

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO PARA O LABORATÓRIO DE TRIBOLOGIA DA UNISATC

Fábio Fernandes Inacio¹

Guilherme Bampi Righeto²

Resumo: Diversos são os fatores que podem impactar negativamente na saúde dos trabalhadores, desta forma meios de tornar os ambientes de convivência seguros têm sido temas de pesquisas relacionadas à saúde ocupacional. Ambientes fechados com poluição interna estão dentre os locais de risco observados e ao mesmo tempo abrangem outras realidades. No meio acadêmico, o estudo da tribologia possibilita compreender o comportamento da fricção, desgaste e lubrificação de sistemas mecânicos, entretanto a manipulação da matéria prima e a poeira criada durante os ensaios podem proporcionar riscos a funcionários e alunos. Diante deste problema fez-se necessário idealizar uma solução que auxiliasse na remoção destes resíduos. Buscou-se com este trabalho propor um sistema de ventilação mecânica para remover o particulado e a poeira gerada durante a utilização do laboratório de tribologia do centro universitário UNISATC. Desta forma os componentes para a ventilação local e geral diluidora foram dimensionados a fim de apresentar eficiência e baixo custo de confecção. Para isto foram efetuados ensaios granulométricos com a areia que escoou entre o corpo de prova e a roda de borracha e medições do ambiente analisado. Os valores obtidos foram então utilizados para o dimensionamento da cabine de preparação, tubulação e captadores. As dimensões do ciclone foram baseadas em uma metodologia de cálculo de ciclone com base na eficiência, contudo fez-se necessário reduzir a escala do mesmo, o que possibilitou a escolha de um modelo disponível no mercado. A escolha do ventilador foi realizada através da análise do ponto de operação com base na intersecção das curvas do sistema com o equipamento. A planta deste projeto e orçamento acessível possibilitaram a aprovação para a implantação no laboratório de tribologia, onde os trabalhos de montagem foram montados.

Palavras-chave: Sistema de Ventilação. Ventilação Local Exaustora. Ventilação Geral Diluidora. Contaminantes.

1 INTRODUÇÃO

A poluição interna em ambientes fechados tem sido tema de estudos globais devido ao impacto negativo na saúde dos trabalhadores. A industrialização

¹ Graduando em Engenharia Mecânica

E-mail: fabiof_inacio@hotmail.com

² Professor do Centro Universitário UniSATC

E-mail: guilherme.righeto@satc.edu.br



tem impulsionado essas pesquisas, que relacionam a poluição interna com efeitos adversos na saúde ocupacional (GIODA, 2003). A ventilação, como definida por Macintyre (1990), é um processo de movimentação de ar em ambientes para retirada ou fornecimento de ar, com ou sem confinamento. A ventilação mecânica é usada na indústria para controlar a temperatura, distribuir o ar uniformemente, regular a umidade e remover poluentes.

A ventilação em ambientes fechados pode ser dividida em duas classificações. A primeira é a ventilação geral diluidora (VLG), que abrange um ambiente inteiro, como um ventilador de teto que movimenta o ar do ambiente para facilitar a troca. A segunda é a ventilação local exaustora (VLE), que se concentra na fonte da geração de poeira ou gases, transportando-os por dutos e separando os poluentes.

O laboratório de tribologia localizada nas dependências do centro universitário UNISATC, dispõe de tribômetros de roda de borracha usados para ensaios de desgaste abrasivo de baixa intensidade, e uma bancada para preparo dos materiais. Durante o ensaio de desgaste a areia que é anteriormente preparada e posta no reservatório superior do tribômetro, onde escoar entre o corpo de prova e a roda de borracha. Essa etapa a areia se torna o fluido abrasivo, modificando a sua granulometria, assim gerando particulados no ambiente. O equipamento tribômetro de roda de borracha com areia seca segue rigorosamente a norma ASTM G65 de 2010 (ASTM, 2010).

Os riscos coletivos e individuais que estão presente no laboratório de tribologia são causados por alguns fatores, dês da manipulação da matéria prima para o ensaio à poeira criada durante o ensaio. O laboratório não atende a demanda de ar necessária para um ambiente fechado, pois conta com apenas uma janela, os danos à saúde podem ocorrer pela aspiração de partículas suspensas no ar. O manuseio de argentes também traz riscos físicos como o contato da pele com a areia e a falta de equipamentos adequados no laboratório. Ambos podem gerar um risco para saúde do pesquisador (MTP, 2022).

Com o desenvolvimento de um sistema ventilação local exaustora para os equipamentos e um sistema de ventilação diluidora para o laboratório de tribologia, é possível promover a remoção deste particulado e da poeira gerada durante os processos exercidos no laboratório. Desta forma, este estudo realizou o

dimensionamento dos componentes da ventilação local e geral diluidora, tendo em vista a escolha de materiais comerciais, assim facilitando o projeto e a instalação.

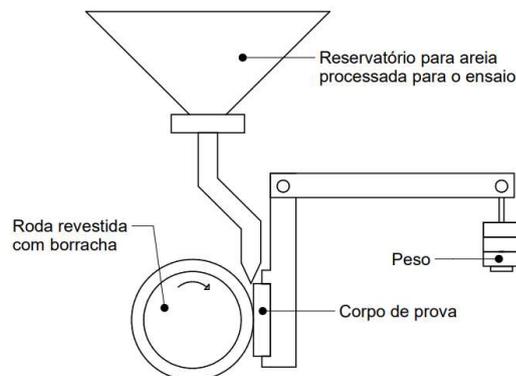
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Esta revisão bibliográfica aborda o tribômetro de roda de borracha com areia seca, um dispositivo utilizado para avaliar a resistência de materiais metálicos à abrasão por riscamento, e os sistemas de ventilação para remoção do poluente gerado pelo equipamento.

2.1 Tribômetro de roda de borracha

O equipamento chamado tribômetro de roda borracha com areia contempla o procedimento para determinar a resistência de materiais metálicos a abrasão por riscamento, o resultado do teste são relatados como perda de volume em milímetros cúbicos, onde materias com maior resistência terão menor perda de volume (ASTM, 2010).

Figura 1: Tribômetro de roda de borracha com areia seca.



Fonte: Adaptado de ASTM G65 (2010)

O tribômetro de roda de borracha com areia seca, necessita de uma areia preparada para realizar o ensaio que é depositado em um reservatório na parte superior do equipamento que através de um funil a areia cairá por gravidade entre a roda de borracha que rotaciona a uma velocidade determinada pela norma ASTM G65 em contato com o corpo de prova que através da fricção da areia resultará no desgaste do mesmo. O esboço do equipamento é representado pela Fig.1 e este processo de abrasão gera uma névoa de poeira e particulados no ambiente do laboratório.

2.2 Contaminante

O ar atmosférico é composto por oxigênio, nitrogênio, dióxido de carbono, vapor d'água, traços de gases inertes e matéria sólida microscópica. Onde qualquer outra substância no ar pelo ponto de vista da ventilação industrial é chamada de contaminante (NOGUEIRA, 2009). Logo, na prática não se busca a purificação total do ar, mas sim, um alto grau de pureza.

Por se tratar de extração da poeira de areia seca, a ASHRAE (1995) contempla as seguintes velocidades para o transporte em relação ao material do contaminante, descrito na Tab. 1:

Tabela 1: Velocidade do ar em canalizações em relação ao material.

Material	Velocidade (m/s)
Vapores, gases, fumos, poeira 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: Costa (2005)

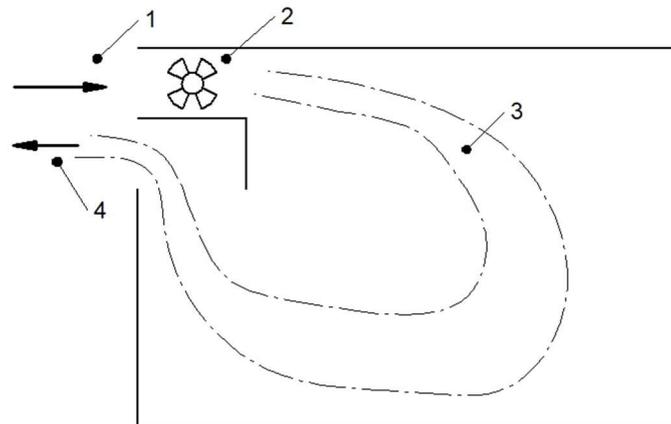
A areia utilizada no processo de riscamento, tem diâmetro médio de grão 0,15 mm, respeitando a ASTM G65. Para a remoção deste contaminante as velocidades no escoamento necessitam ser suficientes para manter as partículas do contaminante suspensas e ao mesmo tempo transportá-las (COSTA, 2005). A velocidade de 15 m/s é o valor adotado como base de cálculos futuros.

