

REUTILIZAÇÃO DE DESCARGA DE EXAUSTÃO DE COZINHAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

REUSE OF KITCHEN EXHAUST DISCHARGE FOR ELECTRICITY GENERATION

DE SALES, Luis Fernando da Silva Marculino¹
QUIRINO, Jonatas Motta²

Resumo: Atualmente existem diversos motivos que apontam a necessidade de se gerar uma energia eficaz e mais inteligente. O principal deles é a preservação ambiental, utilizando de meios naturais como fonte de energia, como por exemplo a energia eólica, que através da força do vento é capaz de mover aerogeradores para produção de energia. Porém, o vento é um fluxo de ar não constante, sendo necessários pesquisar lugares onde há mais ocorrência de ventania para instalar os aerogeradores. Sendo assim, é possível que com uma velocidade constante de ar gere energia de forma constante também, para isso, existem diversos tipos de instalações de ventilações industriais e comerciais que conduzem de forma constante grandes volumes de ar através de sistemas de dutos, com características baseados em normas. Dentro os vários tipos de sistema de ventilação, o de exaustão de cozinha é muito comum nas grandes cidades, devido a alta demanda de restaurantes de rua ou localizados dentro de um shopping. Basicamente, o sistema de ventilação e cozinha é composto de coifas, dutos de chapa preta, lavadores de gases, ventilador centrífugo e sistema de ar exterior. Logo, assim como foi comprovado a geração de energia através dos ventos, por energia eólica, se o ar exaurido desses sistemas de ventilação de cozinha, através dos ventiladores centrífugos, for reaproveitado pode-se supor a possibilidade de geração de energia, pois a velocidade nas descargas de ar desses sistemas é constante. Neste caso, foi comprovado, a geração de energia através de um pequeno protótipo, simulando a relação de velocidade de ar com a tensão gerada. Através dos resultados foi possível determinar uma linearidade sendo possível a comparação com um projeto referência de restaurante de um shopping.

Palavras-chave: Exaustão; Cozinha; Reaproveitamento, Energia.

Abstract: Currently there are several reasons that point to the need to generate efficient and smarter energy. The main one is environmental preservation, using natural means as a source of energy, such as wind energy, which through the force of the wind is capable of moving wind turbines for energy production. However, wind is a non-constant flow of air, and it is necessary to research places where there is more wind to install wind turbines. Therefore, it is possible that with a constant air velocity it generates energy in a constant way, for this, there are several types of industrial and commercial ventilation installations that constantly drive large volumes of air through duct systems, with characteristics based on in norms. Among the various types of ventilation systems, kitchen exhaust ventilation is very common in large cities, due to the high demand for restaurants on the street or located inside a mall. Basically, the ventilation and kitchen system is made up of hoods, black plate ducts, gas scrubbers, centrifugal fans and an outdoor air system. Therefore, just as the generation of energy through the wind, by wind energy, has been proven, if the exhausted air from these kitchen ventilation systems, through centrifugal fans, is reused, one can assume the possibility of generating energy, since the speed in the air discharges of these systems is constant. In this case, it was proved, the generation of energy through a small prototype, simulating the relation of air velocity with the voltage generated. Through the results, it was possible to determine a linearity, being possible to compare it with a reference project of a restaurant in a mall.

Keywords: Exhaustion; Kitchen; Energy; Reuse.

¹ Graduando em Engenharia Mecânica – Universidade Santa Úrsula – luis.silva@souusu.com.br

² Doutor em Engenharia Mecânica – Universidade Santa Úrsula – jonatas.quirino@usu.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Com os avanços tecnológicos nos estudos de geração de energia renovável, surgiram vários tipos de sistemas com fontes limpas e renováveis, dentre eles destaca -se a energia eólica que, no Brasil, vem demonstrando cada vez mais ser promissor e se consolidando como referência de fonte energética (DE VECCHI, 2019). Além disso, o consumo de energia é uma das características principais de desenvolvimento econômico e de qualidade de vida numa sociedade (ANEEL,2008).

A Energia Eólica é uma energia renovável que tem como sua fonte o vento, é gerada a partir da energia cinética do vento que movimenta as pás e ativa os aerogeradores (turbinas). Considerada como a segunda fonte mais utilizada no Brasil, representa apenas 9,1% do total de produção conforme Dal Ponte (2017), a obtenção dessa energia pode ser considerada totalmente renovável, limpa e sem poluentes.

