



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



LEANDRO MARTINS CASTRO

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO LOCAL
EXAUSTORA PARA UMA ÁREA DE LAMINAÇÃO A QUENTE**

OURO PRETO - MG
2021

LEANDRO MARTINS CASTRO
Leandro.castro1@aluno.ufop.edu.br

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO LOCAL
EXAUSTORA PARA UMA ÁREA DE LAMINAÇÃO A QUENTE**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Professor orientador: DSc. Luís Antônio Bortolaia

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C355d Castro, Leandro Martins .

Dimensionamento de um sistema de ventilação local exaustora para uma área de laminação a quente. [manuscrito] / Leandro Martins Castro. - 2021.

54 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Luís Antonio Bortolaia.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Exaustores - Laminação a quente. 2. Beneficiamento - Carepa(aço). 3. Ventilação Industrial - Exaustores. I. Bortolaia, Luís Antonio. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Leandro Martins Castro

Dimensionamento de um sistema de ventilação local exaustora para uma área de laminação a quente

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico

Aprovada em 22 de abril de 2021

Membros da banca

DsC. Luís Antônio Bortolaia - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
DsC. Ana Maura Araújo Rocha (Universidade Federal de Ouro Preto)
DsC. Claudio Márcio Santana (Universidade Federal de Ouro Preto)

Luís Antônio Bortolaia, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 01/05/2021



Documento assinado eletronicamente por **Luis Antonio Bortolaia**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/05/2021, às 13:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0166120** e o código CRC **A9B13A0C**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.004070/2021-67

SEI nº 0166120

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Telefone: (31)3559-1533 - www.ufop.br

À minha família, professores e amigos
que fizeram parte dessa trajetória e
contribuíram de alguma forma.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar minha família, por todo o carinho e suporte nessa trajetória. Meus pais, Silas e Dorotéia, por me mostrarem que posso alcançar o que quiser, com paciência e muita dedicação. Minha irmã Isabela, pela amizade e inspiração. A Tainá, pelo amor e companheirismo nessa jornada.

À UFOP – Escola de Minas. Todos os professores que compartilharam seus conhecimentos para uma graduação de excelência, em especial Professor Bortolaia, meu orientador, pela ajuda ao desenvolver esse projeto.

Agradeço à Eterna República Pif-Paf, todos ex-alunos e moradores, que contribuíram de forma grandiosa para meu crescimento nessa jornada.

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

RESUMO

A produção e utilização de aços estruturais nas siderúrgicas brasileiras vem crescendo nos últimos anos, devido às suas vantagens construtivas. A obtenção desse material é dada pelo processo de laminação à quente nessas indústrias, onde um bloco ou tarugo é laminado para obter o produto final em suas corretas especificações. O processo de laminação é responsável pela geração de uma quantidade significativa de resíduo, este, denominado carepa. A carepa se trata de um resíduo com granulometria ultra fina, que é facilmente dispersa no ar. A correta disposição dos resíduos siderúrgicos durante o processo produtivo é de fundamental importância, uma vez que está relacionada à saúde dos operadores e, por consequência, à eficiência desse mesmo processo. O presente trabalho tem por objetivo dimensionar um sistema de ventilação local exaustora para que parte desse resíduo seja capturado, ao invés de ser lançado ao ar. Para o desenvolvimento do projeto foram ponderadas as características e os parâmetros específicos do processo de laminação, como, a área da linha de processo de laminação, a granulometria do resíduo e as condições do ambiente. Sendo assim, foi possível fazer o dimensionamento da captação, da rede de dutos, do ventilador e dos equipamentos de purificação do ar. Foi observado neste trabalho, que o sistema de ventilação exaustora é benéfico para o processo e eficiente na captura do resíduo, resguardando a eficiência deste.

Palavras-chaves: Laminação a quente, Carepa, Ventilação Industrial Exaustora.

ABSTRACT

The production and use of structural steel in Brazilian steelmakers have been growing in recent years, due to its constructive advantages. This material is obtained by the hot rolling process in the steel industries, where a block or beam blank is rolled to obtain the final product in its correct specifications. The rolling mill process is responsible for generating a significant amount of residue, called steel-slag. The steel-slag is an ultra-fine particle size residue, which is easily dispersed in the air. The correct disposal of steel residues during the production process is of fundamental importance, once it is related to the health of employees and, consequently, for the efficiency of the process. The objective of the present work is to design a local exhaust ventilation system so that part of the residues is captured instead of being released into the air. For the development of the project, some specific characteristics and parameters of the rolling mill process were considered, such as: the area of the rolling mill line, the particle size of the residues and the environmental conditions. Therefore, it was possible to dimension the intake, the duct network, the fan and the air purification equipment. It was observed that the exhaust ventilation system is beneficial for the process and efficient in capturing the residues, safeguarding the efficiency of the process.

Keywords: Hot rolling process; Steel-Slag; Industrial exhaust ventilation.

LISTA DE SÍMBOLOS

- q : a taxa de transferência de calor [W];
- A : área da seção de transferência de calor [m²];
- h : coeficiente de transferência térmica [W/m².K];
- T_{amb} : temperatura ambiente do local [K];
- T_{viz} : temperatura da vizinhança [K];
- ε : emissividade do material;
- σ : constante de Stefan-Boltzmann [W/m².K⁴];
- C_p : Calor específico [kJ/kg.K];
- ρ : massa específica [kg/m³];
- ν : viscosidade absoluta [N.s/m²];
- Q_2 : vazão de exaustão do captor e duto [m³/s];
- Q_1 : vazão do jato na fresta de insuflamento [m³/s];
- H : altura do captor acima do tanque [m];
- h : altura da fresta de insuflamento [m];
- d : diâmetro do duto [m];
- ΔP : Perda de carga [Pa];
- P_e : Pressão estática [Pa];
- f : coeficiente de atrito [-]
- L : extensão do duto [m];
- v : velocidade do ar transportado [m/s];
- g : aceleração da gravidade [m/s²];
- ρ : massa específica [kg/m³];
- e : rugosidade absoluta

Re : Número de Reynolds;

ν : viscosidade cinemática [m^2/s];

H_m : Altura manométrica [mmca];

n : rotação do motor [rpm];

n_t : velocidade específica do ventilador [rpm].

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de laminação de materiais.....	5
Figura 2 – Etapas do processo de laminação de perfis.....	6
Figura 3: Linha de laminação de perfis	7
Figura 4: Representação dos cilindros desbastadores	8
Figura 5 – Sequência de passes do tarugo pelo laminador desbastador.....	9
Figura 6 – Cilindros do processo X-H.....	10
Figura 7 – Representação de passes do Grupo Tandem.....	10
Figura 8 – Sistema de Ventilação Local Exaustora.....	13
Figura 9 – Componentes de uma instalação de ventilação local exaustora; 1. Captores; 2. Coletor (ciclone); 3. Ventilador; 4. Motor de acionamento; 5. Canalizações de exaustão de ar com os contaminantes; 6. Canalização de saída do ar puro.	14
Figura 10 – Captor.....	15
Figura 11 – Fluxograma do projeto.....	18
Figura 12 – Vista Lateral da linha de processo	19
Figura 13 – Vista Frontal da linha de processo	20
Figura 14 – Vista Aérea da linha do processo.....	21
Figura 15 – Captação tipo “sopro-exaustão”.....	23
Figura 16 – Sistema de insuflamento ou sopro	25
Figura 17 – Diagrama de Moody	28
Figura 18 – Alargador gradual de seção.....	31
Figura 19 – Fator de correção da perda de carga de ar que contém material particulado .	32
Figura 20 – Velocidades específicas para os diferentes tipos de ventiladores	35
Figura 21 – <i>layout</i> do sistema de ventilação	36
Figura 22 – Projeto do Sistema	41

Figura 23 – Modelos de ventiladores Aeroville e suas aplicações.....	46
Figura 24 – Ponto de operação do ventilador.....	47
Figura 25 – Características do ventilador.....	48
Figura 26 – Ponto de operação do ventilador.....	49
Figura 27 – Ficha técnica do Filtro JP-FP72.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fator F de indução para captor <i>push-pull</i>	25
Tabela 2 – Massa específica e viscosidade cinemática do ar	27
Tabela 3 – Coeficiente de entrada e perdas de entrada	29
Tabela 4 – Comprimento equivalente em metros de duto reto.....	30
Tabela 5 – Coeficiente de perda de alargador gradual	31
Tabela 6 – Perda de carga em equipamento de controle de poluição.....	33
Tabela 7 – Variáveis e Indicadores da laminação de perfis	37
Tabela 8 – Variáveis e indicadores de ventilação local exaustora	37
Tabela 9 – Tipos de captor	42
Tabela 10 – Coeficientes de entrada e perdas de carga	43
Tabela 11 – Perdas de carga do sistema	45

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Geral.....	3
1.3.2	Específicos	3
1.4	Estrutura do Trabalho	3
2	Revisão bibliográfica	4
2.1	Laminação de Perfis	4
2.1.1	Forno de Reaquecimento.....	7
2.1.2	Descarepador.....	7
2.1.3	Desbastador	8
2.1.4	Grupo Tandem.....	9
2.2	Resíduos da Laminação	11
2.3	Sistema de Ventilação Local Exaustora	12
2.3.1	Velocidade de Captura	14
2.3.2	Captore.....	14
2.3.3	Dutos para Condução do Ar	15
2.3.4	Ventiladores	16
2.3.5	Purificação do Ar	16
3	Metodologia.....	17

3.1	Tipo de pesquisa	17
3.2	Materiais e métodos	18
3.2.1	Características do resíduo.....	21
3.2.2	Transferência de Calor	22
3.2.3	Condições do Processo.....	22
3.2.4	Ventilação tipo “Sopro-Exaustão”	23
3.2.5	Velocidade de escoamento do ar em dutos	25
3.2.6	Dutos	26
3.2.7	Perdas de carga.....	26
3.2.8	Ventiladores	34
3.2.9	Purificadores de ar.....	36
3.2.10	<i>Layout</i> do sistema.....	36
3.3	Variáveis e Indicadores	37
3.4	Coleta de Dados.....	37
3.5	Considerações Finais	38
4	Resultados e discussões	39
4.1	Dados de entrada e considerações iniciais.....	39
4.2	Dimensionamento do sistema.....	40
4.2.1	Cálculos iniciais da planta.....	40
4.2.2	Cálculos do sistema sopro-exaustão.....	41
4.2.3	Captor	42
4.2.4	Dutos	43
4.2.5	Seleção de equipamentos	45
5	conclusão	51

5.1	Conclusões.....	51
5.2	Recomendações	51
	Referências	52

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

A produção de aços estruturais para construção civil no Brasil tem crescido bastante nas últimas décadas, uma vez que a utilização desse material traz vantagens como, redução no prazo de execução da obra e nos custos, alívio de carga nas fundações, menor consumo de matéria prima como madeira, maior precisão milimétrica de níveis e prumos facilitando o assentamento de esquadrias, e outros (Nardin, 2008).

O processo siderúrgico para obter tais estruturas (perfis I, H, U e cantoneiras) começa pela preparação de carga obtida por carvão, minério de ferro ou sucata. A carga passa pela redução e segue para o alto forno da aciaria. Em seguida tem-se o lingotamento e o produto gerado pode ser então laminado até atingir a forma final esperada (Instituto Aço Brasil, 2013).

De acordo com o CIMM (Centro de Informação Mecânica Metal, 2005) a laminação de perfis (LPE) é caracterizada por ser um processo a quente e que apresenta redução da seção transversal do metal em duas direções, devido aos vários passes nos cilindros ranhurados da linha. O tarugo e/ou bloco (*beam blank*) provido da aciaria é reaquecido no forno a temperaturas superiores a 1200°C, sai do forno devido a sequência da produção e passa por uma série de laminadores até chegar à estrutura final desejada.

A grande diferença de temperatura entre o bloco que sai do forno e a temperatura ambiente provoca oxidação na superfície do aço, e o material ao passar pelo primeiro laminador, que tem função de desbaste, tem todo esse óxido, gerando um produto denominado de carepa (Dias, et al., 2012).

A carepa de laminação é originária do processo de lingotamento e laminação durante o refino do aço, etapa onde o aço é submetido a um aquecimento em um forno e conseqüentemente há a geração de um gradiente de temperatura, que propicia a formação de uma camada de óxidos de ferro por cima do aço (Neves, et al., 2016).

Grande parte da carepa retirada do tarugo/bloco é diretamente depositada no poço abaixo do laminador (ABM, 2003), porém as menores partículas são lançadas ao ar e devido à alta produtividade, essas pequenas partículas acabam virando uma nuvem e o resíduo é então levado para diversas partes do galpão, contaminando e sujando as máquinas e o ambiente.

Na Gerdau – Usina de Ouro Branco – essa contaminação do ambiente não é diferente. A carepa misturada ao vapor de água, gerado também na linha de laminação, se espalha e atrapalha o ambiente em diversas formas. Seja no acúmulo desse resíduo nas máquinas da linha, no chão do galpão cobrindo as faixas do caminho seguro, nos corrimãos das passarelas e escadas, etc.

Dessa forma, há a necessidade de implantar sistemas de exaustão e purificação para reduzir ao máximo essa sujeira.

Assim, surge a seguinte questão:

Como dimensionar um sistema de ventilação local exaustora para um galpão de laminação a quente de maneira que esse resíduo seja capturado de forma eficiente?

1.2 Justificativa

Os princípios de uma empresa estão diretamente associados à condição de trabalho oferecida aos funcionários, bem como, ao valor do produto final que ela entrega a seus clientes. De acordo com Carneiro (2003), os fatores a serem avaliados no valor de um perfil estrutural são:

- Custo do produto;
- Qualidade do produto: se está dentro das tolerâncias permitidas pela norma ABNT NBR 15980:2011;
- Tempo de entrega: se está de acordo com o combinado entre empresa e consumidor.

Para que os fatores apresentados acima sejam cumpridos, deve haver boas disponibilidades de mão-de-obra, ferramentas e de maquinário. Porém, um ambiente com resíduo da laminação espalhado pelo galpão traz empecilhos para o processo. O acúmulo de sujeira no maquinário da linha de produção deteriora o funcionamento desses, o que afeta a produtividade, podendo afetar até mesmo a qualidade do produto. Logo, os três itens citados acima são atingidos por esse único problema.

A segurança dos funcionários da área também entra em risco em um ambiente como esse citado. O código de segurança da empresa diz que em toda a linha de produção há o denominado Caminho Seguro, que são as faixas onde se pode transitar com segurança. A quantidade elevada do resíduo esconde as faixas e com isso, o trabalhador sujeita-se a riscos e acidentes por estar transitando em lugar indevido.

A correta exaustão e filtragem desse resíduo gerado trarão benefícios tanto para a produtividade da área quanto para a segurança dos funcionários que ali trabalham.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Dimensionar um sistema local de exaustão para uma melhor coleta do resíduo do processo.

1.3.2 Específicos

- Realizar pesquisa bibliográfica sobre processo de laminação de perfis;
- Realizar pesquisa sobre o resíduo gerado;
- Definir as partes do processo que geram resíduo;
- Avaliar *layout* do local para instalação do sistema;
- Realizar o projeto de dimensionamento de exaustão de resíduos para a área de laminação de perfis à quente.

1.4 Estrutura do Trabalho

O estudo da condição do ambiente de trabalho para definição do melhor método e equipamento de exaustão e filtragem da área será realizado em cinco capítulos, sendo regido de acordo com as normas vigentes da ABNT e com o curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto.

