceamento</b>	<b><math>\Delta P</math> após o balanceamento (Pa)</b>	<b>Diferença de perda de carga em % após o balanceamento</b>
Q1	A-B	616,95	38,64	1066,95	5,76
Q2	A-B	1005,45		1005,45	
Q3	B-C	455,03	120,97	905,03	9,99
Q4	B-C	676,75	48,57	920,50	9,23
Q5	C	611,05	39,23	1061,05	5,53
Perda de carga do sistema = 3062,90 Pa / 0,32 mca					

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 19 – Local das restrições



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

#### 4.2.5 Escolha do ventilador

Existem no mercado inúmeros fabricantes de ventiladores, cabendo ao projetista do sistema de ventilação essa escolha, ao que melhor atenda às necessidades de eficiência e desempenho de acordo com cada projeto.

A escolha do ventilador foi realizada com auxílio do software Vortex®, da fabricante de ventiladores Otam, que apresenta modelos de ventiladores em seu catálogo levando em consideração a perda de carga em mmca, densidade e a vazão do sistema.

Para sistemas de transporte de particulados, de acordo com a bibliografia de base, o ventilador centrífugo com pás inclinadas para trás, se mostrou o mais apropriado.

Após a seleção de dados e inserção dos parâmetros de temperatura de trabalho, vazão requerida e as perdas de carga do sistema, o software Vortex® retornou com algumas opções de modelos (Figura 20). Dentre estes, o que se mostrou mais apropriado quando comparamos a potência absorvida e velocidade nos dutos > 22,5 m/s (DA COSTA, 2005), é o modelo ART-N 1126 Classe II.

Figura 20 – Tela de seleção de parâmetros software Vortex®

The screenshot displays the Vortex software interface for fan selection. It is organized into several panels:

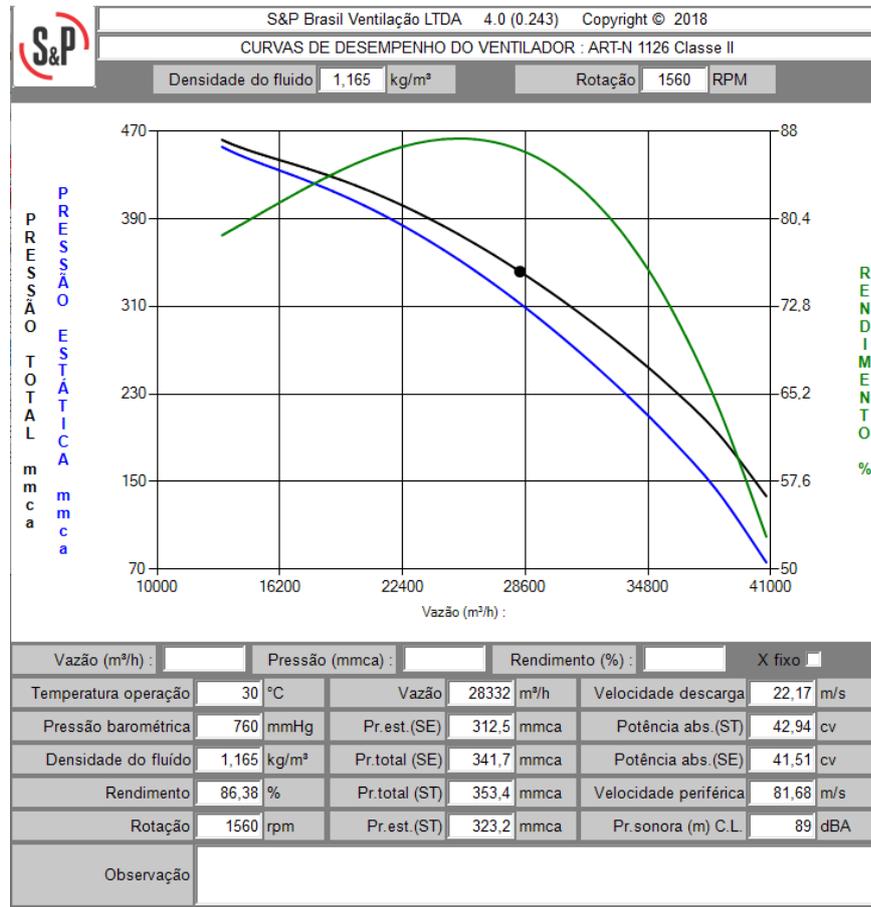
- Dados operacionais:** Includes fields for Temperature (30 °C), Atmospheric Pressure (1 atm), Altitude (0 m), Constant R (287.04), Density (1.165 kg/m³), Flow Rate (7.87 m³/s), and Static Pressure (3062.90 Pa).
- Dados ventilador:** Includes Ventilator Type (LIMIT LOAD SIMPLES), Model (ART-N), and Arrangement (4).
- Dados motor:** Includes Motor Type (IR3), Voltage (220/380/440), Protection Class (IP55), Isolation (F), Phases (3F), Frequency (50 Hz), Poles (4 polos), and Brand (WEG).
- SELEÇÃO:** A sidebar with buttons for 'Curva', 'Curva + ruído', 'Rotação', and 'Exportar EXCEL'.
- Table:** A table listing various fan models with columns for DIAM, RC, ANG, REND (%), RPM, POT.ABS (cv), VEL.PERIF (m/s), and VEL.DESC (m/s). The model 1126 is highlighted in blue.
- Model Details:** A detailed view for the selected 'ART-N 1126 Classe II' model, showing parameters like Temperature (30 °C), Barometric Pressure (1 atm), Fluid Density (1.165 kg/m³), Flow Rate (7.87 m³/s), and various pressure and velocity values.