2.3 Ventilação Diluidora

É adotada sempre que os meios naturais não proporcionam a taxa de renovação de ar desejada ou como medida de segurança em condições de funcionamento precário da circulação de ar natural (COSTA, 2005).

Esse tipo de ventilação (Fig. 2) atua como um item indispensável na indústria moderna, onde os processos se tornam mais ágeis trazendo maior risco no ambiente de trabalho (NOGUEIRA, 2009). Assim amenizando a concentração do contaminante através da sua diluição.

Figura 2: Fluxo de ar em uma sala com ventilação diluidora.



Fonte: Do Autor.

Onde:

- | | |
|----------------------------|-------------------------|
| 1 - Entrada de ar externo. | 2 - Ventilador |
| 3 - Fluxo de ar | 4 - Saida do ar interno |

A fim de obter a vazão de ar externo (\dot{V}_e) necessária, a taxa volumétrica de renovação de ar (\dot{V}_p) para ambientes fechados, baseada no consumo médio de 13 m³/h por pessoa, é multiplicada pelo número de pessoas presentes no espaço em questão. Isso pode ser calculado conforme a Eq. 1. Para determinar a taxa de renovação do ar do ambiente, fundamental para esses cálculos foi utilizada a Eq. 2, conforme definida por Nogueira (2009), foi empregada.

$$\dot{V}_e = \dot{V}_p \cdot (N^\circ \text{ de pessoas}) \quad (1)$$

$$\dot{V}_e = N \cdot V \quad (2)$$

Onde:

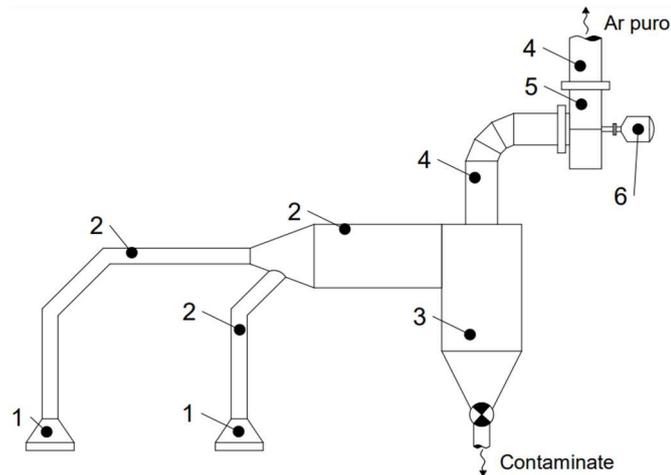
- | | |
|---|--|
| \dot{V}_p = volume de ar por pessoa no ambiente | N = Número de trocas necessária por ambiente |
| \dot{V}_e = volume da troca de ar | V = Volume de ar [m ³ /h] |

2.4 Ventilação Local Exaustora

A ventilação local exaustora (VLE), ilustrada pela Fig. 3, é aquela que extrai o contaminante mecanicamente no próprio local que ele é produzido, antes mesmo

de se espalhar pelo ambiente. O ar é extraído do recinto e substituído naturalmente por igual quantidade do exterior (COSTA, 2005).

Figura 3: Sistema de ventilação local exaustora.



Fonte: Adaptado de Costa (2005)

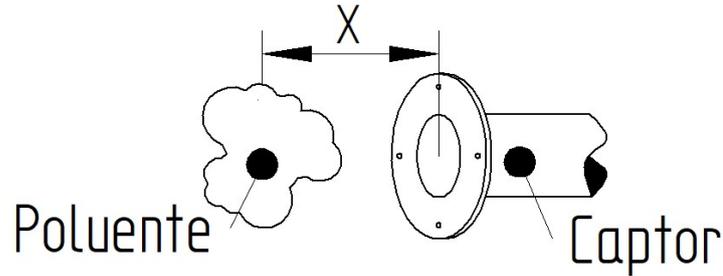
Onde:

- | | |
|-----------------|--|
| 1 – Captor. | 2 – Sistema de canalização do ar com contaminante. |
| 3 – Coletor. | 4 – Canalizações de saída do ar puro. |
| 5 – Ventilador. | 6 – Motor de acionamento |

2.5 Captor

O captor (Fig. 4) de um sistema de ventilação local exaustora é um dispositivo que, colocado junto a fonte de contaminação, trabalhando a diferença de pressão do ambiente para a entrada do captor (MACINTYRE, 1990). Para isso é necessário determinar a vazão de captura através da Eq. 3, pois a partir dela encontra a perda de carga e a pressão estática do captor que podem ser obtidas respectivamente pelas Eq. 4 e Eq. 5.

Figura 4: Exemplo de perda de carga em um captor



Fonte: Do Autor (2023).

$$\dot{V}_{cap} = V_c \cdot \left(10X^2 + \frac{\pi D^2}{4} \right) \quad (3)$$

$$\Delta P_{cap} = K \cdot \frac{1}{2} \cdot C \cdot \left(\frac{4V}{\pi D^2} \right)^2 \quad (4)$$

$$P_e = (1 + K_c) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(\frac{4V}{\pi D^2} \right) \quad (5)$$

ρ = Peso específico do fluido [kgf/m³]

K_c = Coeficiente de perda de carga do acessório

V_c = Velocidade captor [m/s]

X = Distância do captor ao poluente

Um bom captor tem que ter as seguintes qualidades: envolver ao máximo a fonte do contaminante; ter a mínima seção de boca possível; não atrapalhar o trabalho dos operários; e ser de fácil manutenção (COSTA, 2005).

2.6 Sistema de dutos

O sistema de dutos sempre que possível tem que ter seção circular para evitar arestas ou zonas de baixas velocidades, que possibilitam a empregação dos contaminantes (COSTA, 2005).

O dimensionamento dos dutos em qualquer que seja o método adotado, baseia-se na equação de continuidade e no princípio de conservação da energia para os fluidos em escoamento, traduzida pela equação de *Bernoulli* (MACINTYRE, 1990).

A equação de continuidade mostra que o valor de vazão é o produto da área da seção em escoamento com velocidade média na mesma seção, conforme a Eq. 6:

$$\dot{V} = A \cdot V \quad (6)$$

Onde:

\dot{V} = Vazão do fluido. [m³/s]

V = Velocidade média. [m/s]

A = Area interna do duto. [m²]

Com objetivo de reduzir as perdas de cargas na tubulação as curvas serão adotadas que o raio é duas vezes ou maior que o diâmetro do duto. Desta forma para cálculos de perda de carga se utilizara somente o comprimento equivalente (L_{eq}).

2.7 Dimensionamento das perdas de cargas nos dutos

As perdas de cargas na ventilação industrial se aplicam na resistência viscosa e mudanças de direção do escoamento, com deslocamento da camada limite. Tais perdas expressam uma diminuição do nível total de pressão do sistema (NOGUEIRA, 2009). Com a movimentação do fluido de montante a jusante, é necessário inserir uma energia no sistema para suprir esta perda de carga, calculada por meio da Eq. 7:

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2} \quad (7)$$

Onde:

L = comprimento [m]

D = diâmetro [m]

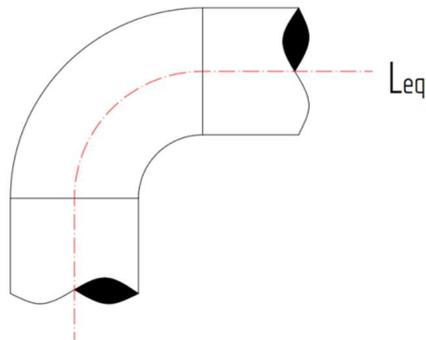
v = velocidade

f = Fator de atrito

2.7.2 Perda de Carga pelos Acessórios

Os acessórios do sistema de ventilação são componentes típicos de um sistema fluidodinâmico, como um captor, uma expansão ou uma contração de seção da área da tubulação, até mesmo uma mudança de direção do fluxo. A Fig. 5, descreve uma curva de 90° que pode ser representada matematicamente por um comprimento equivalente (L_{eq}), conforme Eq. 9 a seguir:

Figura 5: Exemplo de comprimento equivalente em uma curva de 90°.