O primeiro capítulo introduz o problema e o motivo para o trabalho, explicitando o porquê e a importância da escolha do projeto. O capítulo dois abordará as referências bibliográficas dos referenciais teóricos citados durante a pesquisa e a escrita.

Em sequência, o terceiro capítulo evidencia a metodologia utilizada no estudo da solução do problema em questão. O capítulo de número quatro será para discussão e análise dos resultados obtidos e por fim, as conclusões do projeto serão mostradas no quinto capítulo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo é destinado a apresentar as principais bases teóricas para investigação e desenvolvimento do trabalho, contribuir nas comparações e na validação dos resultados deste trabalho.

A idade do ferro se iniciou por volta de 1200 a.C. nas regiões do Oriente Próximo e do Sudeste da Europa, e pode ser assim chamado, pois é a época marcada pelo domínio de algumas técnicas de fundição do material, e então, a utilização dele no cotidiano para ferramentas e armas. Tais ferramentas e armas foram de extrema importância para a expansão territorial de diversos povos, mudando a história de vários povos ao redor do mundo (Andrade, 2018).

Durante a revolução industrial (1760 a 1820), definiu-se então a diferença entre o ferro e o aço, com a invenção de fornos que permitiam corrigir as impurezas do ferro e adicionar propriedades como resistência ao desgaste, ao impacto, à corrosão, etc. Devido a essas características, o aço passou a representar cerca de 90% de todos os metais consumidos pela civilização industrial (Instituto Aço Brasil, 2013).

A crescente utilização do aço na construção civil se dá por fatores como, maior resistência, facilidade de execução do projeto de obra, redução do tempo de construção, melhor utilização do espaço, qualidade da obra, economia, e outros (Nardin, 2008). No Brasil, a utilização do aço começa após a chegada da família real ao Brasil e, a partir de meados do século XIX, o país passa a produzir aço ao invés de importar. Fato devido à fundação da CSN (Companhia Siderúrgica Nacional) (Instituto Aço Brasil, 2013).

Hoje em dia, as aplicações do aço estão no dia-a-dia da população em diversas ocasiões, como: utensílios domésticos, transporte, construção civil, embalagens e recipientes, energia, agricultura, etc. tornando-se invisível aos olhos em diversas oportunidades. Segundo o Instituto Aço Brasil (2013), “o Brasil tem hoje o maior parque industrial de aço da América do Sul; é o maior produtor da América Latina e ocupa o sexto lugar como exportador líquido de aço e nono como produtor de aço do mundo”.

2.1 Laminação de Perfis

A laminação é um processo de conformação na qual o material é forçado a passar entre dois cilindros que giram em sentidos opostos e tem praticamente a mesma velocidade. Esse

material é deformado ao longo de cada cilindro, com o objetivo de se diminuir a espessura e aumentar o comprimento, como demonstrado na figura 1, e largura podendo ou não ser aumentada (Meirelles, 2004).

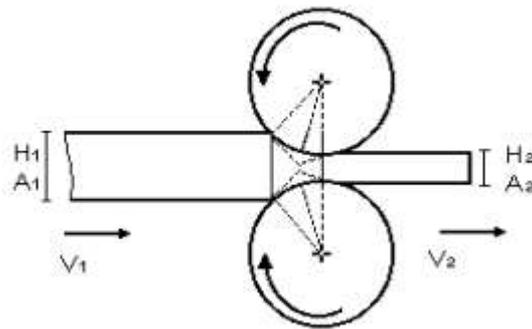


Figura 1 – Processo de laminação de materiais.
Fonte: Medeiros, *et al.*, (2008)

Dieter (1981) diz que a laminação tem como objetivo básico dar forma a barra, melhorar a estrutura interna, propriedades mecânicas e qualidade superficial.

A laminação é atualmente uma das grandes áreas de interesse da conformação mecânica, devido à grande variedade de formas produzidas, as altas taxas de produção, bem como as altas exatidões alcançadas (Soares, 2007).

Segundo Rizzo (2007), tem-se duas razões básicas para que a conformação do aço seja efetuada por laminação. Primeiro, visando obter formas que seriam difíceis de serem produzidas por outros métodos. Tais formas vão desde folhas e barras finas, até formas mais complicadas como vigas I, trilhos e perfis especiais. Em segundo, porque as propriedades mecânicas dos metais são geralmente melhoradas pela conformação mecânica.

Em outro livro Rizzo (2005) diz que durante a laminação, raramente passa-se o material somente uma vez entre os cilindros ou rolos de laminação, pois a redução da área almejada não pode ser conseguida em um só passe. Uma outra forma de realizar passes com diferentes reduções, seria a colocação de laminadores em linha, com uma distância pré-determinada entre eles, de modo que trabalhassem o material sucessivamente e em alguns casos simultaneamente.

O caso da empresa em estudo a linha de laminação em questão é uma mistura dessas duas formas de laminar.

A etapas de laminação dos produtos da empresa são:

- 1- Reaquecimento do material vindo da aciaria;
- 2- Descarepador;
- 3- Desbastador (BD1 e BD2);
- 4- Bloco Acabador (Grupo Tandem);
- 5- Cortes das Serras;
- 6- Leito de Resfriamento;
- 7- Desempenadeira;
- 8- Despacho.

Estas etapas são mostradas nas Figuras 2 e 3.



Figura 2 – Etapas do processo de laminação de perfis
Fonte: ABM (2003).

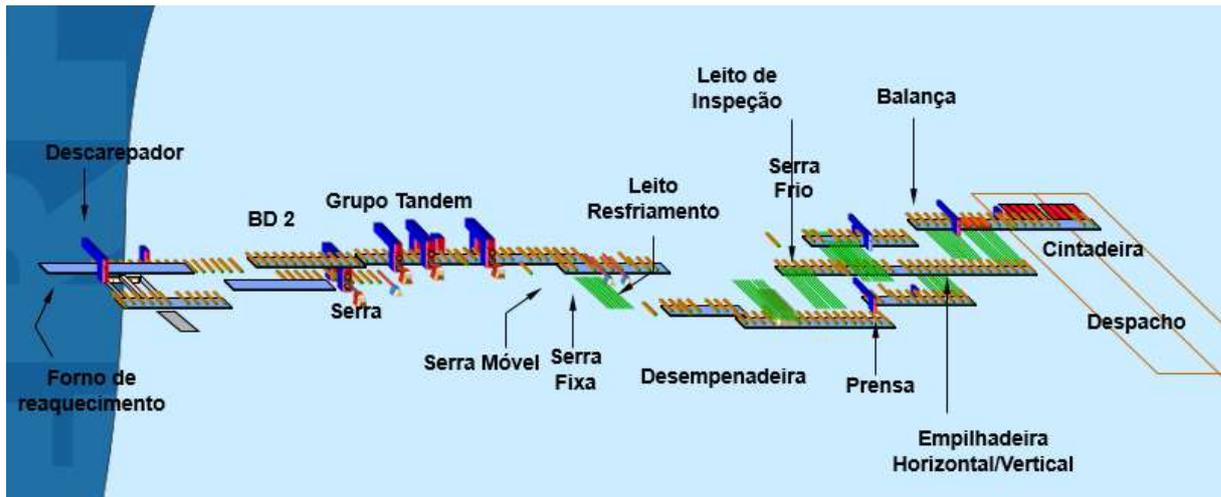


Figura 3: Linha de laminação de perfis
 Fonte: ABM (2003).

Leva-se em consideração que para as diferentes especificidades dos produtos laminados nesse setor da empresa, as cadeiras de laminação são dispostas de maneira diferente. Cada material a ser laminado será processado por diferentes cilindros de laminação com o objetivo da forma final.

2.1.1 Forno de Reaquecimento

De acordo com Viana (2009), os fornos utilizados na indústria atualmente para o processo de laminação são fornos contínuos, dotados de controles automáticos, quando se deseja obter elevada produtividade associada a um produto de qualidade.

O reaquecimento do tarugo ou *beam blank* é muito importante para o processo de laminação a quente para que haja menor emprego de esforço mecânico durante as etapas de conformação. Essa etapa do processo é então necessária para que o aço apresente alta plasticidade, de forma homogênea.

O aquecimento da matéria ocorre em faixas de temperatura de 1280°C até 1320°C, durante um período de 3 a 4 horas para garantia da temperatura uniforme de todo o bloco (Carneiro, 2003).

2.1.2 Descarepador

O processo de descarepação do aço ocorre logo após a saída do forno e antes de passar pelo primeiro laminador (Neves, et al., 2016).

O descarepador de tarugos tem por finalidade remover a camada oxidada na superfície do bloco resultante do aquecimento no forno (carepa). Essa remoção consiste em utilizar jatos de água aplicados na superfície do tarugo em pressão aproximada de 200 bar. São 132 bicos que atingem todas as faces do bloco para melhor eficiência e homogeneidade do processo (Carneiro, 2003).

2.1.3 Desbastador

Os laminadores desbastadores da figura 4 têm por objetivo reduzir as dimensões do material sem atingir a dimensão final no produto.

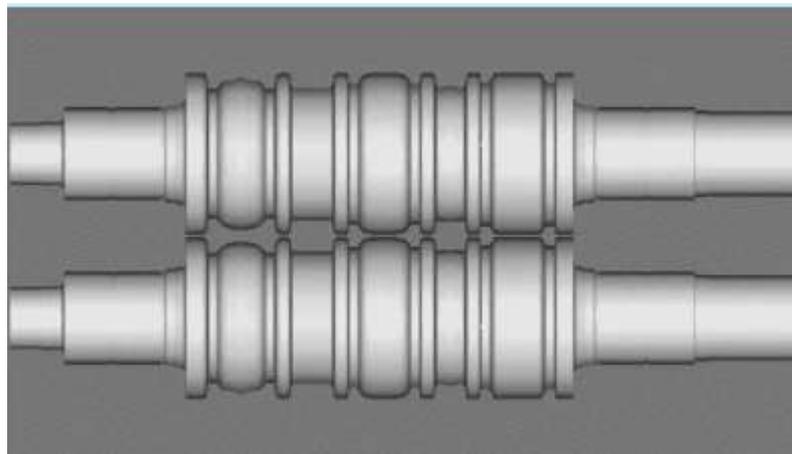


Figura 4: Representação dos cilindros desbastadores
Fonte: ABM (2003).

O processo de desbaste ocorre por passes (sequência de laminação através das formas entre o cilindro superior e inferior). Esses passes, ou sequência, podem ser vistos na Figura 5.

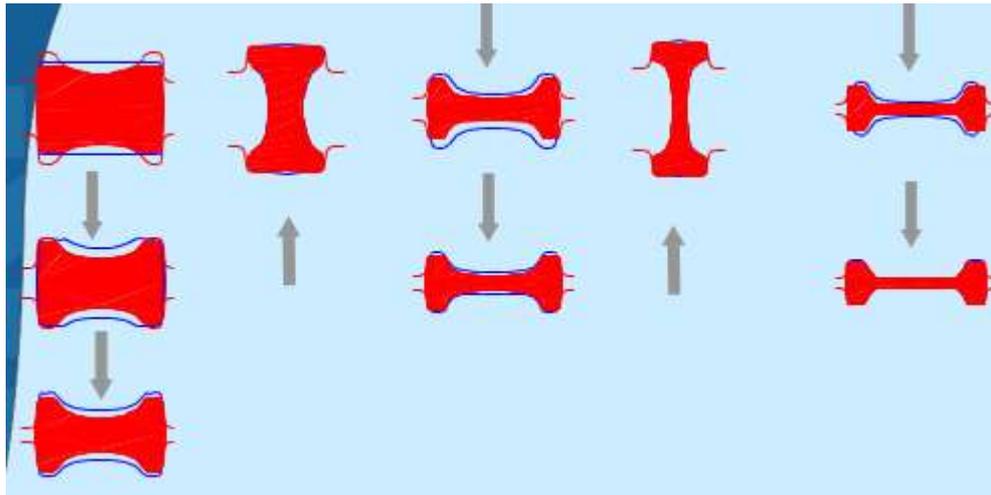


Figura 5 – Sequência de passes do tarugo pelo laminador desbastador
 Fonte: ABM (2003)

2.1.4 Grupo Tandem

Após desbaste, o bloco que está sendo laminado passa por um conjunto de laminadores para seu acabamento. É um processo universal e reversível composto por dois laminadores universais (UR2 e UR 2N) e um Edger, onde ocorre o Processo X-H de laminação (Carneiro, 2003).

Carneiro (2003) diz também que é denominado Processo X-H Figura 6 é um esquema de passes desse grupo que consiste em alterar levemente a angulação das abas dos produtos, e é considerado um dos processos mais modernos devido a:

- Reduzir o consumo de cilindros;
- Tolerância dimensionais mais acuradas;
- Grande qualidade superficial;
- Alta produtividade devido a produção de vigas similares com o mesmo grupo de cilindros.

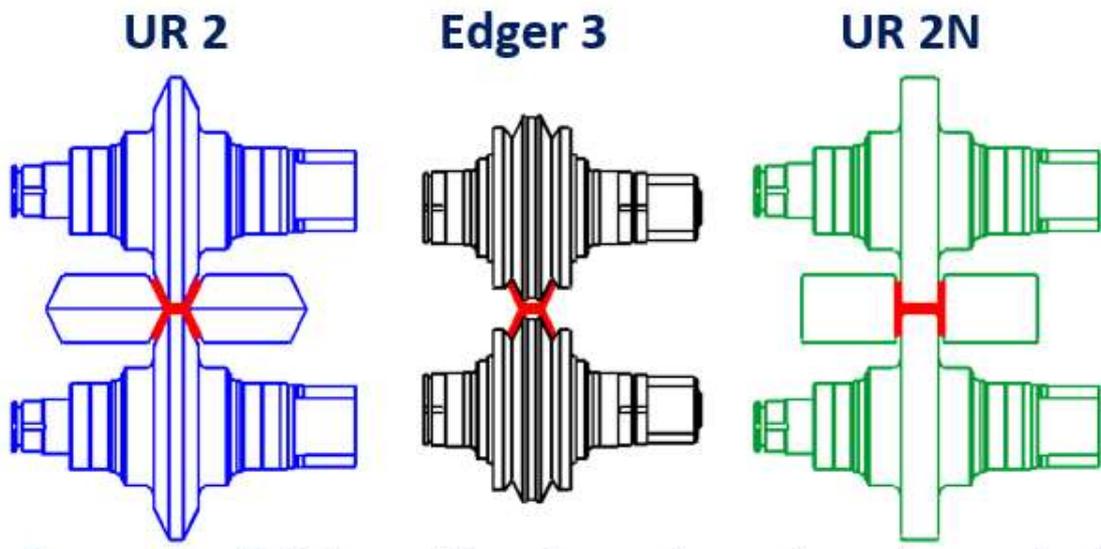


Figura 6 – Cilindros do processo X-H
 Fonte: ABM (2003).

O esquema de passes citado anteriormente pelo autor é representado pela figura 7 a seguir.