Tamanho	456	457	506	507	566	567	636	637	716	717	806	807	906	907	1006	1007	1126	1127	1256	1257	1406	1407	
DIAM	806	906	1007	1006	1127	1257	1256	1407	1406														
RC	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
ANG	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
REND (%)	63,73%	74,03%	82,23%	82,21%	84,58%	88,44%	88,47%	85,60%	86,80%														
RPM	3.172	2.331	1.975	1.826	1.645	1.351	1.316	1.168	1.080														
POT.ABS (cv)	70,69	54,69	45,72	45,73	42,40	39,26	39,24	39,71	39,16														
VEL.PERIF (m/s)	117,91	97,64	87,89	86,04	81,82	75,01	77,18	71,55	70,97														
VEL.DESC (m/s)	44,34	35,13	27,76	27,76	22,17	17,57	17,57	13,88	13,88														

Fonte: Software Vortex® 4.0 Soler & Palau, Otam.

A Figura 21, ilustra a curva de rendimento do ventilador selecionado, operando para atender a vazão necessária ao sistema, considerando a perda de carga calculada.

Figura 21 – Curvas de desempenho do ventilador ART-N 1001 Classe II

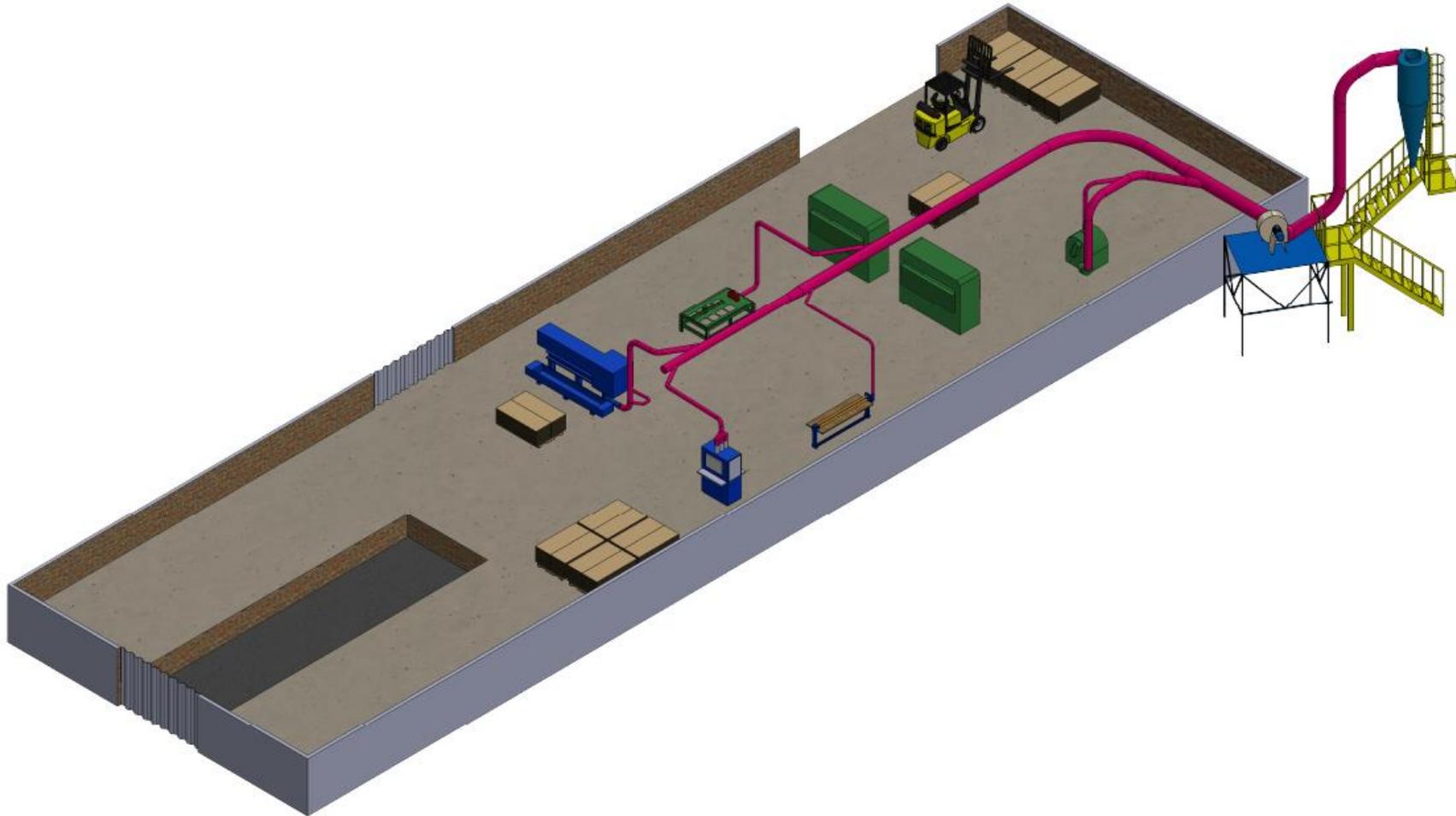


Fonte: Software Vortex® 4.0 Soler & Palau, Otam.

#### 4.2.6 Layout e implantação do sistema proposto

A figura 22 demonstra a implantação da proposta dentro do atual arranjo de layout da fábrica.

Figura 22 – Layout e implantação da proposta de sistema VLE



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

## 5 CONCLUSÃO

Este ensaio demonstra que o investimento técnico científico pode contribuir no aprimoramento desta importante atividade industrial, que vem se alterando rapidamente, muito por conta do avanço das normas regulamentadoras. Desenvolver recursos técnicos conforme as normas ambientais e segurança vigentes, se torna um diferencial competitivo significativo para as empresas madeireiras que tem o objetivo de se destacar neste ramo.

Com relação as atividades desenvolvidas neste estudo:

1. Conforme o objetivo específico “levantar os dados de processo da empresa objeto de estudo”, foram realizadas a visitas técnicas onde foi apresentado o processo produtivo da empresa, bem como produtos beneficiados e características dos equipamentos empregados. Também possibilitou a construção de um layout da condição atual da fábrica, o que amparou o estudo do problema e poderá servir de apoio para trabalhos futuros.