Fonte: Do Autor (2023).

Podendo-se calcular pela equação:

$$L_{eq} = \frac{k}{f} \cdot D \quad (8)$$

Onde:

L_{eq} = Comprimento equivalente, [m].

f = Coeficiente de atrito.

k = Coeficiente de perda do acessório.

D = Diâmetro [m].

O fator de atrito pode ser obtido pelo diagrama de *Moody*, dependendo da rugosidade relativa do duto e do número Reynolds (Eq. 9).

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (9)$$

Onde:

Re = Número de Reynolds [-]

Através destas equações pode-se igualar a perda de carga de um acessório a uma reta equivalente de comprimento L_{eq} , assim definindo um comprimento equivalente do acessório (NOGUEIRA, 2009).

Muitos acessórios comerciais têm definido o seu coeficiente de perda de



carga “k”, assim facilitando os cálculos de perda de carga por acessórios, sendo utilizado a Eq. 10 para expressar essa perda, pode-se também fazer uma somatória de “k” simplificando o cálculo.

$$\Delta P = k_{\text{acessorio}} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho \quad (10)$$

2.8 Ciclone

No coletor tipo ciclone (Fig. 6) o fluido é acelerado em uma espiral descendente pela parede, assim separando o contaminante que tem maior peso que o fluido, depositando o contaminante no fundo e o fluido sendo extraído no centro do topo do coletor tipo ciclone.

O ciclone é a parte principal para este projeto, onde o dimensionamento envolve o ensaio granulométrico da areia, e o escoamento dentro dos dutos que para partículas secas e finas a velocidade é de 15 m/s (Tab. 1). A Metodologia usada para a determinação da eficiência do ciclone foi baseada em SOUZA (2022). A eficiência do ciclone é dada pela razão do particulado separado do ar (eq. 11).

$$\eta_{\text{ciclone}} = 100 \cdot \left(1 - \frac{v^2}{m * g} \right) \quad (11)$$

Onde:

η_{ciclone} = eficiência do ciclone [%]

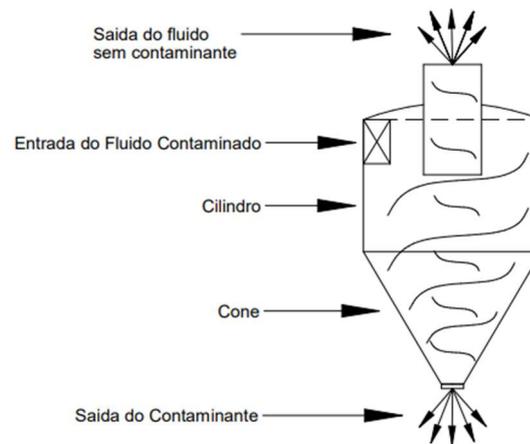
m = massa [kg]

v = Velocidade [m/s]

g = Gravidade

Segundo descrito por Macintyre (1990) os ciclones de cilindro e cone de grande comprimento em relação ao diâmetro são considerados mais eficazes na captura de partículas de tamanho pequeno.

Figura 6: Coletor Ciclone tradicional.



Fonte: Adaptado de Costa (2005).

Para determinação das dimensões do ciclone, perda de carga a metodologia proposta por Bhargava (2016) pode ser usada desde que a distribuição granulométrica do particulado seja inserida, assim como a vazão volumétrica de escoamento.

2.9 Ventilador

Ventiladores são turbo máquinas geratrizes ou operatrizes, que se destinam a produzir a o deslocamento dos gases (MACINTYRE, 1990). São responsáveis por inserir energia no sistema, assim fazendo a diferença de pressão, geralmente acionado por um motor elétrico. Realizando a sucção do ar no ponto de captura.

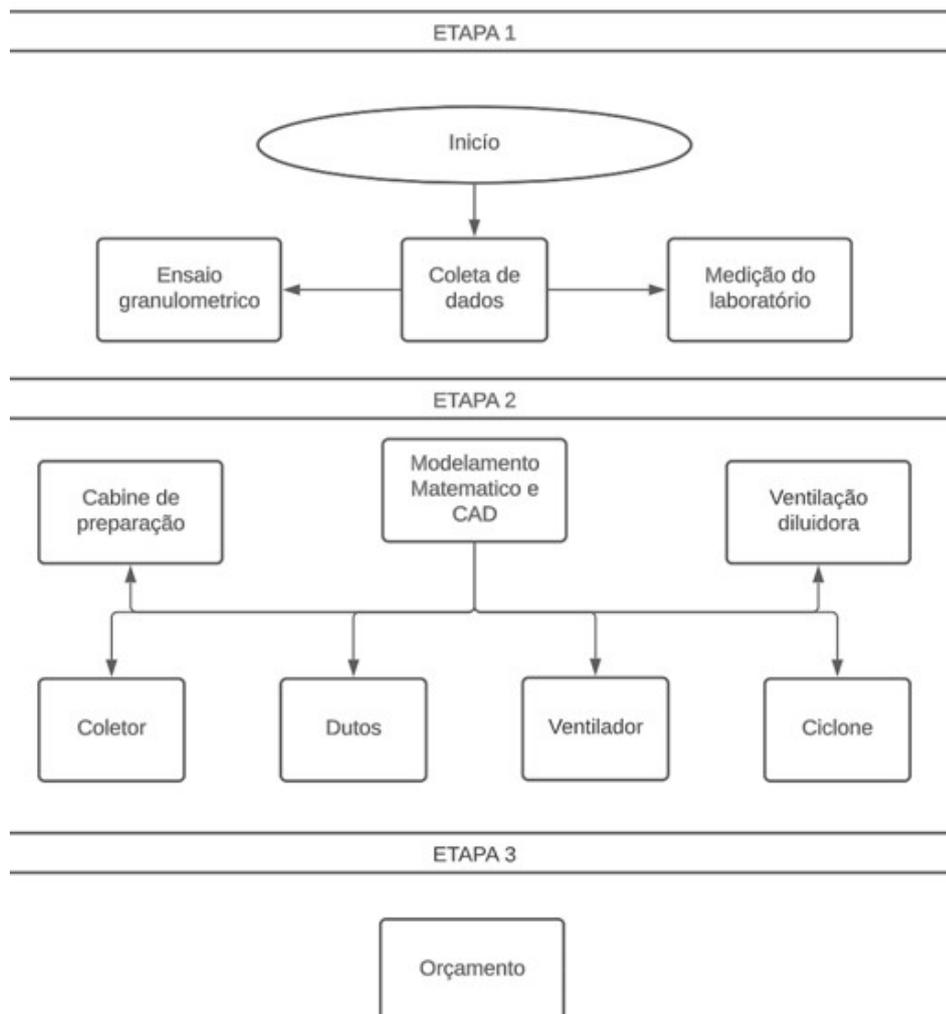
Nestas condições, para evitar uma sobrecarga do motor do ventilador, provocada pelo aumento da abertura equivalente dos circuitos de ventilação da exaustora local, que por vezes se caracteriza por uma variação excessiva da queda de pressão (COSTA, 2005).

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a melhor visualização do projeto, o fluxograma descreve as etapas adotadas para a realização do trabalho (Fig. 7), as quais:

- I. ETAPA 1 – Recolhimento de dados do laboratório e do contaminante;
- II. ETAPA 2 – Modelamento matemático, pré-projeto e modelamento geométrico para criação dos acessórios dos sistemas VLE; e
- III. ETAPA 3 – Orçamentos para fabricação e montagem do sistema.