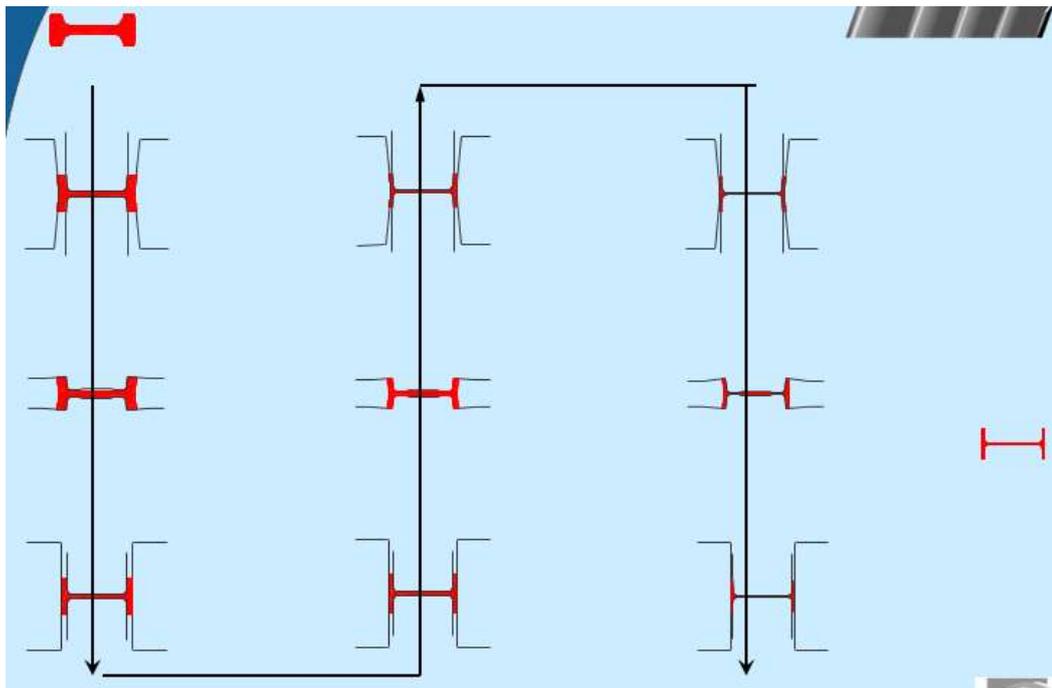


Figura 7 – Representação de passes do Grupo Tandem
 Fonte: ABM (2003).

2.2 Resíduos da Laminação

Entende-se por oxidação o termo dado ao processo de perda de elétrons por um átomo, grupo ou espécie iônica durante uma reação química.

A oxidação é a reação mais importante de corrosão em alta temperatura. É a reação de um sólido mais um gás, gerando um outro sólido de composição distinta (IRSID, 1983).

De acordo com a Bénard (1964) a carepa, produto da oxidação, é uma camada de óxidos que ocorre na superfície dos metais durante um processo de fabricação a quente e através de uma reação com o meio externo.

A oxidação ou formação de “carepa” em aços laminados a quente deve ser removida para aplicações de processos subsequentes de laminação a frio. A composição e espessura do óxido formado dependem das temperaturas envolvidas no processo de laminação a quente, do tempo de exposição nestas temperaturas, da atmosfera, do tipo de aço, entre outros (Rossi & Castro, Caracterização dos Defeitos Provenientes de Oxidação na Laminação a Quente dos Aços Carbono, 2000).

Em outros estudos, Rossi (2003), diz que “a carepa formada no processo de laminação a quente constitui defeito na qualidade quando não removida durante esse processo, ou nos processos subsequentes de decapagem.”

Em estudos, Blazevic (1992) cita que a formação da carepa pode ser separada em quatro fases distintas:

- Primária: Carepa formada dentro do forno de reaquecimento de placas.
- Secundária: Carepa formada durante a laminação de desbaste e após a remoção da carepa primária.
- Terciária: Carepa formada durante a laminação de acabamento e após a remoção da carepa secundária.
- Quaternário ou óxido: O óxido final formado é uma combinação de carepa terciária remanescente, e uma carepa adicional que ocorre nas mesas após a laminação de acabamento e durante resfriamento da bobina.

Em um de seus estudos, Neves *et al.* (2016) ressalta que a disposição desse material em pátio de resíduos deve ser feita de acordo com os critérios ambientais por ser caracterizado como resíduo perigoso (Classe I, NBR 10004:2004).

2.3 Sistema de Ventilação Local Exaustora

A ventilação local exaustora é aquela que extrai o contaminante mecanicamente no próprio local em que ele é produzido, antes mesmo de se espalhar pelo ambiente, por meio de sucção de uma corrente de ar. Esse modo de ventilação se caracteriza por transportar pelo ar detritos como poeira, fumos e vapores, que atingem em peso uma parcela de mistura (<0,15%). Para efetuar a extração, o processo atua capturando os contaminantes do ar por meio de uma corrente de ar com velocidade adequada (velocidade de captura), diz (Costa, 2005).

Costa (2005) continua dizendo que o ar extraído do recinto é substituído naturalmente por igual quantidade de ar exterior, contribuindo para a ventilação por diluição do ar viciado do ambiente geral. Na maior parte dos casos, a quantidade de ar movimentado pelos sistemas de ventilação local exaustora é insuficiente, devendo ser providenciada uma ventilação adicional seja por exaustão ou insuflamento.

Nos sistemas locais exaustora, os contaminantes ou poluentes são captados por um sistema de exaustão reduzindo drasticamente a quantidade disponível que possa entrar em contato com o ambiente. Tal captação é feita por meio de uma exaustora, causando um fluxo direcionado para uma tubulação até um filtro ou um ambiente externo (Macintyre, 1988).

Em seu livro, Costa (2005) confirma que a ventilação local exaustora é normalmente constituída por captadores, que extraem os contaminantes; de separadores, que separa os contaminantes do ar; do elemento mecânico, que garante a movimentação desejada do ar; e das canalizações necessárias para circulação durante todo o sistema do ar.

A ventilação local exaustora é um dos recursos mais eficazes para o controle de ambientes de trabalho, principalmente quando aplicada em conjunto com outras medidas com vistas à redução, ou mesmo a eliminação, da exposição de trabalhadores a contaminantes químicos presentes ou liberados na forma de névoas, gases, vapores e poeiras (Sobrinho, 1996).

O uso desse sistema é bastante eficiente, de forma que é demasiadamente recomendado pela Convenção da Organização Internacional do Trabalho (OIT) nº 139/1974, que diz respeito

à prevenção e controle de riscos profissionais causados por substâncias ou agentes cancerígenos (OIT, 2019).

A instalação de uma ventilação local exaustora, exemplificadas tanto pela figura 8 quanto pela figura 9, é constituída normalmente por captor, dutos, filtro, conjunto ventilador-motor e chaminé.

- Captore: Pontos de entrada do poluente mais o gás carregador.
- Dutos: Transporte do poluente. Dependendo do local podem ser divididos em duto principal, ramificações e chaminé.
- Filtro: Equipamento destinado à limpeza do gás exaurido antes de seu lançamento na atmosfera.
- Ventilador-Motor: Fornecimento de energia necessária para eficiência da movimentação do fluido.
- Chaminé: Parte final do sistema, com propósito de lançamento do gás transportador e emissão residual na atmosfera.

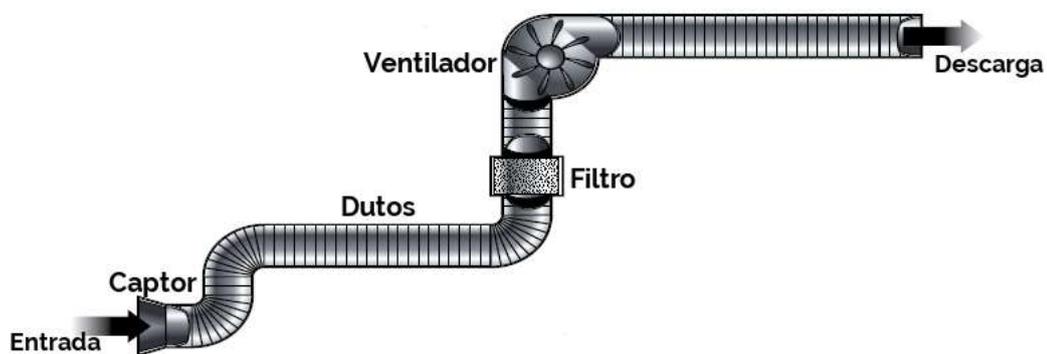


Figura 8 – Sistema de Ventilação Local Exaustora
Fonte: Costa (2005).

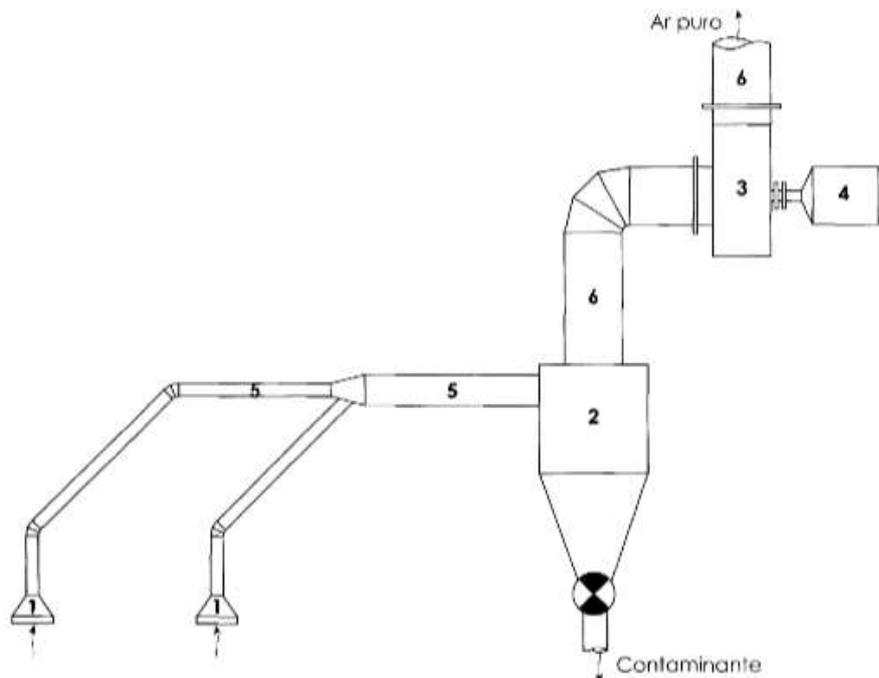


Figura 9 – Componentes de uma instalação de ventilação local exaustora; 1. Captores; 2. Coletor (ciclone); 3. Ventilador; 4. Motor de acionamento; 5. Canalizações de exaustão de ar com os contaminantes; 6. Canalização de saída do ar puro.

Fonte: Costa (2005).

O projeto de um sistema de ventilação local exaustora depende da estimativa da vazão de ar necessária para a retirada do contaminante. A estimativa desta quantidade de ar e da velocidade da corrente irá fornecer a área de entrada do captor, secção do duto e potência do ventilador (Filho & Melo, 1992).

2.3.1 Velocidade de Captura

A velocidade de captura que o contaminante localizado a uma certa distância deve ter para se deslocar até o captor (Macintyre, 1988). Com isso, o projeto deve levar em consideração a movimentação inicial das partículas ou o deslocamento do ar no ambiente de captação (Costa, 2005).

2.3.2 Captores

O captor é um aparelho que, colocado junto à fonte de contaminação, tem o objetivo de criar uma velocidade de captação para o ar de ventilação aspirado, de forma que seja capaz de

arrastar o contaminante para seu interior (Costa, 2005). A figura 10 representa de forma genérica um captor.

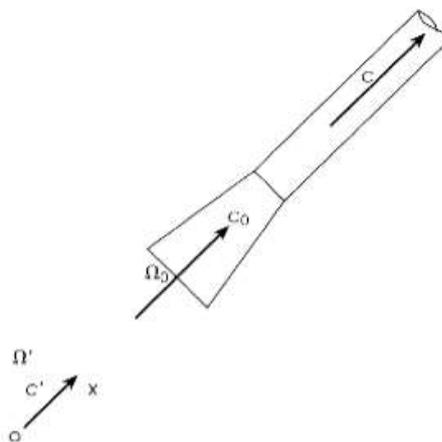


Figura 10 – Captor
Fonte: Costa (2005)

2.3.3 Dutos para Condução do Ar

Os dutos direcionam o ar devido à energia que é transmitida ao mesmo ou à rarefação estimulada por ventilador (Macintyre, 1988). O autor cita que o sistema de dutos para ventilação local exaustora é desenvolvido sob os seguintes aspectos:

- O escoamento do ar em seu interior, desde a captação até a expulsão;
- Os materiais que constituem os dutos, suas peças e equipamentos complementares do sistema.

Costa (2005) diz em seu livro que as canalizações dos sistemas de ventilação local exaustora devem, sempre que possível, ter seção circular. Com isso evita-se arestas e zonas de velocidade reduzidas, impossibilitando estagnação dos contaminantes.

No desenvolvimento do projeto, Costa (2005) ressalta que as reuniões da canalização devem ser projetadas com ângulo de, no máximo, 45°. Para o transporte de partículas, é preciso prever aberturas para inspeção e limpeza. Os dutos devem ser afastados das paredes e dos forros por no mínimo 20 cm para sua manutenção.

2.3.4 Ventiladores

Os projetos de ventilação exaustora necessitam de ventilador para criar o gradiente energético para então permitir o escoamento do ar. Esses equipamentos tem por objetivo produzir um descolamento de gases (Macintyre, 1988).

Para projetos de ventilação local exaustora são recomendados os ventiladores centrífugos de pás voltadas para trás (*limit load*) ou os de pás radiais. Isso se deve ao fato de eles produzem grandes diferenças de pressão para as vazões necessárias e não sofrem um aumento sensível da potência consumida em função da redução da perda de carga do sistema (Costa, 2005). No próximo capítulo será mostrado os cálculos para a seleção adequada desse equipamento.

2.3.5 Purificação do Ar

Todos os contaminantes, gases, poeiras e vapores contidos no ar captado devem ser removidos de forma correta para a atmosfera sem que ofereçam riscos à saúde das pessoas e que não tragam danos ao meio ambiente (Macintyre, 1988).

Os equipamentos que tem a finalidade de remover as impurezas se dividem nos seguintes grupos:

- Filtros de ar;
- Coletores;
- Lavadores.

Alguns aspectos como estado físico do contaminante, a atividade química, a eficiência desejada, a análise granulométrica, perda de carga e custos devem ser levados em consideração para a escolha desses equipamentos (Costa, 2005).

3 METODOLOGIA

Esse capítulo tratará das características da pesquisa e seus procedimentos para realização do trabalho, aplicando os conceitos abrangidos durante a revisão bibliográfica. Serão apresentados materiais e métodos, as variáveis do projeto, os instrumentos utilizados para coleta de dados e a tabulação de todos os dados.

3.1 Tipo de pesquisa

Pesquisa é uma atividade básica das ciências que buscam a realidade, uma atitude e uma prática teórica de constante procura que define um processo inacabado e permanente (Minayo, 2003).

Existem várias maneiras de classificar as pesquisas, quando se trata da forma de abordagem do problema elas podem ser classificadas como qualitativa ou quantitativa. Quando se trata da primeira, o resultado não pode ser totalmente traduzido em forma de números ou dados estatísticos. Já na segunda os resultados são quantificados, ou seja, traduzidos em números (Silva & Menezes, 2001).

Pode-se classificar a pesquisa por seu objetivo, podendo ser exploratória, onde o objetivo é desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias. Grande parte desses trabalhos tem como auxílio de aprofundamento em livros e análise de exemplos para a compreensão do caso.