2. Conforme o objetivo “tipificar os resíduos gerados pelos processos produtivos aplicados”, durante a etapa de visitas técnicas, foram identificados os tipos de resíduos gerados em cada fase do processo. Realizou-se a coleta dos diferentes resíduos presentes na planta fabril e com o auxílio de instrumentos laboratoriais e de metrologia, foi possível determinar as propriedades dimensionais para cada um destes.
3. Conforme o objetivo “sugerir uma solução adequada para a captação dos resíduos gerados no processo de produção”, o estudo fez uso dos parâmetros descritos na literatura técnica para avaliar e sugerir um sistema de ventilação mais adequado ao processo da empresa. Com base nesta avaliação foi indicado um sistema de ventilação local exaustora dotada de um coletor do tipo ciclone, suprido por um ventilador centrífugo de pás inclinadas para trás.
4. Conforme o objetivo “dimensionar um sistema de ventilação objetivando mitigar os impactos causados pelos resíduos resultantes do processo de produção”, a partir dos dados levantados sobre o processo produtivo, com os fundamentos da literatura técnica disponível, calculou-se: as vazões de captura recomendadas para cada tipo resíduo, dimensões

para tubulação de transporte, coletor, ventilador e as perdas de carga de todo o sistema.

Observando o projeto ventilação instalado atualmente na fábrica, notou-se que o dimensionamento de um sistema de ventilação, elaborado de acordo com os critérios descritos na literatura disponível sobre o tema, aponta para um sistema composto de um ventilador equipado com uma potência absoluta 60% maior, do que a instalada no atual projeto da fábrica.

Com tudo, o levantamento de informações realizado *in loco* mostrou que o sistema atual não contempla a vigente demanda, permitindo a presença de resíduos em suspensão e depositado, comprometendo assim a saúde e segurança dos trabalhadores, bem como a qualidade dos produtos e a lucratividade da empresa.