Figura 7: Diagrama de fluxo representando as fases descritas da metodologia empregada.



Fonte: Do Autor (2023).

O com a organização obtida pela divisão das etapas, juntamente com fluxograma dos processos executados, colaborou pra dar início do procedimento experimental e os resultados.



3.1 COLETA DE DADOS

Para a primeira etapa é realizada a coleta de dados, esse é um processo fundamental para a realização de pesquisas e análises. É importante que os dados coletados sejam precisos e confiáveis para garantir a validade dos resultados.

Com uma trena foram retiradas as dimensões do laboratório obtendo o seguinte dimensionamento de 2,8 metros de largura 4,5 metros de comprimento e 3,5 metros de altura. Através dessas medidas é possível encontrar o volume total do laboratório que é de 44,1 m³. A área externa não tem limitações para a instalações dos acessórios do sistema.

O ensaio granulométrico foi realizado conforme NBR 7412. Para uma melhor amostragem foi analisado a areia antes e depois do ensaio. Os parâmetros para tratamento da amostra foram de aquecê-las no forno elétrico a 100 °C por 30 minutos, após este processo foi realizado o peneiramento para separar a areia por granulometria usando peneiras de 0,3; 0,212; 0,15; 0,106 e 0,075 mm e o tempo de peneiramento de 5 minutos a uma frequência de 6 Hz.

3.2 PROCEDIMENTOS PARA MODELAMENTO DOS COMPONENTES

Na segunda etapa do projeto foram analisadas as necessidades de cada componente e quais os cálculos necessários para o dimensionamento adequado.

3.2.1 Cálculos para construção da cabine de manuseio

A bancada de trabalho necessita de uma sucção superior onde irá sugar todos os particulados que serão suspensos com o manuseio da areia. Tendo em vista que irá seguir um esquema de capela, definindo a área de entrada de ar com base na vazão do ventilador que irá ser utilizado.

3.2.2 Cálculos para tubulação e captos

A abordagem dos dutos será feita através do balanceamento com registros, neste modelo pode-se arbitrar sobre a velocidade do fluxo de ar nas tubulações através dos registros instalados pelo percurso dos dutos (NOGUEIRA, 2009).



Os dutos e acessórios serão construídos com materiais disponíveis no mercado, logo parte deles serão de PVC outra de dutos para chaminés em aço galvanizado. Para efetuar os cálculos de perda de carga ao longo da tubulação e acessórios são utilizadas as equações Eq. 7 e Eq. 8.

Os captosres escolhidos para ser utilizado no dimensionamento do sistema VLE do tribômetro é o de boca reta com flange, já para a cabine de manuseio é o cone retangular juntamente com a área da cabine.

3.2.4 Cálculos para construção do ciclone

O ciclone é a parte de maior impacto no sistema de ventilação onde ocorre a uma grande perda de carga. Com isto, o dimensionamento com maior eficiência será aquele que possua menor perda de carga e mantendo a remoção do particulado almejada.

Os valores obtidos no ensaio granulométrico são inseridos no procedimento de cálculo da eficiência de ciclone desenvolvida por Bhargava (2016), resultando nas medidas do ciclone e a eficiência e perda de carga. Essa informação abre espaço para procurar um ciclone comercial com nas medidas e eficiência.

3.2.6 Ventilador

O ventilador é o componente principal de todo o sistema, nele é onde se coloca a energia necessária para movimentar o ar pela tubulação. Para determinar o ventilador que melhor se adequa ao projeto será analisado o ponto de operação com base na intersecção das curvas do sistema com o equipamento analisado. Através das curvas de característica e com a perda de carga de cada sistema de ventilação define-se o melhor ventilador.

3.2.7 Ventilação diluidora

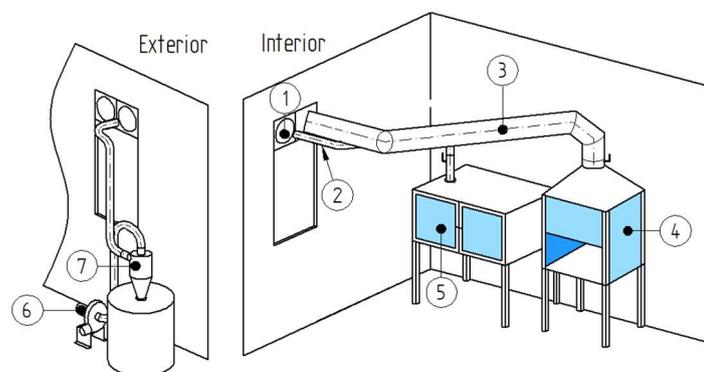
Por ser um laboratório pequeno, não necessita de um sistema com vários pontos de inflação. Um ventilador é o essencial para o ambiente de forma direta na parte superior, obedecendo a saída do ar logo abaixo do ventilador.

3.3 PRÉ-PROJETO DO LABORATÓRIO

O espaço do laboratório contém algumas restrições especiais, como na parede da janela a fundo contém 3 painéis de elétricos, onde os equipamentos tribômetro devem ficar afastados. Ao lado temos cabine de manuseio do material com uma abertura suficiente para que o reservatório de areia entre e espaço necessário para despejamento dele no recipiente. Embaixo da cabine terá espaço para depósito da areia utilizada no ensaio.

A VLE do tribômetro é uma coleta o poluente direto da cabine e transportara pelos dutos até chegar no ciclone passando pelo ventilador e para o final do percurso. Buscando o menor custo de instalação utilizando partes de chaminé em aço galvanizado sustentado por cabo de aço no teto para a tubulação da cabine de manuseio. Para o tribômetro será utilizado canos de plástico (PVC). Em seguida um croqui de como ficara a montagem da parte interna dos dutos e cabine de manuseio juntamente com a ventilação diluidora.

Figura 8: Esboço isométrico do interior do laboratório.



Fonte: Do Autor (2023).

Legenda:

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------|
| 1 - Ventilador, ventilação diluidora | 4 – Tubulação VLE cabine |
| 2 - Tubulação da VLE do Tribômetro | 5 – Cabine de manuseio |
| 3 - Tribômetro de roda de borracha | 6 - Ventilador |
| 7 - Ciclone | |

A Fig. 8 propõe uma melhor visualização do resultado final com a instalação de todos os sistemas de ventilação instalados no laboratório.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão analisados os resultados dos ensaios e dos dimensionamentos dos componentes do sistema de ventilação. Em sequência é apresentado o orçamento e a idealização da fabricação e da montagem.

4.1 RESULTADOS DO ENSAIO GRANULOMÉTRICO

Com a análise da areia utilizada no processo de riscamento, tendo em vista o diâmetro de grão 0,15 mm, para escolha das peneiras utilizadas no ensaio foi retirando uma porção de 200g de areia nova para a realização do ensaio (Tab. 2) também a mesma quantidade para areia já utilizada em um ensaio (Tab. 3), obteve-se os dados iniciais para a o dimensionamento das tubulações e dos acessórios dos sistemas.

Tabela 2: Análise granulométrica da amostra de 200g de areia nova.

Tara peso[g]	Nº Peneira	Abertura da peneira [mm]	Massa retida [g]	% Retida em cada peneira	% Retido acumulado	% passa na peneira
289,00	1	0,425	0,00	0,00	0,00	0,00
265,00	2	0,3	0,00	0,00	0,00	0,00
263,00	3	0,212	96,00	48,24	48,24	-48,24
261,00	4	0,15	69,00	34,67	82,91	-82,91
252,00	5	0,106	24,00	12,06	94,97	-94,97
244,00	6	0,075	7,00	3,52	98,49	-98,49
339,00	fundo		3,00	1,51	100,00	-100,00

Fonte: Do autor (2023).

Observa-se a importância da preparação da areia, pois a areia nova retirada diretamente da embalagem apresentou a uma grande quantidade de grãos retido na peneira 3 (0,212 mm), lembrando que o teste do tribômetro segue a norma ASTM G65 onde diz que o grão para validar o teste é de 0,15 mm.