Na pesquisa descritiva, busca-se descrever características de uma população, fenômeno ou relação entre variáveis. Isso envolvendo técnicas específicas para a coleta de dados. Já na pesquisa explicativa, busca-se identificar as variáveis que influenciam na ocorrência de determinado fenômeno. Para isso aprofunda-se no conhecimento da realidade, a fim de explicar o “porque” das coisas (Gil, 2002).

O estudo de base para o projeto tem por objetivo buscar conhecimentos para o desenvolvimento do mesmo, e por meio de análise bibliográfica que levará o projeto a um estudo de caso para conclusão sobre a viabilidade deste, sendo caracterizado como uma pesquisa quantitativa e descritiva.

Segundo os procedimentos técnicos essa pesquisa se trata de uma revisão bibliográfica, pois utilizam de livros, artigos técnicos, teses, dissertações, materiais da internet, entre outros do gênero.

3.2 Materiais e métodos

Para o desenvolvimento do projeto, foi levantado o fluxograma da figura 11 para auxílio das etapas e melhor visualização das partes que compõem o projeto.

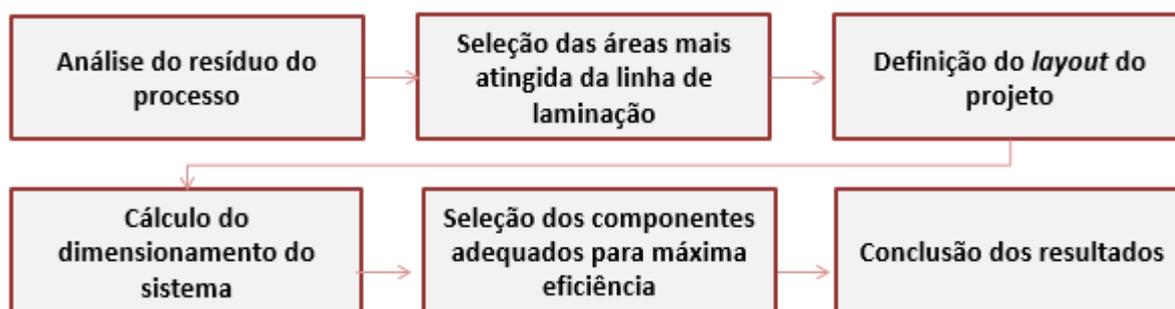


Figura 11 – Fluxograma do projeto
Fonte: Pesquisa direta (2021).

Os passos da figura 11 são então caracterizados por:

- **Análise do resíduo do processo:** Nessa etapa será determinada a granulometria do resíduo e sua massa específica;
- **Seleção das áreas mais atingidas na linha:** A linha possui três conjuntos de cadeiras de laminadores, sendo que a última é a de maior geração de resíduo que é lançado ao ar;
- **Definição do *layout* do projeto:** Qual a forma mais eficiente do projeto levando em consideração a disponibilidade e os equipamentos da área;
- **Cálculo do dimensionamento do sistema:** aplicação da teoria para determinação dos resultados;
- **Seleção dos componentes adequados:** Encontrar os melhores equipamentos que suprirão as necessidades do projeto;
- **Conclusão:** Verificar os resultados do projeto para determinar a aplicabilidade deste.

Os materiais de estudo utilizados nesse trabalho foram as plantas da linha de laminação e relatórios técnicos da siderúrgica Gerdau, situada em Ouro Branco – MG. Nas figuras 12, 13 e 14 apresentam-se os croquis esquemáticos da linha de produção, *layout* da planta e equipamentos.

A figura 12 é a representação da vista lateral da linha de laminação. O conjunto da cadeira de laminadores tem 7 metros de comprimento, e a passarela de passagem de pessoas está a 6 metros acima da cadeira de laminação.

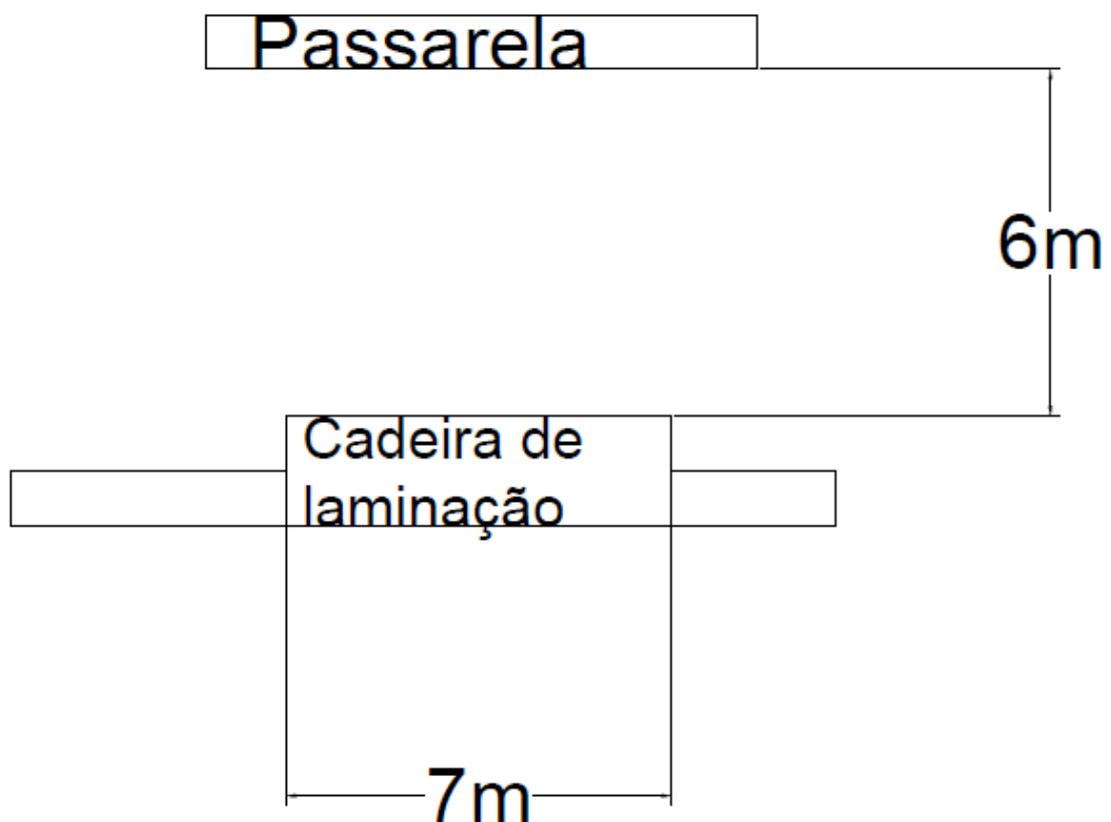


Figura 12 – Vista Lateral da linha de processo
Fonte: Pesquisa direta (2021).

A figura 13 representa a vista frontal da linha de laminação. É visto que a passarela está 3 metros à esquerda da linha de laminação.

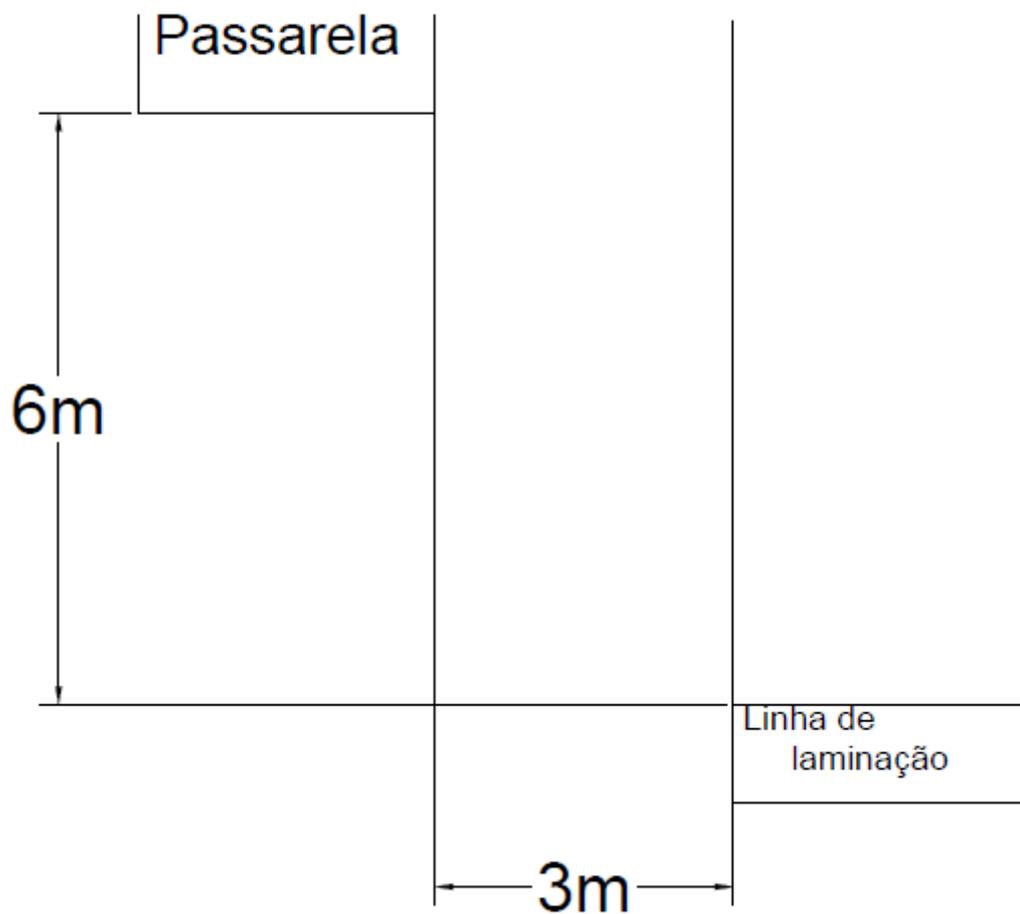


Figura 13 – Vista Frontal da linha de processo
Fonte: Pesquisa direta (2021).

A figura 14 é a representação da vista área da linha do processo de laminação. No desenho é visto a distância de 3 metros da passarela para a linha, e o comprimento da cadeira de laminação.

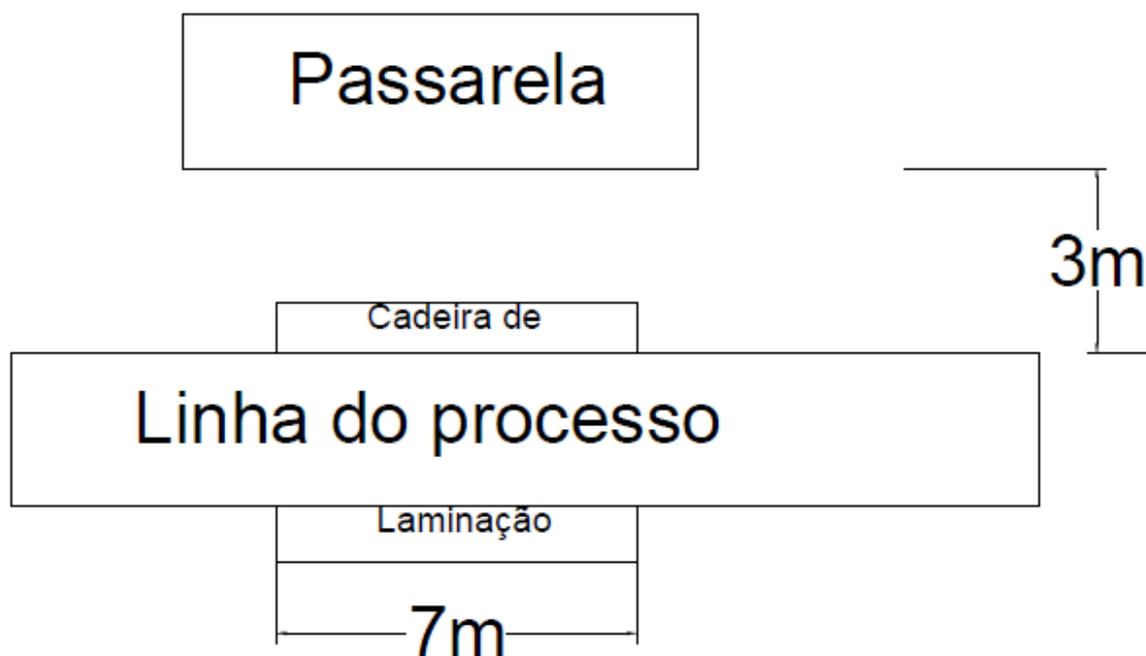


Figura 14 – Vista Aérea da linha do processo
Fonte: Pesquisa direta (2021).

Portanto, os principais itens a serem analisados no processo metodológico são: a disponibilidade física da área para que o sistema de exaustão seja corretamente instalado e os tipos de equipamentos que serão utilizados no sistema de forma que mantenham a eficiência do processo.

3.2.1 Características do resíduo

Ao analisar a carepa em seu estudo, Junior (2019) diz que o principal componente do resíduo é o óxido de ferro e apresenta granulometria grosseira de tamanhos maiores que $20\mu\text{m}$ em cerca de 80% da composição total. Para análise dos cálculos, adiante será adotado granulometria maior que $20\mu\text{m}$. O autor também demonstra que em seus resultados, o peso específico do material é de $5,240\text{ kg/m}^3$.

3.2.2 Transferência de Calor

A taxa de transferência de calor que ocorre durante o processo, entre o material que está sendo laminado e o ar de ventilação, deve-se tanto à convecção quanto à radiação. Essa taxa pode ser calculada pela seguinte equação:

$$q = A * [h * (T_{amb} - T_{viz}) + \varepsilon * \sigma * (T_{amb}^4 - T_{viz}^4)] \quad (1)$$

em que:

q é a taxa de transferência de calor (W);

A é a área da seção de transferência de calor (m^2);

h o coeficiente de transferência de calor ($W/m^2.K$);

T_m a temperatura média do ar ambiente insuflado sobre a linha de laminação (K);

T_{viz} a temperatura da vizinhança (K);

ε a emissividade do material;

σ o constante de Stefan-Boltzmann ($W/m^2.K^4$).

Para o desenvolvimento dos cálculos do processo, foi adotado o valor da temperatura do ambiente de 30°C, o valor de temperatura do material laminado de 700°C, a área de transferência de calor do produto laminado é de 0,6544m², o coeficiente de transferência de calor por convecção do aço de 200 W/m².K, a emissividade do aço laminado de 0,66 e a constante de Stefan-Boltzmann de $5,67 * 10^{-8} W/(m^2.K)$. Para encontrar as demais variáveis do processo, foi utilizado o software EES (*Engineering Equation Solver*).

3.2.3 Condições do Processo

Para algumas especificações do projeto e algumas tomadas de decisão da melhor disposição do sistema de exaustão foi analisado a área da cadeira de laminação e seu entorno. O galpão apresenta pontes-rolantes em praticamente toda sua extensão, o que impede que o sistema de ventilação local exaustora fique acima da linha de produção, o que seria a melhor

escolha para o projeto. Devido a isso, foi escolhido um sistema de Ventilação tipo “sopro-exaustão” representado pela figura 15, de forma a garantir a captação das partículas do processo.