### **5.1 Considerações para trabalhos futuros**

Para a complementação deste estudo, em trabalhos futuros sugere-se:

1. Confecção de projeto e detalhamentos para implantação do sistema de ventilação dimensionado;
2. Elaboração de orçamentos para a aquisição e instalação do sistema ventilação proposto;
3. Elaboração de um estudo de viabilidade econômica com base no sistema de ventilação sugerido neste trabalho;
4. Elaboração de um estudo comparando os dados de um sistema de ventilação dimensionado mediante simulação computacional com o sistema de ventilação sugerido neste trabalho;

## REFERÊNCIAS

American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 2001 Ashrae Handbook: Fundamentals. S.I. ed. Atlanta GA: ASHRAE; 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 5 p.

BLEVINS, R. D. Applied fluid dynamics handbook. New York, NY, USA: Van Nostrand Reinhold Company, 1984.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União, 03 de agosto de 2010.**

CASSILHA, A. C.; PODLASEK, C. L.; JUNIOR, E. F. C.; SILVA, M. C.; MENGATTO, S. N. F. Industria moveleira e resíduos sólidos: considerações para o equilíbrio ambiental. **Revista Educação e Tecnologia**, Curitiba, n. 8, set. 2004.

DA COSTA, E. C. **Ventilação**. [S.I.] Blucher, 2005.

FAGUNDES, H. A. V. **Diagnóstico da produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 2003. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2003.

FOX, R. W.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J. **Introdução à mecânica dos fluidos**. Rio De Janeiro (RJ): Ltc, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. **Ambiente, trabalho e câncer: aspectos epidemiológicos, toxicológicos e regulatórios** / Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. – Rio de Janeiro: INCA, 2021.

**IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas**. Disponível em: <[http://www.ipt.br/informacoes\\_madeiras/13.htm](http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/13.htm)>. Acesso em: 20 nov. 2022.

LIDA, L. **Ergonomia: projeto e produção**. São Paulo (SP): Blücher, 2005.

MACINTYRE, A.J. **Ventilação industrial e controle da poluição**. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1990.

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

CLEZAR, C. A; NOGUEIRA, A. C. R. **Ventilação Industrial**. 2. ed. Florianópolis: UFSC, 2009. 240 p.

OLIVEIRA, J. M. **Noções de Ventilação Industrial** (apostila). Disponível em: <[http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/VENTILACAO\\_INDUSTRIAL.pdf.1](http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/VENTILACAO_INDUSTRIAL.pdf.1)>.

>. Acesso em: 03 de abril de 2022.

PONCE, R. H. Madeira Serrada de Eucalipto: desafios e perspectivas. In: **Seminário internacional de utilização da madeira de eucalipto para serraria**. São Paulo: IPEF, 1995.

**Por que é importante descartar corretamente o pó da madeira nas marcenarias?** Disponível em: <<https://digital.formobile.com.br/gestao/por-que-e-importante-descartar-corretamente-o-po-da-madeira-nas-marcenarias>>. Acesso em: 29 jul. 2022.

REMADE: Revista da Madeira. **Uso da madeira na produção de portas e janelas**. Edição N°9. agosto de 2005. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=775&subject=...](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=775&subject=...)> Acesso em 03 de julho de 2022.

ANEXO A – Catálogo ventilador Otam ATR-N Classe II A-4



Equipamentos de Ventilação

VENTILADORES CENTRÍFUGOS  
*Tipo Limit Load*

**ART-N**







# ART-N

É um equipamento de construção robusta, para aplicações tipicamente industriais. O ventilador modelo ART-N possui rotor de pás curvadas para trás, atingindo altos rendimentos e proporcionando economia de energia. A tecnologia empregada neste produto tem origem no renomado fabricante italiano Ferrari Ventilatori, que é parte do grupo Soler & Palau.

## Aplicações



Sistemas de Ventilação e exaustão



Controle de Poluição



Transporte pneumático

## Carcaça

As carcaças são fabricadas em aço carbono e possuem solda contínua.

## Rotores

São de pás curvadas para trás, fabricados do tamanho 451 a 1251.



## Desempenho

- Atinge vazões de 1500 m<sup>3</sup>/h até 216.000 m<sup>3</sup>/h;
  - Atinge pressões estáticas de 30 até 1200 mmca;
  - Eficiência de até 89%
- Temperatura de funcionamento, na construção standart, até 100°C.

## Arranjos

Construções nos arranjo 4, 1 e 8.

## DIMENSÕES GERAIS