Tabela 3: Análise granulométrica da amostra de 200g de areia utilizada.

Tara peso[g]	Nº Peneira	Abertura da peneira [mm]	Massa retida [g]	% Retida em cada peneira	% Retido acumulado	% passa na peneira
289,00	1	0,425	0,00	0,00	0,00	0,00
265,00	2	0,3	0,00	0,00	0,00	0,00
263,00	3	0,212	70,00	35,18	35,18	-35,18
261,00	4	0,15	77,00	38,69	73,87	-73,87
252,00	5	0,106	35,00	17,59	91,46	-91,46
244,00	6	0,075	12,00	6,03	97,49	-97,49
339,00	fundo		5,00	2,51	100,00	-100,00

Fonte: Do autor (2023).

Ao observar os resultados da areia já utilizada no processo, observa-se uma redução de tamanho nas partículas em comparação à areia nova mostrada na Tab. 2. Isso se deve, provavelmente, pela abrasão sofrida no processo de ensaio.

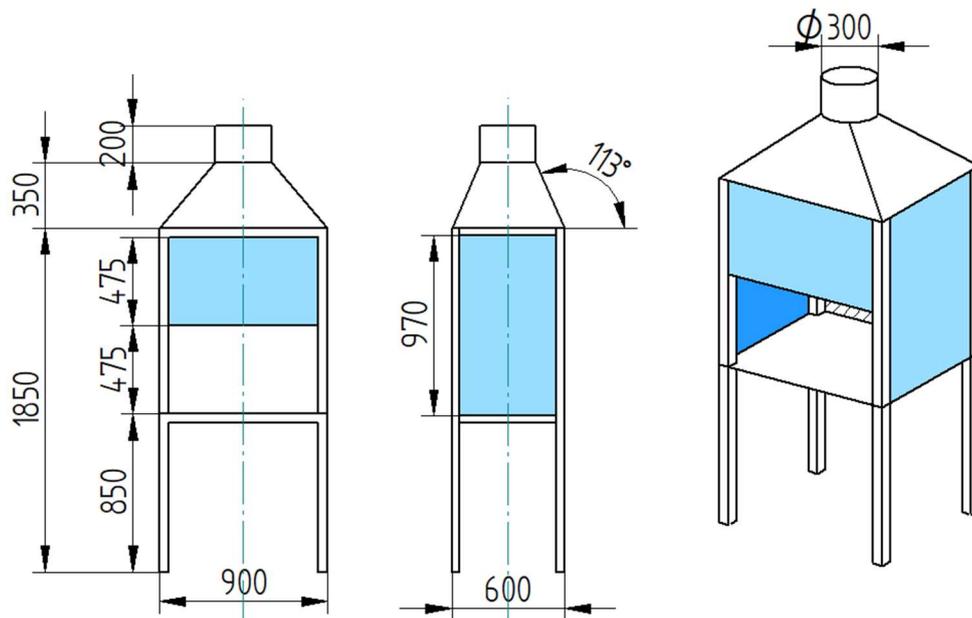
4.2 DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES

Ao obter uma base de dados começa-se o dimensionamento dos componentes e acessórios para os sistemas de ventilação.

4.2.1 Cabine de preparação

A fim de melhorar o processo para o teste do tribômetro foi projetada a cabine de preparação tendo uma dimensão de 1,8 metros de altura por 0,9 metros de largura por 0,6 metros de profundidade, a estrutura terá base de tubo quadrado de 30x30x1,5mm.

Figura 9: Esboço cabine de preparação (cotas em milímetros).



Fonte: Do Autor (2023).

As laterais em policarbonato transparente ampliarão a entrada de luz, na parte da frente tendo uma abertura de 0,5 x 0,9m facilitando o processo de manuseio da areia e bandejas, ao fundo é fechada com chapa de aço, contendo também um sistema de VLE para retirada do particulado suspenso no manuseio do processo de preparação.

4.2.2 Coletores

Com o propósito de explorar a melhor forma de introduzir o VLE no tribômetro é escolhido o coletor de boca reta com flange para fazer a fixação na estrutura da tribômetro. Com as Eq. 3, 4 e 5. encontramos a perda de carga do coletor do tribômetro. Para a bancada o coletor a forma do coletor age com uma transição, desta forma é utilizada a tabela de coeficiente de entrada e perdas de entrada (CLEZAR, 2009) para obter dados de entrada na projeção do coletor.

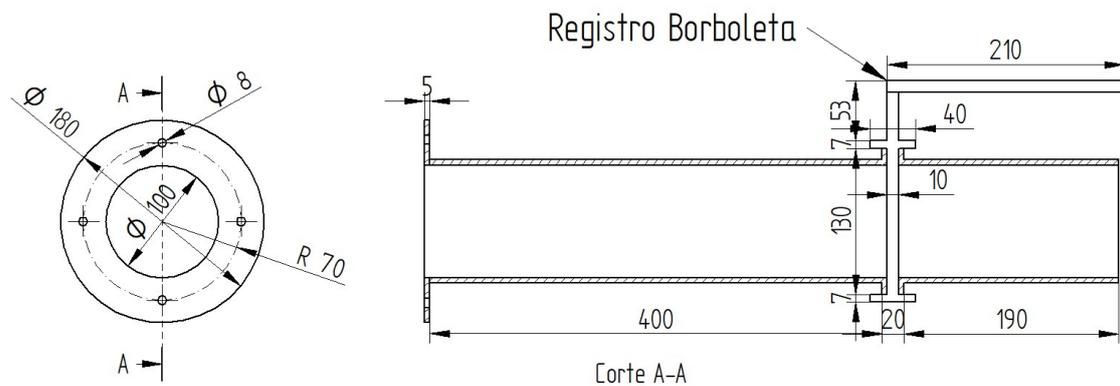
Tabela 4: Tabela de coeficiente de entrada dos captores

Sistema de ventilação	Coeficiente de perda de carga	Distância do ponto de captura	Vazão necessária Eq.3	Perda de carga através do captor Eq.4	Pressão estática a jusante do captor Eq.5
	[-]	X [m]	\dot{V}_{cap} [m ³ /s]	ΔP_{cap} [Pa]	P_e [Pa]
VLE tribômetro	0,45	0,1	0,02	0,81	2,48
VLE cabine	0,15	0,4	1,67	3,4	16,40

Fonte: Do Autor (2023).

Os coletores foram dimensionados de acordo com as limitações do projeto, obtendo uma baixa perda de carga.

Figura 10: ilustração do captor VLE tribômetro (cotas em milímetros).



Fonte: Do Autor (2023).

O coletor escolhido para a VLE do tribômetro é boca reta com flange (fig. 10), pois é fixado diretamente na carcaça do tribômetro, distante do ponto de ensaio, evitando o

4.2.3 Dutos

Para calcular a perda de carga dos dutos da VLE da cabine de preparação (Tab. 5) utilizou-se a eq.6 para encontrar a velocidade do ar, a Eq. 7 para encontrar a perda de carga da tubulação e acessórios do sistema, a Eq. 8 para encontrar o comprimento equivalente. Os resultados foram expressos nas tabelas 5 e 6:

Tabela 5: Perda de carga e comprimento equivalente da VLE da cabine de preparação.

Descrição	Quantidade	Coefficiente de perda do acessório	Comprimento equivalente	Perda de carga
		K	Leq[m]	Δp [Pa]
Retas	-	-	2,2	2,9
cabine	1	0,15	2,59	3,4
Transição	1	0,65	11,21	14,7
Curvas	3	0,405	6,99	9,1
Registro borboleta	1	0,1	1,73	2,3
Total	-	-	24,71	32,30

Fonte: Do Autor (2023).

Para os cálculos da perda de carga do VLE do tribômetro (Tab. 6) seguiu o mesmo processo de equações utilizado para os cálculos da cabine de preparação.

Tabela 6: Perda de carga e comprimento equivalente da VLE do Tribômetro.