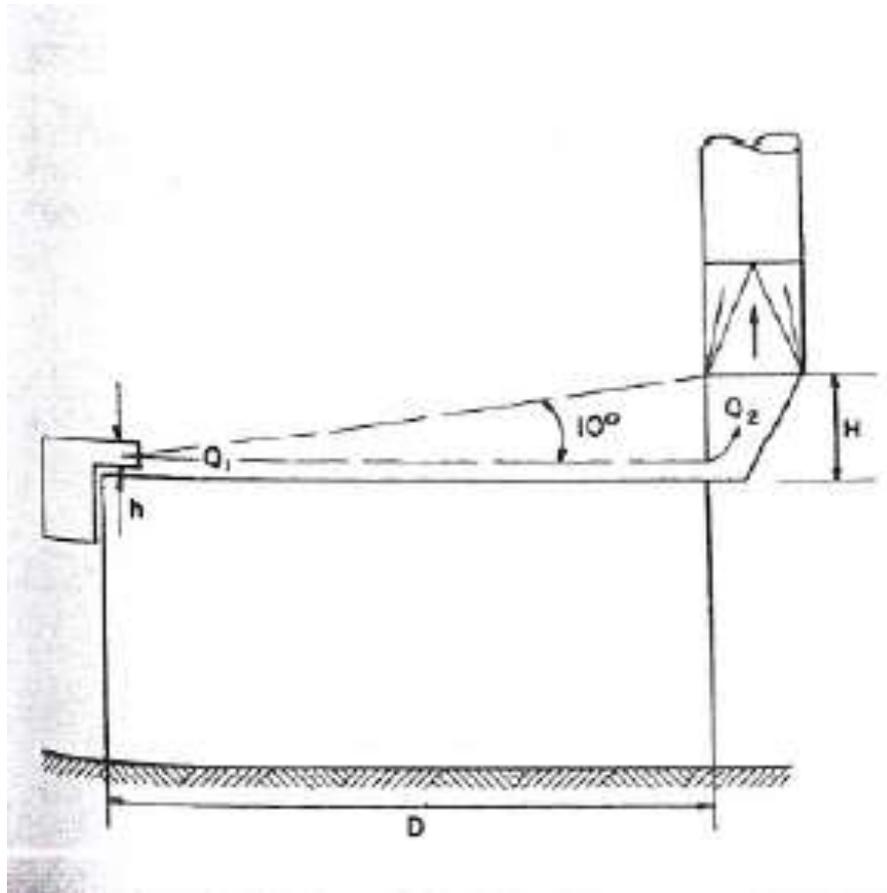


Figura 15 – Captação tipo “sopro-exaustão”
Fonte: Macintyre (2001).

3.2.4 Ventilação tipo “Sopro-Exaustão”

O sistema em questão funciona de forma que é provocado um “sopro” de ar a partir de uma fresta rente à superfície da linha, o que faz com que o resíduo exaurido vá até o captor, que está do outro lado da linha do processo. Este sistema é usado mais comumente em tanques de superfície aberta, mas pode ser também usado com efetividade em outras aplicações (Industrial Ventilation, 1988).

Esse “sopro” pode ser fornecido tanto por um pequeno compressor ou então provido por uma linha de ar comprimido próximo ao local (Macintyre, 1988).

De acordo com Macintyre (1988) para o dimensionamento desse sistema de insuflação e exaustão ou sopro-exaustão é considerado:

- Vazão Q_2 de exaustão do captor e duto

$$Q_2 = 100 \text{ a } 150 \text{ cfm por pé}^2 \text{ de área (0,51 a 0,76 m}^3/\text{s a 0,76 m}^3/\text{s, por m}^2 \text{ de área da seção transversal do processo)} \quad (2)$$

- Altura do captor acima do tanque

$$H = D * \text{tg } 10^\circ \text{ (pés) ou } H = 0,18 * D \quad (3)$$

- Vazão Q_1 do jato na fresta de insuflamento (bocal)

$$Q_1 = \frac{Q_2}{D * F} \quad (4)$$

onde D é a distância do jato (pés) ao captor e F um fator de indução ou arraste que é dado pela tabela 1 abaixo.

- A altura h da fresta de insuflamento é calculada considerando uma velocidade v_1 de 0,508 a 10,16 m/s e largura L da linha

$$S = h * L \quad (5)$$

$$h = \frac{Q_1}{L * v_1} \quad (6)$$

- O comprimento L de insuflamento é de 3m, e a largura D também é de 3m.

A figura 16 a seguir mostra de forma exemplificada o que cada incógnita representa.

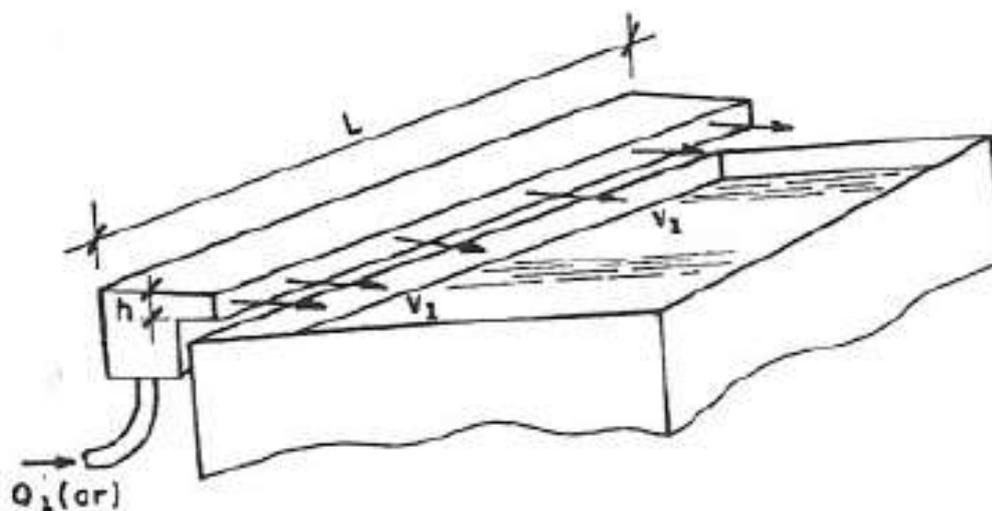


Figura 16 – Sistema de insuflamento ou sopro
 Fonte: Macintyre (2001).

Tabela 1 – Fator F de indução para captor *push-pull*

Distância de lançamento do jato D (pés)	Fator de indução
0-8	2,0
8-16	1,4
16-24	1,0
Acima de 24	0,7

Fonte: Macintyre (2001).

3.2.5 Velocidade de escoamento do ar em dutos

A ABNT através da norma NB-10/1978 fornece as velocidades de escoamento em dutos de ar e são recomendados valores entre 6 e 9 m/s, podendo atingir até 10 m/s, em instalações industriais.

3.2.6 Dutos

Com os dados de velocidade e de vazão, é possível determinar o diâmetro ou os lados do retângulo de um duto (Macintyre, 1988). Como citado anteriormente, os dutos de seção circular são mais adequados para essa finalidade, então o valor do diâmetro será dado pela seguinte equação:

$$d = \sqrt{\frac{4 * s}{\pi}} \quad (7)$$

e

$$s = \frac{Q}{V} \quad (8)$$

Onde d é em m, a vazão é dada em m³/s, a velocidade em m/s e a seção de área em m².

3.2.7 Perdas de carga

A perda de energia que um fluido sofre, em uma tubulação por exemplo, devido à alguns fatores como o atrito é denominada perda de carga (Viana D. , 2019). Para o projeto em questão, as perdas de carga distribuídas em dutos de seção circular são dadas por:

$$\Delta P = (f * \frac{L_{eq}}{d} * \frac{v^2}{2}) * \rho \quad (9)$$

Onde f é o coeficiente de atrito, L a extensão do duto (m), d o diâmetro (m), v a velocidade (m/s), ρ é a massa específica (kg/m³) e ΔP a perda de carga (Pa).

A rugosidade relativa das paredes do duto é dada pela divisão da rugosidade absoluta do material do duto pelo seu diâmetro:

$$Rugosidade\ relativa = \frac{e}{d} \quad (10)$$

O número de Reynolds informa a condição do regime nos dutos e é utilizado para encontrar o coeficiente de atrito do duto:

$$Re = \frac{v * d}{\nu} \quad (11)$$

Onde ν é a viscosidade cinemática (m^2/s) e ρ é a massa específica (kg/m^3). Esses valores variam de acordo com a temperatura da vizinhança. A tabela 3 a seguir exemplifica alguns desses valores:

Tabela 2 – Massa específica e viscosidade cinemática do ar

Tabela A-1 Propriedades do Ar a Pressão Atmosférica

Temperatura (°C)	Massa específica ρ (kg/m^3)	Peso Específico γ (N/m^3)	Viscosidade dinâmica μ (Pa.s)	Viscosidade cinemática ν (m^2/s)
-40	1.514	14.85	1.51×10^{-5}	9.98×10^{-6}
-30	1.452	14.24	1.56×10^{-5}	1.08×10^{-5}
-20	1.394	13.67	1.62×10^{-5}	1.16×10^{-5}
-10	1.341	13.15	1.67×10^{-5}	1.24×10^{-5}
0	1.292	12.67	1.72×10^{-5}	1.33×10^{-5}
10	1.247	12.23	1.77×10^{-5}	1.42×10^{-5}
20	1.204	11.81	1.81×10^{-5}	1.51×10^{-5}
30	1.164	11.42	1.86×10^{-5}	1.60×10^{-5}
40	1.127	11.05	1.91×10^{-5}	1.69×10^{-5}
50	1.092	10.71	1.95×10^{-5}	1.79×10^{-5}
60	1.060	10.39	1.99×10^{-5}	1.89×10^{-5}
70	1.029	10.09	2.04×10^{-5}	1.99×10^{-5}
80	0.9995	9.802	2.09×10^{-5}	2.09×10^{-5}
90	0.9720	9.532	2.13×10^{-5}	2.19×10^{-5}
100	0.9459	9.277	2.17×10^{-5}	2.30×10^{-5}
110	0.9213	9.034	2.22×10^{-5}	2.40×10^{-5}
120	0.8978	8.805	2.26×10^{-5}	2.51×10^{-5}

Fonte: Mott (1996).

O coeficiente de atrito pode ser então encontrado tanto pela equação (14) do coeficiente de atrito, quanto pelo Diagrama de Moody mostrado na figura 18:

$$f = \frac{1,325}{\left[\ln \left(\frac{e}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (12)$$

Diagrama de Moody

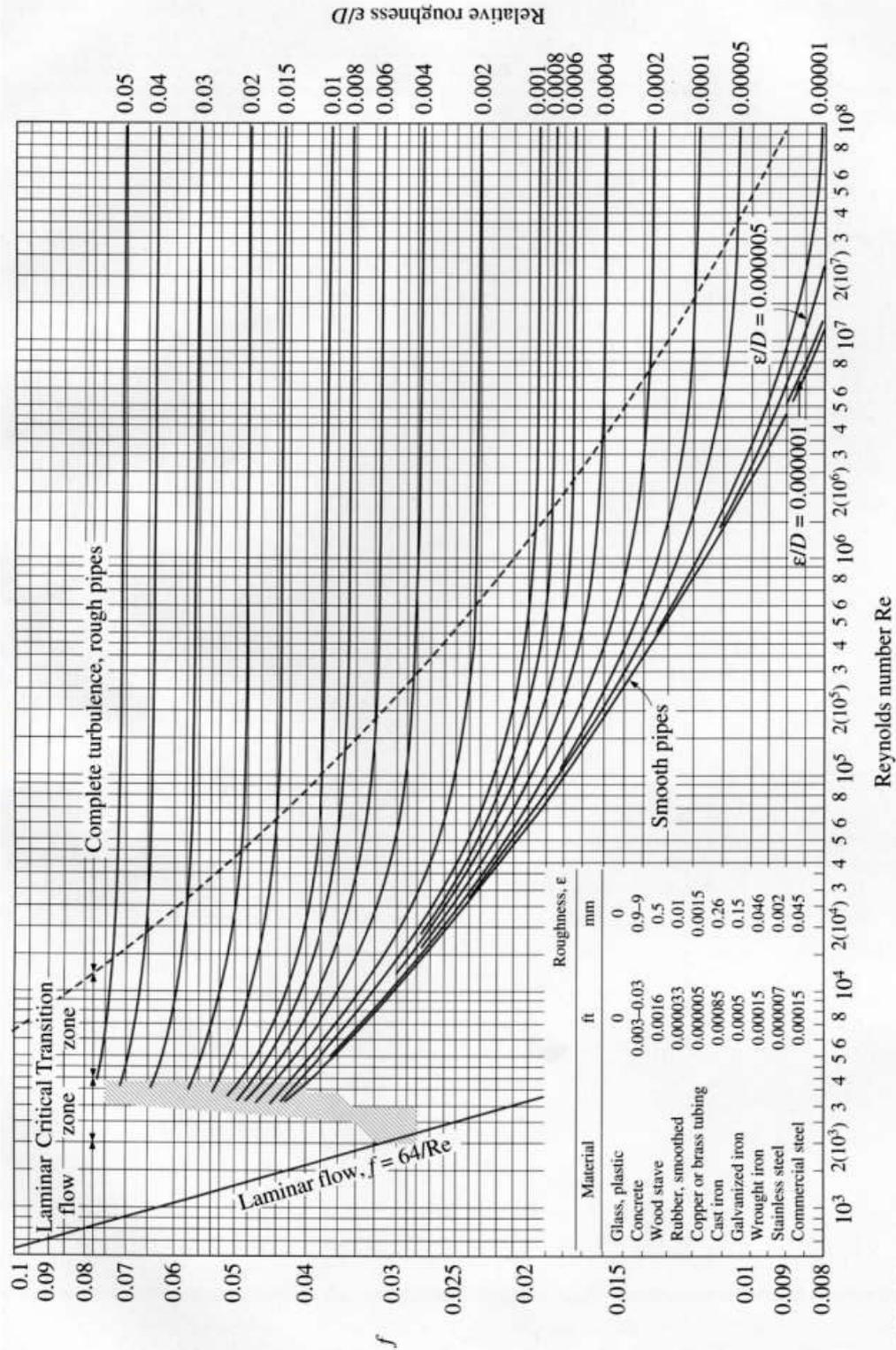
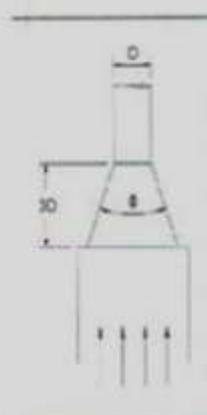


FIGURE A-27
The Moody chart for the friction factor for fully developed flow in circular tubes.

Figura 17 – Diagrama de Moody
Fonte: Mott (1996).

Para os cálculos de perda de carga de um captor de descrição cônica ou afunilada, é necessário utilizar de um coeficiente de entrada (K). A tabela 4 mostra esse coeficiente de acordo com o ângulo de afunilamento do captor.

Tabela 3 – Coeficiente de entrada e perdas de entrada



φ (graus)	Coeficiente K		Coeficiente C _e	
	Redondo	Retangular	Redondo	Retangular
15	0,15	0,25	0,93	0,89
30	0,08	0,16	0,96	0,93
45	0,06	0,15	0,97	0,93
60	0,08	0,17	0,96	0,92
90	0,15	0,25	0,93	0,89
120	0,26	0,35	0,89	0,86
150	0,40	0,40	0,84	0,82

Fonte: Clezar e Nogueira (1992).

A perda de carga localizada na entrada do captor é dada por:

$$\Delta P_{captor} = (K_l) * \frac{1}{2} * \rho * v^2 \quad (13)$$

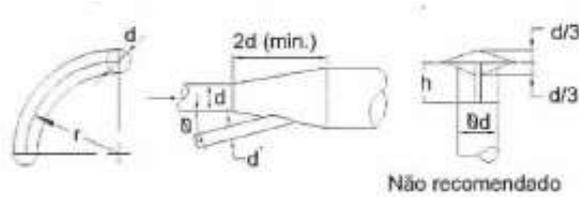
Enquanto a pressão estática na saída do captor é:

$$P_e = (1 + K_l) * \frac{1}{2} * \rho * v^2 \quad (14)$$

Onde K_l é o coeficiente de perda na entrada e ΔP_{captor} e P_e , são dadas em Pa.

Ao longo dos dutos de ventilação, existem peças que aumentam a perda de carga. No sistema deste projeto encontram-se sete curvas, e sua perda de carga é dada pela razão do raio pelo diâmetro do duto. A tabela 5 a seguir mostra o valor da razão a ser adotado e o comprimento equivalente da curva.

Tabela 4 – Comprimento equivalente em metros de duto reto



Diâmetro em (mm)	Cotovelo de 90°			Ângulo de entrada		Número de diâmetros		
	Raio de curvatura			30°	45°	1,0h	0,75h	0,5h
	1,5d	2,0d	2,5d					
75	1,4	0,9	0,7	0,5	0,9	0,3	0,5	2,0
100	2,0	1,3	1,1	0,8	1,3	0,5	0,8	3,4
125	2,6	1,7	1,4	1,1	1,7	0,6	1,1	4,4
150	3,2	2,2	1,8	1,4	2,2	0,8	1,4	5,5
175	3,9	2,6	2,2	1,7	2,6	0,9	1,7	6,6
200	4,6	3,1	2,5	2,0	3,1	1,1	2,0	7,8
250	6,0	4,0	3,3	2,6	4,0	1,4	2,6	10,0
300	7,4	5,0	4,1	3,2	5,0	1,8	3,2	13,0
350	8,9	6,0	5,0	3,8	6,0	2,1	3,8	15,0
400	10,0	7,0	5,8	4,5	7,0	2,5	4,5	18,0
450	12,0	8,1	6,7	5,2	8,1	2,8	5,2	21,0
500	14,0	9,2	7,6	5,9	9,2	3,2	5,9	23,0
600	17,0	11,0	9,5	7,3	11,0	4,0	7,3	29,0
700	21,0	14,0	11,0	8,8	14,0	4,8	8,8	35,0
800	24,0	16,0	13,0	10,0	16,0	5,7	10,0	41,0
900	28,0	19,0	15,0					
1000	32,0	21,0	18,0					
1200	39,0	26,0	22,0					
1400	47,0	32,0	26,0					
1600	55,0	37,0	31,0					
1800	64,0	43,0	36,0					
2000	72,0	49,0	40,0					

Fonte: Macintyre (2001).

Outro item que aumenta a perda de carga do sistema é o alargador gradual nos dutos. Esse acessório tem a função de ligar dutos com seção circular diferente. A figura 19 abaixo representa um alargador gradual e a equação 17 mostra como obter o valor dessa perda. A perda de carga é calculada transformando a diferença de pressão do acessório em comprimento de seção tubular.

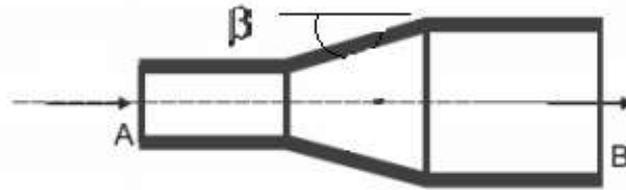


Figura 18 – Alargador gradual de seção.
 Fonte: Clezar e Nogueira (1992).

$$\Delta P_{alargador\ gradual} = f * \frac{L_{eq}}{D} * \frac{v^2}{2} * \rho \quad (15)$$

E para comparar a perda de carga do acessório à um comprimento equivalente de tubulação, é necessário o coeficiente de perda do alargador gradual, mostrado na tabela 6:

Tabela 5 – Coeficiente de perda de alargador gradual

Ângulo em graus	K
3,5	0,22
5,0	0,28
10,5	0,44
15,0	0,58
20,0	0,72
25,0	0,87
30,0	1,00
Mais de 30,0	1,00

Fonte: Macintyre (1980).

A equação 18 demonstra a equivalência que será adicionada ao comprimento total da tubulação para encontro da perda de carga desta:

$$L_{eq} = \frac{K_{acessório}}{f} * D \quad (16)$$

Como o projeto é para dimensionamento de um sistema local de exaustão de um contaminante da laminação à quente, é preciso fazer uma correção para a perda de carga, uma vez que existe material em suspensão (Macintyre, 1988). O cálculo dessa perda e carga é:

$$A = \frac{\text{peso do material transportado}}{\text{peso do ar limpo transportado}} \quad (17)$$

Utilizando-se o gráfico da figura 19, obtém-se um valor de *B*, que será o fator que deverá multiplicar a perda de carga do ar limpo:

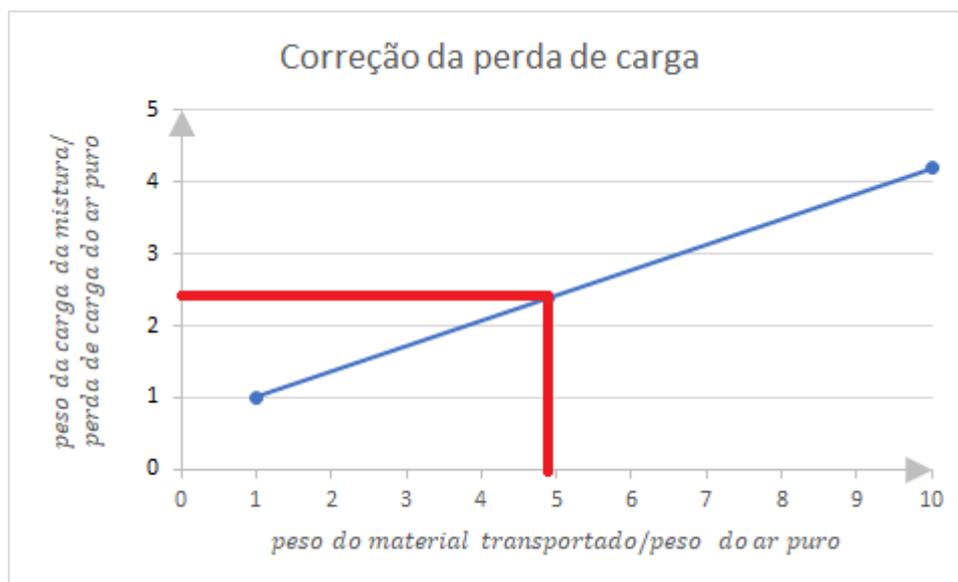


Figura 19 – Fator de correção da perda de carga de ar que contém material particulado
 Fonte: Ventilação Industrial e Controle da Poluição

Com isso, o valor de perda de carga final é:

$$\Delta P_{ar \text{ com partícula}} = B * \Delta P_{ar \text{ puro}} \quad (18)$$

A perda de carga de um filtro de manga é encontrada pela tabela 6 a seguir:

Tabela 6 – Perda de carga em equipamento de controle de poluição

Equipamento	Perda de carga (<i>pol.H₂O</i>)	
	Faixa encontrada	Faixa comum
Câmara gravitacional	0,2 - 1,5	0,2 - 0,8
Ciclone comum	0,5 - 2,5	1,0 - 2,0
Ciclone de alta eficiência	2,0 - 6,0	4,0 - 5,0
Multiciclone	2,0 - 6,0	4,0 - 5,0
Câmaras de impactação	1,0 - 4,0	1,5 - 2,5
Precipitadores eletrostáticos	0,2 - 1,0	0,2 - 0,8
Filtros de tecido (filtros de manga)	3,0 - 6,0	4,0 - 5,0
Filtros compactados	0,2 - 1,0	0,2 - 1,0
Torres de borrifo	0,2 - 2,0	0,5 - 1,0
Torres de enchimento	2,0 - 10,0	2,0 - 8,0
Torres de prato	1,0 - 8,0	2,0 - 6,0
Lavadores auto-induzidos	0,2 - 8,0	2,5 - 6,0
Lavadores ventúri	10,0 - 60,0	10,0 - 40,0
Lavadores de disco	10,0 - 60,0	10,0 - 40,0
Lavadores de impactação	1,5 - 8,0	4,0 - 6,0
Leitos de adsorção	2,0 - 10,0	3,0 - 6,0
Incineradores de chama direta	0,2 - 1,0	0,2 - 0,5
Incineradores catalíticos	1,0 - 4,0	1,0 - 4,0
Precipitadores sônicos	6,0 - 12,0	-
Precipitadores térmicos	0,1 - 1,0	0,2 - 0,5
Lavadores ciclônicos	2,0 - 6,0	2,5 - 6,0
Lavadores tipo jet	1,0 - 6,0	1,0 - 3,0

Fonte: Clezar e Nogueira (1992).

Com esses valores encontra-se a perda de carga total do sistema:

$$\begin{aligned} \Delta P_{total} = P_e + \Delta P_{dutos \text{ antes do filtro}} + \Delta P_{filtro} \\ + \Delta P_{dutos \text{ antes do ventilador}} + \Delta P_{chaminé} \end{aligned} \quad (19)$$

3.2.8 Ventiladores

Como citado no item 2.3.4 os ventiladores recomendados para esse sistema são os centrífugos de pás voltadas para trás (*limit load*) ou os de pás radiais. Abaixo mostra a comprovação dessa teoria.

A altura manométrica de um ventilador é encontrada pela equação:

$$H_m = \frac{\Delta P_{total}}{\rho g} \quad (20)$$

Onde,

H_m é a altura manométrica (metro de coluna de ar);

ΔP_{total} a perda de carga total do sistema (Pa);

ρ a massa específica do ar (kg/m³).

g a aceleração da gravidade (m/s²).

O ventilador com melhor desempenho para uma determinada aplicação pode ser determinado através do cálculo da rotação específica (Macintyre, 1988):

$$n_t = \frac{16,6 * (n * \sqrt{Q_2})}{\sqrt[4]{H_m^3}} \quad (21)$$

Em que

n é a rotação do motor (rpm);

Q_2 é a vazão (l/s);

H_m é a altura manométrica (mmca);

n_t velocidade específica do ventilador (rpm).

A figura 20 mostra as opções de escolha de acordo com a velocidade específica encontrada.

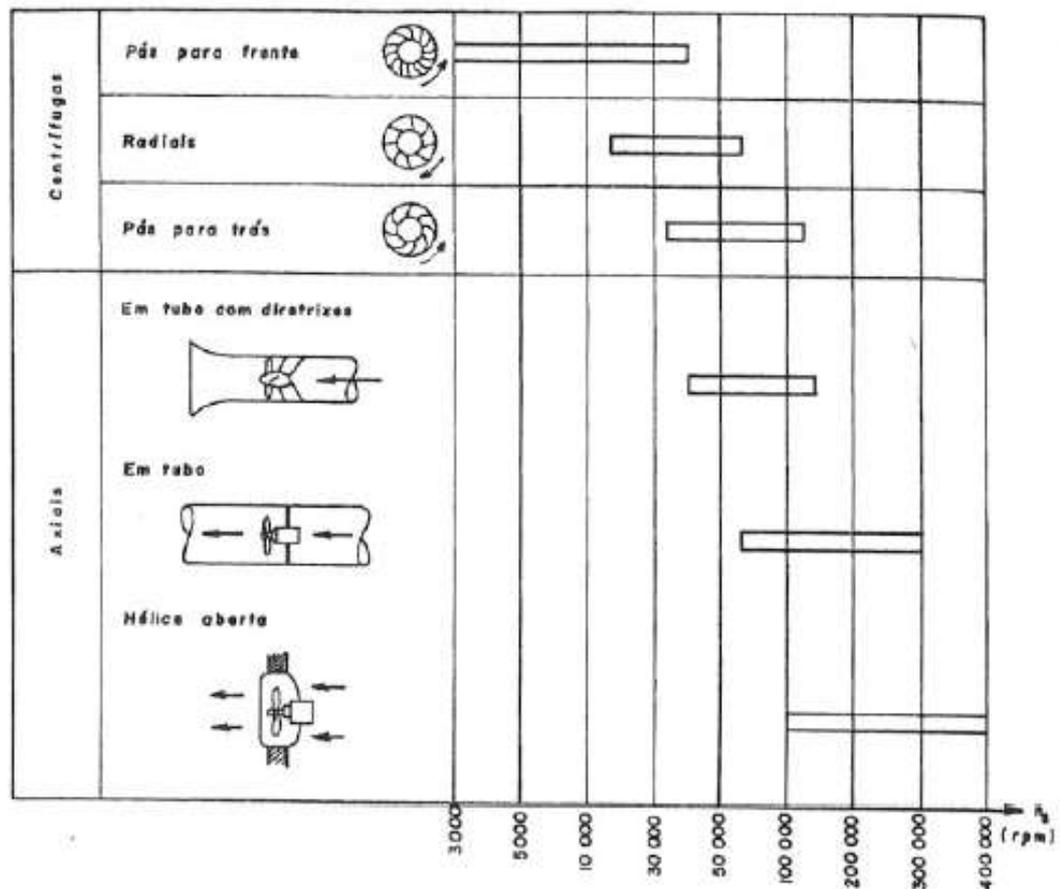


Figura 20 – Velocidades específicas para os diferentes tipos de ventiladores
 Fonte: Macintyre (2001)

Os cálculos de sistemas de exaustão são realizados tendo como base a pressão estática e a vazão. Os ventiladores são selecionados de forma a atender a vazão do sistema de exaustão e a diferença de pressão (perda de carga) do mesmo, operando a uma dada rotação.

Após definido o tipo de ventilador que será usado no sistema, pode-se, com auxílio de catálogos de fabricantes ou softwares, encontrar o equipamento correto que atenderá as especificações do sistema, garantindo o funcionamento ideal do projeto.

3.2.9 Purificadores de ar

O capítulo 16 do livro *Ventilação Industrial e Controle da Poluição*, Macintyre (1988) diz que para processos siderúrgicos de laminação, a escolha mais adequada de purificação é usar um coletor mecânico para pré-purificar o gás, seguido de filtros de mangas e por fim lavadores. O autor ainda faz a observação que esses equipamentos podem ter enormes proporções nessas indústrias.

Para o sistema do projeto, será adotado apenas o filtro manga, uma vez que esse equipamento apresenta eficiência elevada de retenção e o resíduo é sólido, ficando assim separado na parte inferior do filtro. A escolha desse equipamento é feita a partir dos dados de dimensionamento do projeto, da vazão de escoamento, bem como, das características do material particulado. Consulta-se então catálogos de fabricantes para a tomada de decisão.

3.2.10 Layout do sistema

Com todas as considerações realizadas, o *layout* mais adequado do sistema em relação ao espaço físico da empresa é mostrado pela figura 21. Na figura é representado o captor, sete curvas de 90°, a rede de dutos, filtro manga, ventilador e chaminé.