Descrição	Quantidade	Coefficiente de perda do acessório	Comprimento equivalente	Perda de carga
		K	Leq [m]	Δp [Pa]
Duto retos	5,39	-	5,39	7,76
Curvas	8	1,3	10,4	14,98
Ciclone	1	4,2	2,8	4,03
Captor	1	0,45	0,3	0,81
Registro borboleta	1	0,15	0,1	0,14
Total	-	-	18,99	27,75

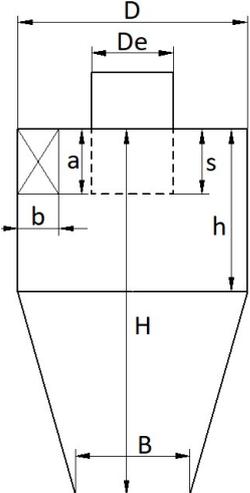
Fonte: Do Autor (2023).

Mesmo contendo maior número de curvas no sistema a perda de carga resultou em um valor baixo pelas medidas tomadas como a de utilizar o raio da curva duas vezes o diâmetro da tubulação.

4.2.4 Ciclone

As dimensões resultantes nos cálculos analíticos de ciclone da literatura de SOUZA (2022) não foram viáveis ao projeto, desta forma optou-se por realizar uma redução na escala. Esse escalonamento trouxe uma melhora na eficiência do ciclone em 4 % a 6 % respectivamente ao escalamento 1:3 e 1:4.

Tabela 7: Diagrama, eficiência e dimensionamento do ciclone.

	Escala		1:1	1:3	1:4	SF100
	Eficiência	%	91%	95%	96%	96%
	Diâmetro externo	D [m]	0,88	0,29	0,22	0,35
	Altura entrada do ar	a [m]	0,44	0,14	0,11	0,09
	Largura da entrada do ar	b [m]	0,17	0,05	0,04	0,09
	Altura do cilindro de vórtex oposto	S [m]	0,44	0,14	0,11	0,30
	Diâmetro do cilindro do vórtex oposto	De [m]	0,44	0,14	0,11	0,10
	Altura do cilindro externo	h [m]	1,33	0,44	0,33	0,30
	Altura total	H [m]	3,54	1,18	0,88	0,60
	diâmetro da saída do rejeito	B [m]	0,33	0,111	0,08	0,15

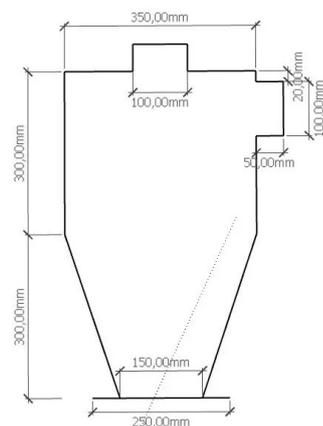
Fonte: Do Autor (2023).

Como um dos objetivos do projeto é ter peças comerciais para manter um custo baixo, obteve-se a opção de comprar um ciclone pronto, atendendo as características dos processos.

Figura 11 – (a) Ciclone vigo SF100. (b) Dimensões do ciclone vigo SF100.



(a)



(b)

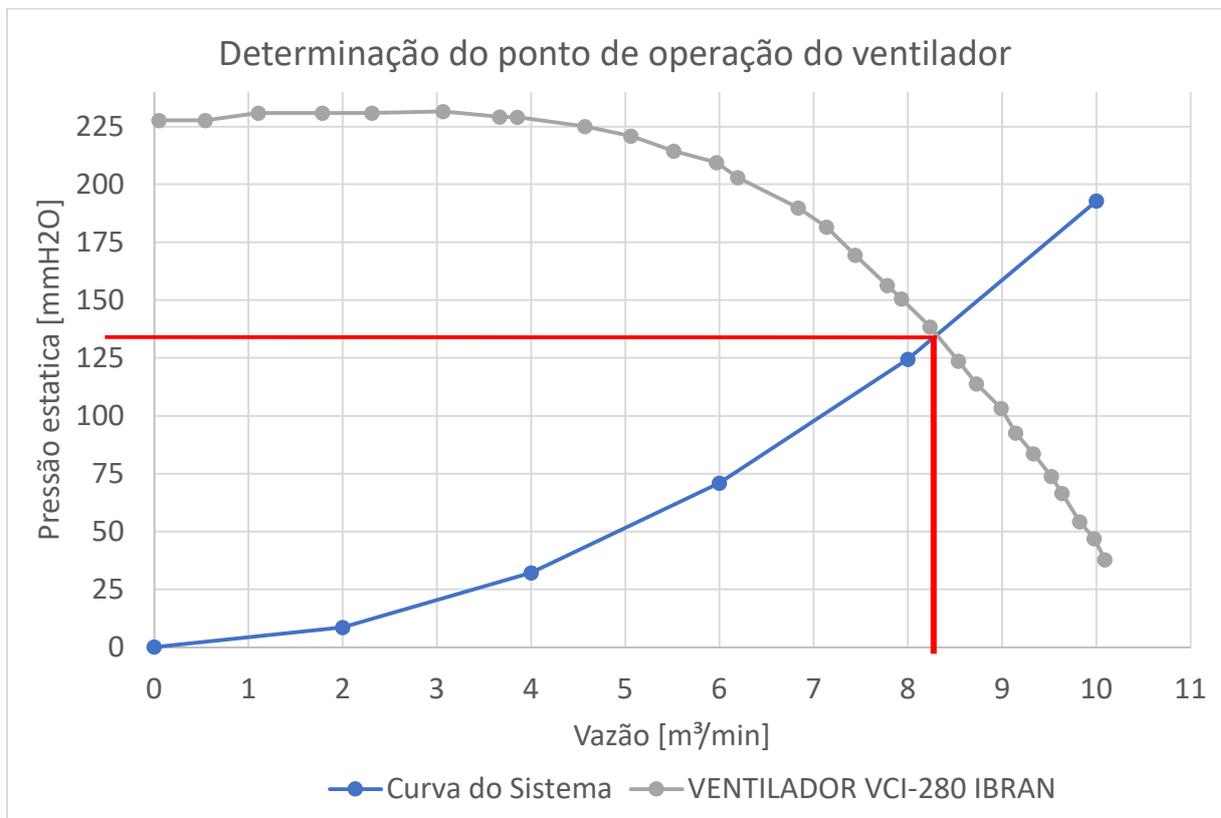
Fonte: VIGU ferragens (2021).

O ciclone comercial ideal para este projeto, é o VIGO SF100 (Fig. 11a), utilizando as dimensões fornecida pelo fabricante (Fig. 11b), foi introduzido na literatura de SOUSA, 2022 obtendo uma eficiência de 96% (Tab. 7). Assim realizando a coleta do poluente.

4.2.5 Ventilador

Trabalhando com materiais comerciais encontrou-se o ventilador do tribômetro. O ventilador escolhido para essa VLE foi o IBRAM VCI-280 através da vazão e da pressão estática em relação a perda de carga é encontrado o ponto de operação do ventilador indicado pela figura 12.

Figura 12: Gráfico de determinação do ponto de operação do ventilador do tribômetro.