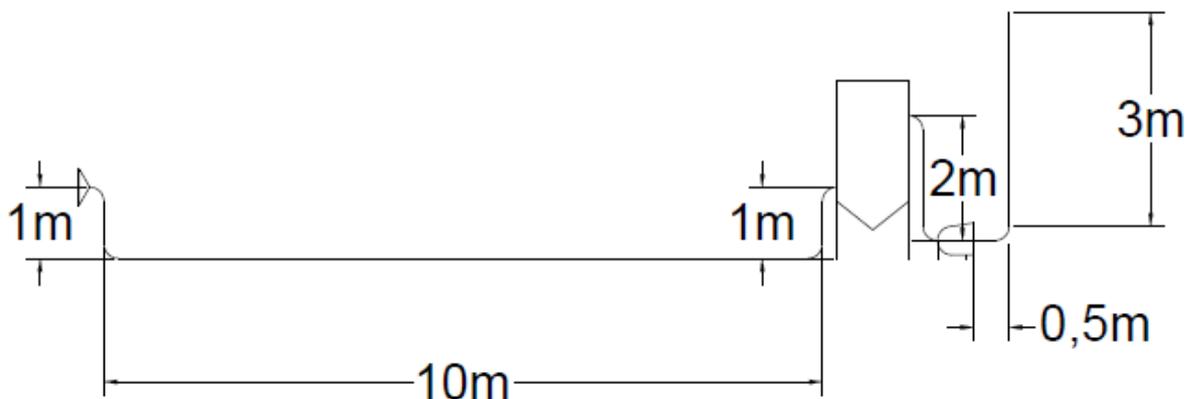


Figura 21 – *layout* do sistema de ventilação
Fonte: Pesquisa Direta (2021).

3.3 Variáveis e Indicadores

Para Gil (2002), variável é termo utilizado pelos pesquisadores que tem por objetivo conferir maior precisão para hipóteses, leis, princípios, entre outros. Conceitualmente é tudo aquilo que assume diferentes valores e/ou aspectos dependendo da condição que está inserido.

Para as pesquisas quantitativas as variáveis devem ser medidas, mostrando, durante o projeto, suas devidas importâncias e impactos, para assim poder chegar ao que é preciso para desenvolvimento do trabalho. Nesse trabalho as variáveis e indicadores são apresentados, respectivamente, nas tabelas 7 e 8. Essas variáveis são de fundamental importância para o dimensionamento do sistema de exaustão desenvolvido nesse projeto.

Tabela 7 – Variáveis e Indicadores da laminação de perfis

Variável	Indicadores
Laminação de Perfil	Características do resíduo
	Planta do Processo
	Temperaturas do processo

Fonte: Pesquisa direta (2021).

Tabela 8 – Variáveis e indicadores de ventilação local exaustora

Variável	Indicadores
Ventilação Local Exaustora e Sopro-Exaustão	Velocidade de Captura
	Velocidade necessária para transporte do poluente
	Cálculo de perdas de carga e dimensionamento
	Seleção de ventiladores e coletores

Fonte: Pesquisa direta (2021).

3.4 Coleta de Dados

Os dados foram obtidos por análise dos produtos, como a diferença de peso do produto a laminar com o produto laminado, por consultas a documentos da empresa, livros, monografias,

dissertações e outros meios. Toda essa coleta se faz de extrema importância para o desenvolvimento eficaz do projeto.

3.5 Considerações Finais

Esse capítulo teve por objetivo apresentar todas as etapas e metodologias para o correto dimensionamento do sistema de ventilação local exaustora para a área. O próximo capítulo apresentará os resultados dos cálculos mostrados anteriormente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo serão apresentados os dados de entrada do ambiente de laminação para o desenvolvimento dos cálculos de dimensionamento do sistema de ventilação exaustora mencionados nos capítulos anteriores, bem como, para mostrar os resultados de cada etapa.

4.1 Dados de entrada e considerações iniciais

O cálculo da taxa de transferência de calor foi feito com auxílio do software EES (*Engineering Equation Solver*), que para encontrar o valor foi necessário entrar no programa com os seguintes dados:

- Temperatura inicial de entrada do ar escoando sobre o material:

$$T_e = 30^\circ C$$

- Velocidade do ar:

$$V_{ar} = 3,8 \text{ m/s}$$

- Área de transferência de calor do produto laminado:

$$A = 0,6544 \text{ m}^2$$

- Coeficiente de transferência de calor por convecção do aço:

$$200 \text{ W/m}^2.K$$

- Emissividade do aço laminado:

$$\sigma = 0,66$$

- Constante de Stefan-Boltzmann:

$$5,67 * 10^{-8} \text{ W/(m}^2.K)$$

Com essas informações, o software retornou os seguintes valores:

- Taxa de transferência de calor:

$$q = 108,483 \text{ kW}$$

- Temperatura média do ar escoando sobre o material no processo de laminação:

$$T_m = 120^\circ C$$

Dada essa temperatura, os cálculos de dimensionamento do sistema serão feitos a partir das propriedades do ar à essa temperatura encontrada, que serão:

- Calor específico do ar na temperatura média:

$$C_p = 1,025 \text{ kJ/kg.K}$$

- Massa específica do ar:

$$\rho = 0,898 \text{ kg/m}^3$$

- Viscosidade Cinemática do ar:

$$\nu = 2,51 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

- Viscosidade absoluta do ar:

$$\mu = 0,0000226 \text{ Pa/s}$$

4.2 Dimensionamento do sistema

Os cálculos do dimensionamento do sistema de ventilação local exaustora serão apresentados nos próximos subitens.

4.2.1 Cálculos iniciais da planta

O sistema a ser dimensionado está levando em consideração as possibilidades físicas do ambiente. Com isso a ideia é que o captor esteja logo ao lado da linha do processo e em seguida os dutos levarão o ar com os contaminantes para fora da planta, como mostrado no esquema da figura 22. A figura representa o sistema de insuflamento à esquerda da linha do processo, a linha de laminação com material em cima, e à direita da linha o captor, os dutos, ventilador e purificador.

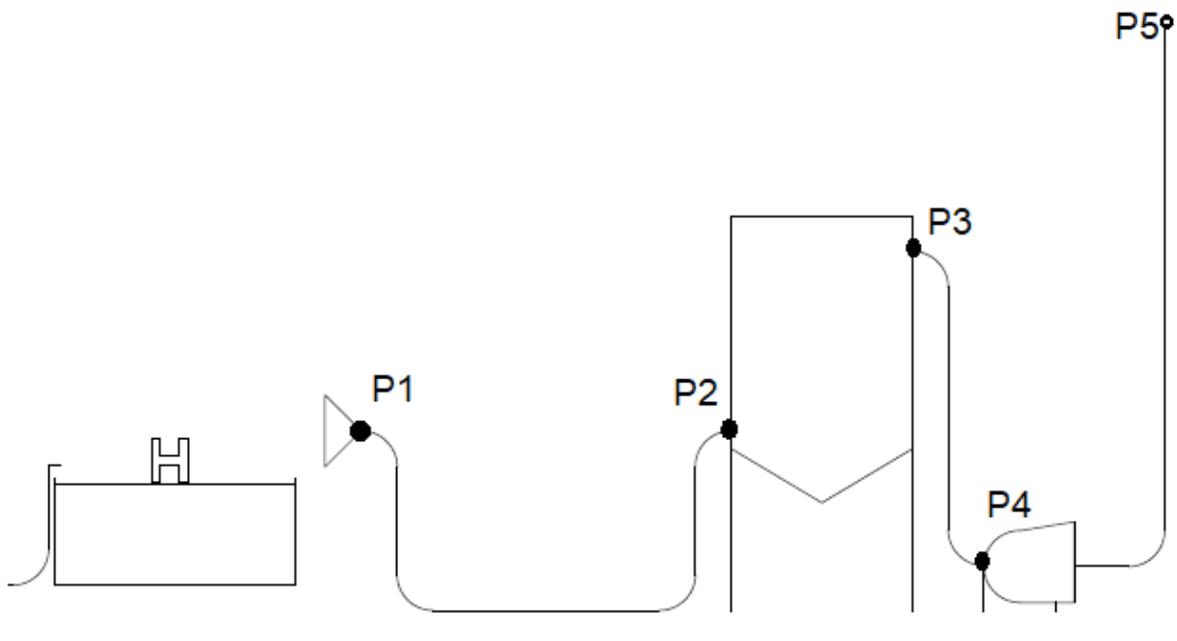


Figura 22 – Projeto do Sistema
 Fonte: Pesquisa Direta (2021).

4.2.2 Cálculos do sistema sopra-exaustão

Como a área de captação é de 9m^2 , a vazão Q_2 , encontrada pela equação (2), de exaustão no captor e duto será:

$$Q_2 = 14523,84 \text{ pés}^3/\text{min} = 6,85 \text{ m}^3/\text{s}$$

A fim de atender o valor da vazão necessária do projeto e a área da seção do captor dimensionado, o ângulo de inclinação da vazão de insuflamento foi de 18° , com isso a altura do captor, expressa pela equação (3) será:

$$H = 1 \text{ m}$$

Pela equação (4), a vazão de insuflamento é:

$$Q_1 = 1054,02 \text{ pés}^3/\text{min} = 0,50 \text{ m}^3/\text{s}$$

A altura da fenda de insuflamento, pela equação (6)(3):

$$h = 0,054 \text{ pés} = 0,0165 \text{ m}$$

4.2.3 Captor

Para a velocidade de captura do ar no sistema será considerado o valor da vazão dividido pela área da seção do captor. A área do captor é o produto $W = 1\text{ m}$ por $L = 3\text{ m}$, logo, 3 m^2 . Sendo assim a velocidade será de $2,28\text{ m/s}$. O tipo de captor a ser usado no sistema em questão é do tipo abertura flangeada, mostrado na tabela 9.

Tabela 9 – Tipos de captor

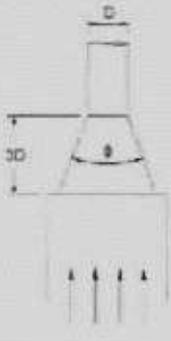
Tipo de captor	Descrição	Razão de aspecto (W/L)
	Fresta	$\leq 0,2$
	Fresta flangeada	$\leq 0,2$
	Abertura plana	$\geq 0,2$ ou circular
	Abertura flangeada	$\geq 0,2$ ou circular
	Cabines	conforme a aplicação
	Coifa	conforme a aplicação

V é a velocidade de captura na distância X

Fonte: Clezar e Nogueira (1992).

Para o cálculo dessa perda é levado em consideração o coeficiente K de entrada em captores simples, como mostrado na tabela 10. Para o captor do projeto, será considerado o valor deste coeficiente de $0,15$.

Tabela 10 – Coeficientes de entrada e perdas de carga



Φ (graus)	Coeficiente κ		Coeficiente C_e	
	Redondo	Retangular	Redondo	Retangular
15	0,15	0,25	0,93	0,89
30	0,08	0,16	0,96	0,93
45	0,06	0,15	0,97	0,93
60	0,08	0,17	0,96	0,92
90	0,15	0,25	0,93	0,89
120	0,26	0,35	0,89	0,86
150	0,40	0,40	0,84	0,82

Fonte: Clezar e Nogueira (1992).

A perda de carga na entrada do captor, calculada pela equação 15, é de:

$$\Delta P_{\text{captor}} = 0,35 \text{ Pa} = 0,035 \text{ mmca}$$

A pressão estática no captor, pela equação 16:

$$P_e = 2,68 \text{ Pa} = 0,27 \text{ mmca}$$

Logo a pressão estática após o captor é:

$$P_1 = 2,68 \text{ Pa}$$

4.2.4 Dutos

Para o cálculo da perda de carga nos dutos serão consideradas a perda de carga antes do ventilador, e a perda de carga dos dutos que estão depois do ventilador.

Adotando o valor da velocidade de escoamento do ar nos dutos de 9m/s , encontra-se, por meio da equação (7), o seguinte diâmetro da tubulação:

$$d = 0,98 \text{ m}$$

Para o projeto, adota-se então o valor de diâmetro comercial de 1m, e com isso a velocidade corrigida será de:

$$v = 8,72 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Como a perda de carga do alargador gradual foi transformada em comprimento equivalente, pela equação 17, adiciona-se o seguinte valor de comprimento ao sistema:

$$L_{eq} = 55,73 \text{ m}$$

Como o sistema apresentado possui quatro curvas de 90° antes do filtro de manga, e adotando $R=2,5d$ da tabela 5, o comprimento equivalente dessas curvas será:

$$L_{eq} = 4 * 18 = 72m$$

Como o comprimento da tubulação reta é de 12 metros, e o comprimento equivalente do alargador gradual é de 66,92m, o comprimento total do sistema antes do ventilador é então:

$$L_{total} = 72 + 12 + 66,92 = 150,92 \text{ m}$$

A equação (11) do número de Reynolds do sistema chegará ao valor de:

$$Re = 347011,95$$

A rugosidade relativa, mostrada pela equação (10):

$$\frac{e}{d} = 0,00015$$

O coeficiente de atrito encontrado pela equação (12):

$$f = 0,0156$$

Então a perda de carga no duto, entre os pontos 1 e 2 é, utilizando a equação (9), e o fator de correção do ar com partículas em suspensão:

$$\Delta P_{\text{dutos}} = \Delta P_{1-2} = 178,6 \text{ Pa} = 18,21 \text{ mmca}$$

A perda de carga do filtro, entre os pontos 2 e 3, pela tabela 7 é:

$$\Delta P_{\text{filtro}} = \Delta P_{2-3} = 1245,44 \text{ Pa} = 127 \text{ mmca}$$

A perda de carga entre o ponto 3 e o ponto 4, contendo duas curvas de 90° e 2 metros de duto é:

$$\Delta P_{\text{dist } 4} = \Delta P_{3-4} = 20,24 \text{ Pa} = 2,06 \text{ mmca}$$

E a perda de carga após o ventilador, com 3,5 metros de tubulação e uma curva de 90°, é:

$$\Delta P_{4-5} = 11,45 \text{ Pa} = 1,17 \text{ mmca}$$

Com tudo, a perda de carga total do sistema, dada pela equação 19:

$$\Delta P_{total} = 1481,1 Pa = 150,02 mmca$$

A tabela 11 apresenta todas as perdas de carga nos pontos de medição do sistema, somando ao final a perda de carga total. Esse valor da perda de carga total será utilizado para a seleção do ventilador.

Tabela 11 – Perdas de carga do sistema

Ponto de medida	Pa	mmca
P1	2,68	0,27
P1-2	178,6	18,21
P2-3	1245,44	127
P3-4	20,24	2,06
P4-5	11,45	1,17
TOTAL	1458,41	148,71

Fonte: Pesquisa direta (2021)

4.2.5 Seleção de equipamentos

Para a seleção do ventilador é considerada o valor da pressão estática do sistema, ou seja, a soma das pressões antes e depois do mesmo. Também é levado em consideração a descrição do equipamento e suas aplicações.

MODELOS

		GEOMETRIA	DESCRIÇÃO	APLICAÇÕES
AR LIMPO	ALA		Rotor de perfil aerodinâmico, Airfoil, inclinadas para trás.	Ventilação em geral, ar condicionado ou processos que requerem alta eficiência com baixo nível de ruído.
	ALH		Rotor de pás inclinadas para trás.	Sistemas de exaustão de gases, vapores, pó e fumaça.
	ALL		Rotor de pás inclinadas para trás tipo limit load.	Ventilação em geral, aeração de silos, estufas, exaustão de gases, pressurização de escadas de incêndio.
	ALR		Rotor de pás curvadas para trás.	Ventilação em geral, aeração de silos, estufas, exaustão de gases, injetor de ar em fornos e caldeiras.
	ALS		Rotor de pás curvadas para frente (sirocco).	Sistemas de ventilação e ar condicionado.