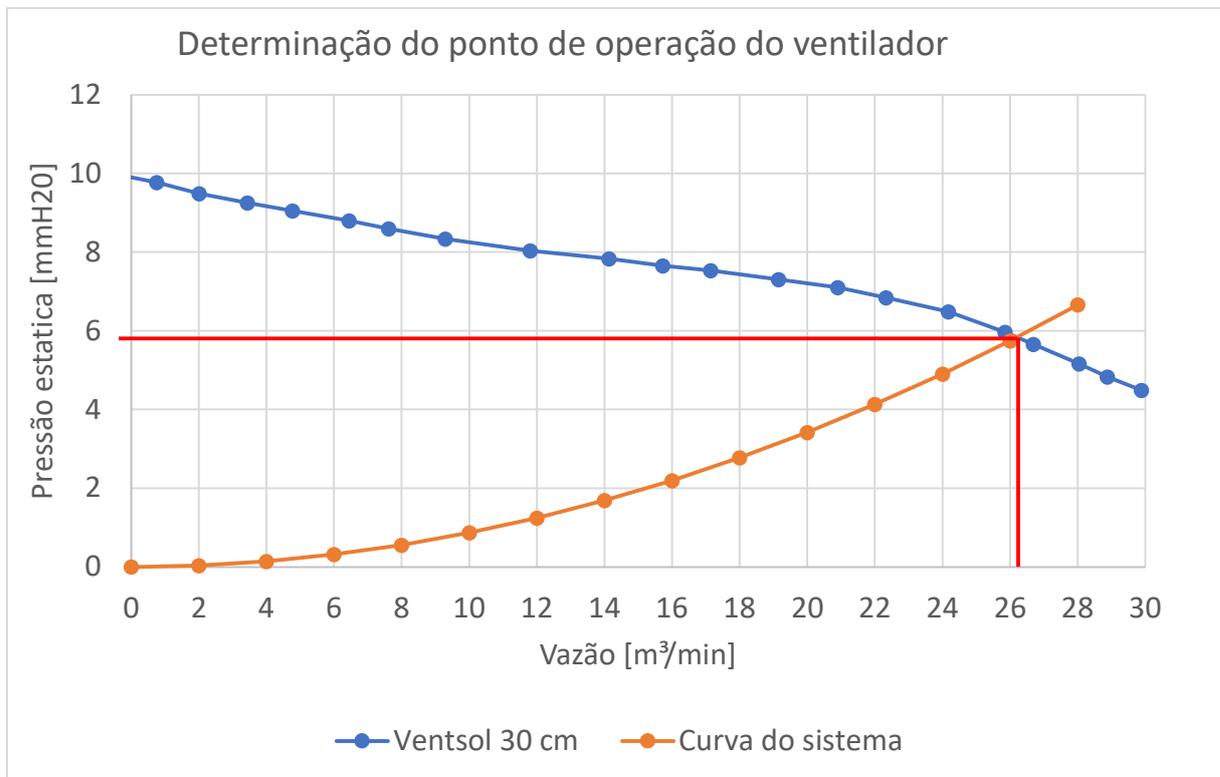
Fonte: Do Autor (2023).

”1

O ponto de operação para o VLE do tribômetro ficou com uma vazão em relação a perda de carga do sistema em $8,3\text{m}^3/\text{min}$ e uma pressão estática de coluna de água 137mm , tornando um bom ventilador para esse equipamento. Ressaltando que um ventilador centrífugo prioriza uma maior pressão estática em relação a vazão de ar.

O ventilador escolhido para o sistema de VLE da cabine de preparação é o Ventisol 30 cm, também se utilizou a perda de carga através da vazão ao longo da tubulação e a pressão estática do ventilador para encontrar o ponto de operação, mostrado na Fig. 13.

Figura 13: Gráfico de determinação do ponto de operação do ventilador da cabine de preparação.



Fonte: Do Autor (2023).

O ponto de operação para o VLE da cabine de preparação ficou com uma vazão em relação a perda de carga do sistema em $26,1 \text{ m}^3/\text{min}$ e uma pressão estática de coluna de água 6 mm . Ressaltando que um ventilador axial prioriza uma maior vazão de ar em relação a pressão estática.

4.2.6 Ventilação geral diluidora

Para o cálculo do laboratório necessita da quantidade de pessoas que trabalham nele. Ao realizar o teste no tribômetro de modo geral são 2 pessoas. Aplicando na Eq. 01 se obtém o volume de $26 \text{ m}^3/\text{h}$ de ar que necessita ser trocado por hora. Aplica-se a Eq. 2 para saber a quantidade de trocas de ar necessárias, para um laboratório a troca é de 4 a 6 vezes o volume do ambiente, adotei o valor máximo de troca porque o laboratório é pequeno e quando em operação fica resíduos de poluente no ar.

Cálculo do volume de troca por pessoas no ambiente por hora

$$\dot{V}_e = \dot{V}_p \cdot (N^{\circ} \text{ de pessoas})$$

$$\dot{V}_e = 13 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 2$$

$$\dot{V}_e = 26 \text{ m}^3/\text{h}$$

Cálculo do volume de troca de ar do ambiente por hora

$$\dot{V}_e = N \cdot V$$

$$\dot{V}_e = 6 \cdot 44,1$$

$$\dot{V}_e = 264,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

O ventilador escolhido para esse sistema de ventilação geral é Exaustor 100mm Sicflux Sonora 11, tem uma vazão de ar de 300m³/h e atende as necessidades de troca de ar do ambiente.

4.2.6 Layout do Laboratório com Sistema de Ventilação

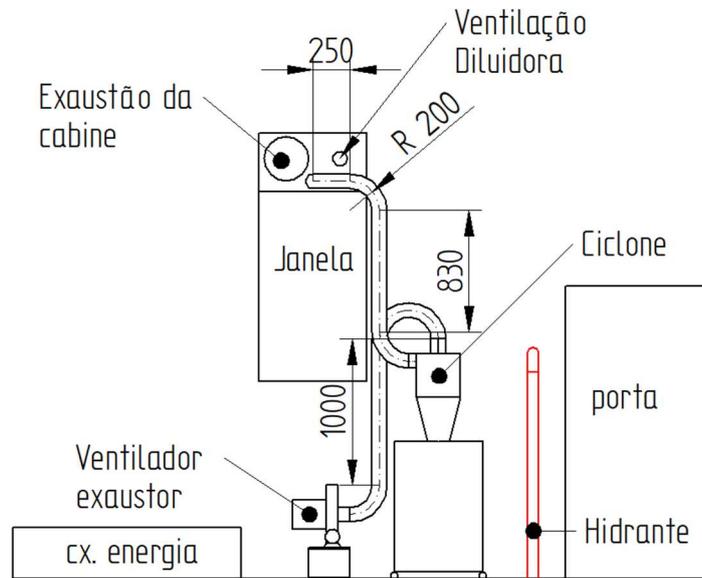
Trazendo uma visão melhor do projeto, os layouts representados nas Fig. 15, 16, 17 e 18 dará uma perspectiva da montagem final dos sistemas de ventilação instalados no laboratório.

Observações:

- Todas as cotas estão em milímetros [mm]

O layout da parte exterior do laboratório representado pela Fig.15, mostra suas restrições como o cano do hidrante e uma caixa de energia. Definindo melhor modelo de montagem do ciclone e do ventilador.

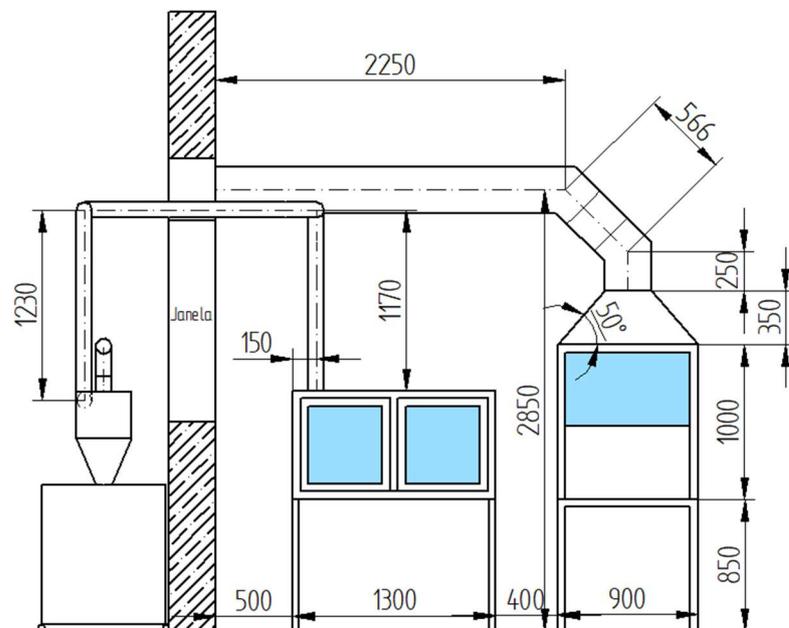
Figura 15: Layout da parte exterior da sala.