Figura 23 – Modelos de ventiladores Aeroville e suas aplicações
Fonte: Aeroville (2019).

Para a seleção do modelo correto que atenda o sistema, é utilizado a curva de abrangência do catálogo do fornecedor. Dada a vazão total do sistema de 24660 m³/h e a perda de pressão total, levando em consideração também a perda de pressão do ventilador escolhido devido sua geometria, de 185,71 mmca a curva mostra quais os modelos são aptos a suprir as necessidades do projeto.

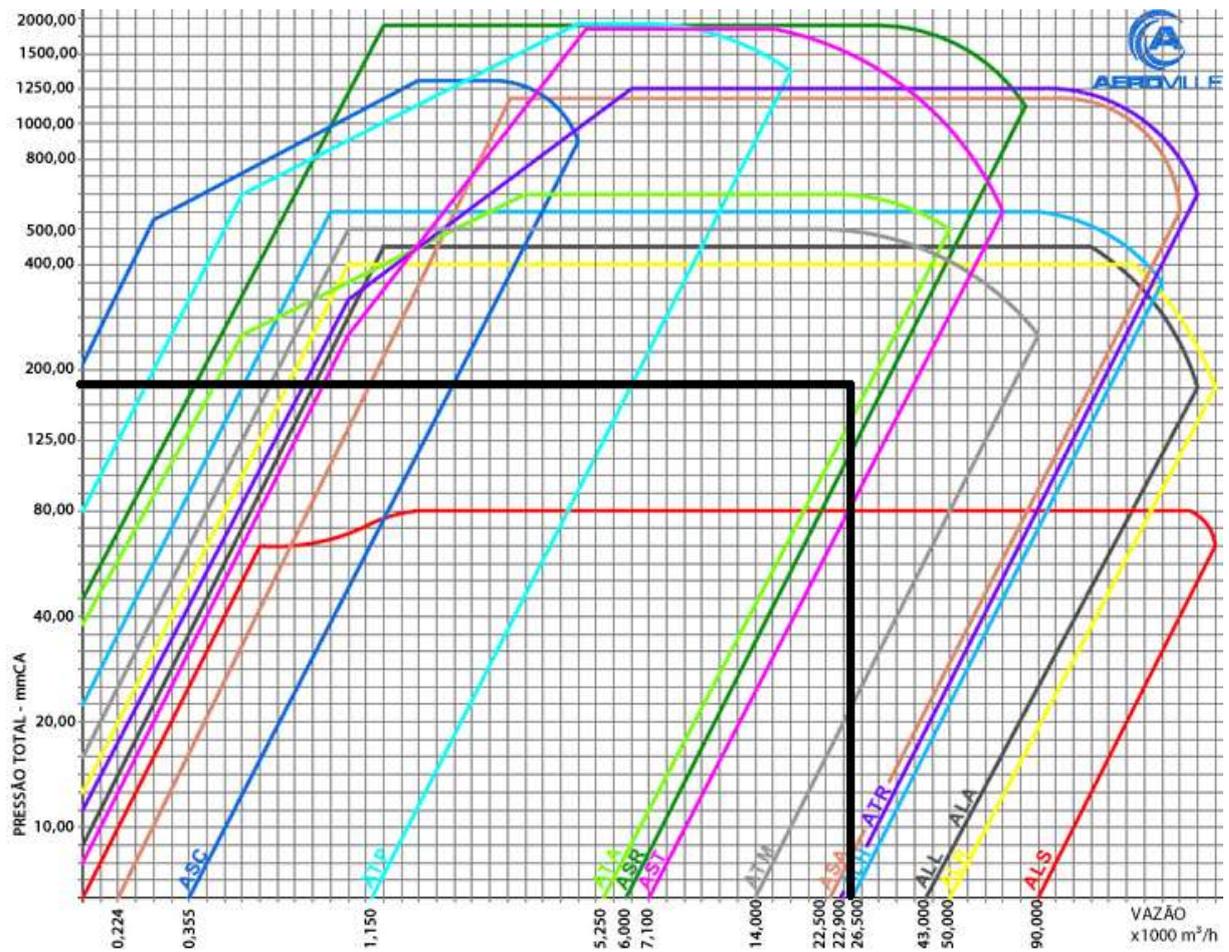


Figura 24 – Ponto de operação do ventilador
 Fonte: Catálogo Aeroville (2019).

Como o mencionado no capítulo anterior, o ventilador ideal para o sistema é centrífugo e de pás inclinadas para trás. Com o equipamento selecionado foi o ALH 900 da marca Aeroville. O modelo apresenta uma eficiência de 72,96%, rotação de 1175 rpm e um motor de 25cv para funcionamento.

MODELO	RENDIMENTO (%)	VELOCIDADE PERIFERICA (m/s)	CONSUMO (CV)	ROTAÇÃO (RPM)
ALA 1000	81,11	56,12	20,441	1072
ALA 1120	78,64	53,81	21,508	919
ALA 830	79,54	62,98	23,996	2516
ALA 710	87,01	71,90	20,745	1934
ALA 800	88,36	64,08	19,573	1530
ALA 900	85,50	58,95	19,765	1251
ALH 1000	76,70	53,23	21,844	1017
ALH 1120	78,80	51,58	21,007	879
ALH 1250	78,36	50,56	20,920	773
ALH 1400	76,45	48,84	21,312	680
ALH 1500	71,56	49,32	22,667	589
ALH 900	72,96	55,36	23,264	1175

Figura 25 – Características do ventilador
 Fonte: Catálogo Aeroville (2019)

Ao selecionar o modelo do ventilador, a vazão e a pressão estática do sistema, o próprio fornecedor indica qual será perda de carga total do sistema. A figura 26 mostra o ponto de operação do equipamento.

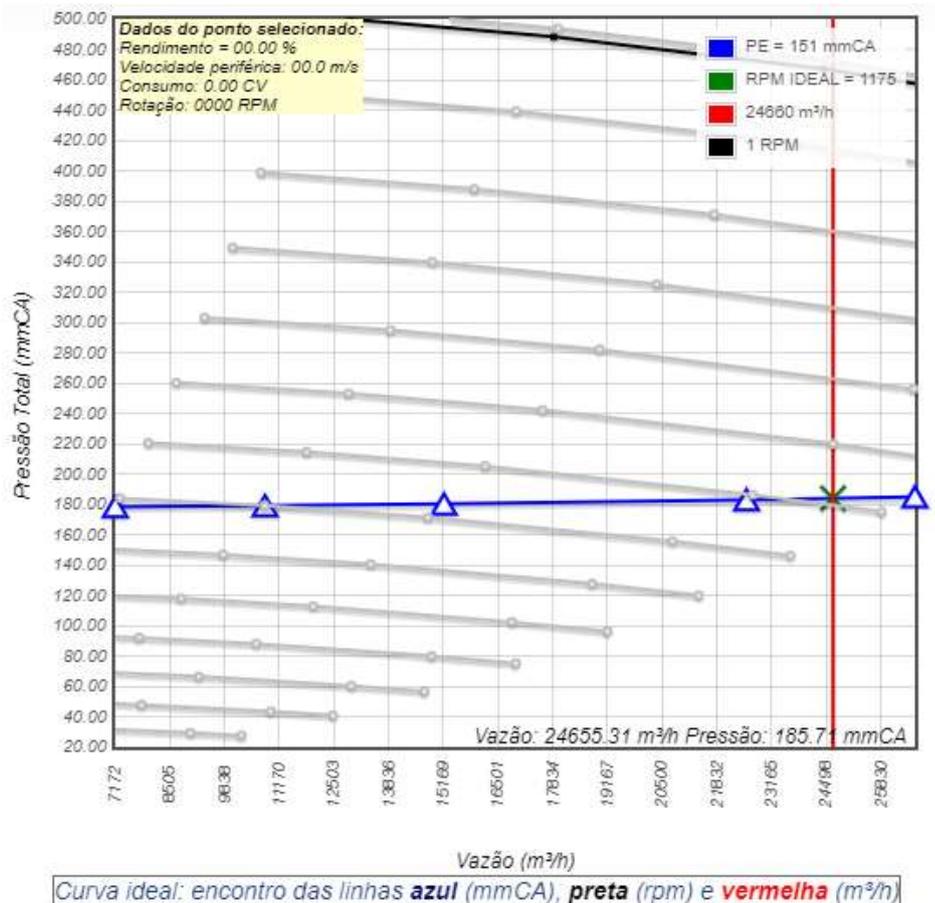


Figura 26 – Ponto de operação do ventilador
 Fonte: Catálogo Aeroville (2019)

Para a escolha do filtro de manga foi levado em consideração a vazão de exaustão (Q_2). De posse dessas informações, o filtro JP-FP72 da empresa CSJ (Figura 26) foi o escolhido para o sistema do projeto uma vez que esse apresenta capacidade na faixa de aplicação do presente projeto (25000 a 30000 m³/h de ar para purificação).



Technical Parameters

Model	JP-FP72	JP-FP96
Filter plate quantity	72	96
Filter plate diameter	Φ150*2000	Φ150*2500
Motor Power/horse (Kw/Hp)	22Kw/30Hp	37Kw/45Hp
Air capacity (m³/H)	25000-30000m³/H	35000-45000m³/H

Figura 27 – Ficha técnica do Filtro JP-FP72
 Fonte: Catálogo CSJ (2008).

Dessa forma a seleção dos equipamentos complementares do projeto é finalizada. O contaminante será devidamente tratado e não será jogado para o ambiente. O sistema de exaustão local exaustora está totalmente dimensionado.

5 CONCLUSÃO

Esse capítulo tem como objetivo finalizar o trabalho a partir dos resultados obtidos no desenvolvimento dos cálculos, mostrando se o sistema será eficiente e benéfico para o processo.

5.1 Conclusões

O sistema de ventilação local exaustora de uma indústria é responsável por retirar o máximo de contaminante possível de um processo. O correto dimensionamento do projeto traz boas vantagens para a área em relação ao ambiente de trabalho e qualidade de vida dos trabalhadores, o que pode trazer melhorias em ambos os setores, visto que reduz a contaminação dos equipamentos da planta, aumentando o tempo de vida útil dos equipamentos e elevando a qualidade profissional e de vida dos trabalhadores.

Outro ponto que pode ser levado em consideração, ligado ao âmbito da sustentabilidade do processo, é a reutilização da carepa no próprio processo siderúrgico, uma vez que esse resíduo pode voltar as primeiras etapas do processo de obtenção do aço.

Os parâmetros encontrados no dimensionamento desse projeto junto com os valores recomendados por órgãos ambientais mostram que o projeto tem condições de ser aplicado na área, por apresentar dimensões de projeto satisfatórias, se comparado com a disponibilidade da área de laminação de perfis.

5.2 Recomendações

Para trabalhos futuros recomenda-se fazer os orçamentos e planejamento da instalação do projeto na área, afim de se ter um melhor entendimento, de como é a instalação de um sistema de exaustão e sua real eficiência para a área. Pode-se também fazer um estudo de análise econômica de retorno da carepa para o processo siderúrgico.

REFERÊNCIAS

ABM. (2003). Laminação de Perfil.

Andrade, A. L. (2018). *Idade do Ferro*. Fonte: Info Escola:
<https://www.infoescola.com/historia/idade-do-ferro/>

Bénard, J. (1964). *Oxydation des Métaux*. Paris: Faculté des Sciences de Paris.

Blazevic, D. T. (1992). Rolled in Scale.

Carneiro. (2003). Laminação de Perfil.

Centro de Informação Mecânica Metal. (2005). *Definição - O que é Laminação*. Fonte: CIMM:
<https://www.cimm.com.br/portal/verbetes/exibir/582-laminacao>

Clezar, C. (2009). Ventilação Local Exaustora. Em C. Clezar, *Ventilação Industrial* (p. 114). UFSC.

Committe on Industrial Ventilation . (1988). *Industrial Ventilation*. Cincinnti: American Conference of Governmental Industrial Hygenists.

Corr, D. J., Juenger, M., Monteiro, P., & Bastacky, J. (2004). Investigating entrained air voids and Portland cement hydration with low-temperature scanning electron microscopy. *Cement & Concrete Composites*, 26, 1007–1012.

Costa, E. C. (2005). *Ventilação*. São Paulo: Edgar Blucher.

Dias, A., Barcelos, G., Lima, F., Barbosa, A., Féder, C., & Santos, E. d. (2012). *Sistema automático de controle de pontas de tiras na laminação de desbaste da ltq da aperam*. Belo Horizonte.

Dieter, G. (1981). *Metalurgia Mecânica*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.

Filho, H. V., & Melo, C. (1992). *Ventilação Industrial*. UFSC.

Gil, A. C. (2002). *Como elaborar Projetos de Pesquisa*. São Paulo: Atlas S.A.

Instituto Aço Brasil. (2005). *Processo Siderúrgico*. Fonte: Aço Brasil:
<https://acobrasil.org.br/site/processo-siderurgico/>

- Instituto Aço Brasil. (2013). *Aço Brasil*. Fonte: Instituto Aço Brasil: https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2019/10/LIVRO_ACO_BX.pdf
- IRSID. (1983). *Oxydation du Fer et Caracteristiques de la Calamine*. Paris.
- Junior, J. R. (2019). *Reciclagem em cerâmica vermelha de pó de carepa da indústria siderúrgica*. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense.
- Macintyre, J. A. (1988). *Ventilação Industrial e controle da poluição*. Rio de Janeiro: Guanabara.
- Meirelles, F. M. (2004). *Implantação da troca rápida de ferramentas em uma indústria siderúrgica*.
- Minayo, M. C. (2003). *Pesquisa Social: teoria, método e criatividade*. Rio de Janeiro: Vozes.
- Nardin, F. (2008). *Importância da estrutura metálica na construção civil*.
- Neves, A., Daniel, B., Souza, J., Quaresma, D., Pereira, Macedo, . . . Dias. (2016). Caracterização Física e Química da carepa de laminação para estudo em sinterização.
- OIT. (3 de Dezembro de 2019). *OIT*. Fonte: Organização Internacional do Trabalho: https://www.ilo.org/brasil/convencoes/WCMS_235873/lang--pt/index.htm
- Rizzo, E. M. (2005). *Introdução aos processos siderúrgicos*. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais.
- Rizzo, E. M. (2007). *Processos de laminação dos aços: uma introdução*. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais.
- Rossi, E. H. (2003). *Caracterização da carepa em Aços Inoxidáveis*. ACESITA S.A.
- Rossi, E. H., & Castro, G. M. (2000). Caracterização dos Defeitos Provenientes de Oxidação na Laminação a Quente dos Aços Carbono. *XXXVIII Seminário de Laminação, Processos e Produtos Laminados e Revestidos, ABM*, (pp. 387-396). Curitiba.
- Silva, E. L., & Menezes, E. M. (2001). *Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação*. Florianópolis: UFSC.
- Soares, O. B. (2007). *Monitoramento e controle no processo de laminação*. Recife: Universidade de Pernambuco.

Sobrinho, F. V. (1996). *Ventilação Local Exaustora em Galvanoplastia*. São Paulo: FUNDACENTRO.

Viana, D. (14 de Janeiro de 2019). *Perda de Carga*. Fonte: Guia da Engenharia: <https://www.guiadaengenharia.com/perda-carga/>

Viana, M. C. (2009). *Análise de defeitos superficiais com origem no processo de laminação de aços especiais para a cadeia automotiva e implementação de soluções*. Porto Alegre: Universidade Federal de Rio Grande do Sul.