Fonte: Do Autor (2023).

Ampliando a visão do projeto com essa visão em corte da parede oeste, contemplando a parte do interior e exterior do projeto, com suas dimensões.

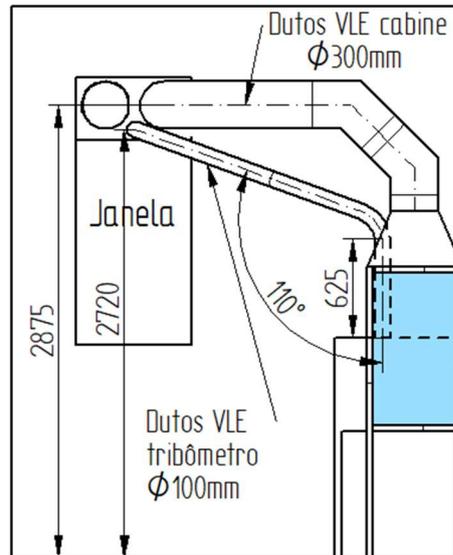
Figura 16: Layout parede oeste com corte da parte externa e interna.



Fonte: Do Autor (2023).

Com visualização da parede sul (Fig. 17), mostra a altura dos dutos em relação ao piso do laboratório e o diâmetro da tubulação.

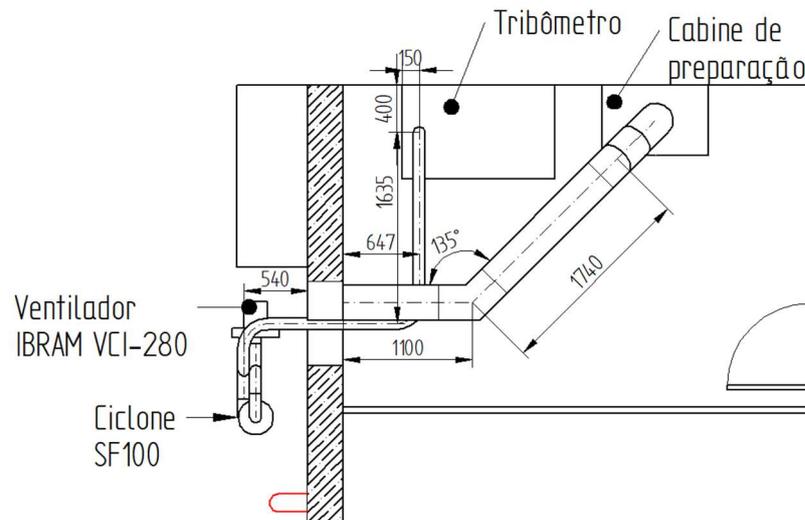
Figura 17: Layout parede sul



Fonte: Do Autor (2023).

Um posto de vista diferente é a vista superior representado pela Fig.18, ela abrange a área interna e a externa mostrando toda a área ocupada pelos acessórios de cada sistema instalado.

Figura 18: Layout Vista superior do laboratório.



Fonte: Do Autor (2023).



A figuras mencionadas é uma pré-visualização de como ficará após a instalação dos sistemas de ventilação no interior e exterior do laboratório.

4.3.1 Orçamento

Para a realização do orçamento foi entrado em contato com diversos fornecedores e prestadores de serviço. O melhor preço sugerido dos equipamentos e serviços na Tab. 8.

Tabela 8: orçamento para fabricação dos sistemas de ventilação do laboratório de tribologia

Descrição do serviço	Valor
Cabine com a cúpula e fundo metálico, estrutura em tubo 30x30x1,55mm e fechamento em acrílico transparente espessura 5,0mm. Tubulação normal para chaminé, em chapa galvanizada, inclusive a da janela. Com pintura eletroestática. Captor de ferro para o tribômetro	R\$ 7.840,00
Ventilador exaustor ind. Marca Ventisol 30cm 220v	R\$ 259,00
Ciclone sf100 em ferro + Tambor de 200 litros+ frete	R\$ 870,00
Exaustor 100mm Sicflux Sonora 11 Super Silencioso	R\$ 179,35
Ventilador 1cv 2p	R\$ 0,00
Saldo para imprevisto*	R\$ 500,00
Total	R\$ 9.648,35

Fonte: Do Autor (2023).

5 CONCLUSÃO

O estudo abordou e alcançou com sucesso seus objetivos específicos, fornecendo uma base sólida para o projeto e implementação de um sistema de ventilação eficiente em um ambiente de laboratório. Inicialmente, foi definida a velocidade de captura necessária de 15 m/s para a remoção efetiva dos particulados da cabine de preparos e da ventilação local exaustora do tribômetro. Foram estabelecidos os parâmetros adequados para garantir a eficiência na remoção e a manutenção de um ambiente seguro e saudável.

Em seguida, foram modeladas matematicamente as perdas de carga causadas pelos dutos e acessórios do sistema de ventilação, permitindo uma estimativa precisa das perdas de pressão ao longo do sistema, totalizando os valores de 27,75 Pa para a VLE do tribômetro e 32,30 Pa para VLE da cabine de preparação.

Outro objetivo alcançado foi a definição do ventilador e do ponto de operação do sistema, considerando critérios de pressão estática e vazão, alcançando uma vazão de 8,3 m³/min com uma pressão estática de 135 mmh₂O com uma velocidade de 16,92 m/s para o VLE do tribômetro, já a cabine de preparação chegaram a 26,1m³/min de vazão de ar com uma pressão estática de 6 mmh₂O. Além disso, foi definida a vazão necessária de 264,5 m³/h para o laboratório através da ventilação geral diluidora, o ventilador escolhido atinge 300 m³/h, garantindo a diluição adequada dos particulados.

Por fim, foi realizada a modelagem geométrica completa do sistema de ventilação, possibilitando sua viabilização de orçamentos para a aplicação prática. Os resultados obtidos são relevantes para a segurança e o bem-estar dos profissionais envolvidos.

REFERÊNCIAS

ASHRAE. **Ashrae Handbook: Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications**. Atlanta: Amer Society Of Heating, 1995.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G65: Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus**. West Conshohocken: Astm International, 2010.

BHARGAVA, Akshey. Integrated Design of Cyclone and Multi-Cones for Controlling Dust Emissions. **International Journal Of Scientific Development And Research (Ijsdr)**. Hyderabad, p. 6-14. abr. 2016.

CLEZAR, Carlos Alfredo; NOGUEIRA, Antonio Carlos Ribeiro. **Ventilação industrial**. 2 ed. rev. Florianópolis: UFSC, 2009. 240 p. ISBN 9788532803993.

COSTA, Ennio Cruz da. **Ventilação**. São Paulo: Blucher, 2005.

GIODA, Adriana; AQUINO NETO, Francisco Radler de. Considerações sobre estudos de ambientes industriais e não industriais no Brasil. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 19, p. 1389-1397, out. 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/7RJnMJHJkzD6FZyhpNdR8jC/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 27 abr. 2023.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Ventilação Industrial e Controle Da Poluição**. Rio de Janeiro: LTC, 1990.

Luz, Gelson. **Peso específico da Areia**. Materiais por Gelson Luz, [s. l], 2018. Disponível em: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2018/09/peso-especifico-da-areia.html>. Acesso em: 26 de JUNHO de 2023.

Luz, Gelson. **Peso Específico do Ar** (Várias temperaturas, unidades). Materiais por Gelson Luz, [s. l], 2018. Disponível em: 2022:



<https://www.materiais.gelsonluz.com/2018/09/peso-especifico-do-ar.html>. Acesso em: 26 de JUNHO de 2023.

Ministério do Trabalho e Previdência do Brasil (MTP). **NR 15**: Atividades E Operações Insalubres. Brasília: N/A, 2022.

NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA. **NBR 7214**: Areia Normal para Ensaio de Cimento (Especificação). Rio de Janeiro: Abnt, 2015.

Vigo ferragens: Coletor De Pó Ciclone Separador 100mm Em Ferro (mercadoshops.com.br). Acesso em: 26 de JUNHO de 2023.