A obtenção de energia é através de aerogeradores que devem ser instalados em regiões mais altas para captar a maior quantidade de vento possível. Esse movimento gera energia mecânica, a qual é transformada em energia elétrica por meio da indução eletromagnética que ocorre em um gerador. Os parques eólicos, como é chamado um conjunto de aerogeradores, podem ser instalados tanto em terra (onshore) quanto no mar (offshore). Em 2013, o Brasil encontrava-se na 13ª posição no ranking dos países com maior produção de energia eólica, tendo obtido uma capacidade de 1000 MW em 2011, suficiente para abastecer 400 mil habitações. (REIS,2022).

Além disso, outro avanço tecnológico a ser tratado, é a utilização de sistemas de exaustão mecânicas para extrair um volume de ar de um ambiente e descarrega-la numa área externa (MACINTYRE,1990). Os sistemas de exaustão são muito utilizados em ambientes industriais e comerciais, sendo utilizado não somente para criar um ambiente limpo de gases nocivos e tornando ambientes confortáveis, como sendo um sistema de segurança que possuem normas que determinam suas características.

O sistema de exaustão de cozinha industrial é um desses exemplos de sistemas de exaustão, instalados em muitas cozinhas profissionais e na maioria das vezes é um sistema por duto, ou seja, utiliza exaustor com dutos em chapas para retirar uma quantidade de volume de ar. Em shoppings encontram -se muitos desses exemplos de exaustão de cozinha. Em diversos restaurantes, além disso a descarga de ar também é feita por dutos que levam o ar extraído para um ambiente externo e longe de pessoas.

Logo, considerando que o ar descarregado no ambiente externo passou por um

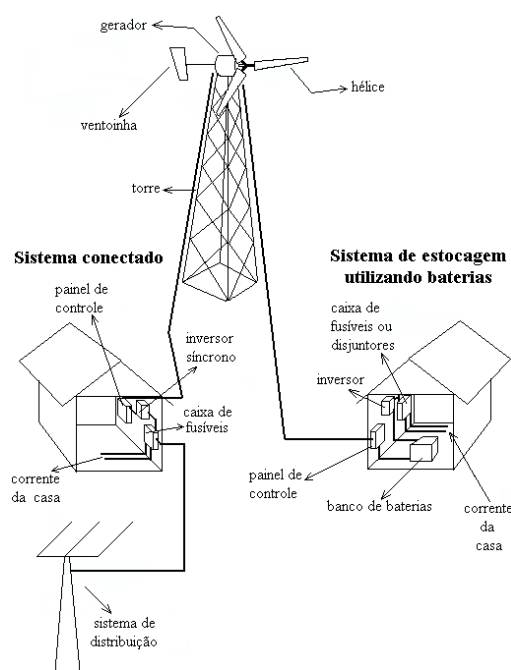
tratamento de lavagem, ou seja, por equipamento lavador de gases, pode-se considerar a possibilidade de utilizar esse volume de ar e de velocidade constante para geração de energia eólica por dutos.

Todavia, é evidente que os sistemas de exaustão de cozinha industrial, não alcançam essa quantidade industrial e geração de energia. O reaproveitamento de ar de descargas de sistemas de exaustão por dutos será capaz de produzir energia, por exemplo, para geração de energia para lâmpadas dentro de um restaurante.

2 ENERGIA EÓLICA

O precursor de turbinas eólicas de geração de energia elétrica foi o moinho de vento eixo horizontal, utilizado aproximadamente no ano 900 dC na Pérsia, Tibet e China (ACKERMANN, 2012). A difusão da tecnologia do moinho mecânico do Oriente Médio para a Europa ocorreu entre 1100 e 1300, seguido do desenvolvimento da tecnologia na Europa. Durante o século XIX milhares de moinhos de vento mecânicos com rotores de 25 metros de diâmetro foram operados na França, Alemanha e Holanda. Nessa época, 90% da energia mecânica utilizada na indústria era baseada em energia eólica (DISMUKES, 2007).

Figura 1 - Esquema de distribuição de energia elétrica através de energia eólica



Fonte: Ferreira e Leite (2021)

Atualmente existem em vários países, incluindo o Brasil, os Parques Eólicos. Esses parques são áreas destinadas, terrestres ou marítimas, para instalação de diversos aerogeradores com objetivo de converter energia eólica em energia elétrica. No Brasil, um dos maiores centros de geração de energia eólica, é o Parque Eólico de Osório, localizado no Rio grande do Sul formado por nove parques de energia eólica com 150 aerogeradores de 2 MW. A capacidade total instalada é, portanto, 300 MW, sendo que a produção efetiva média é aproximadamente 51 MW (suficiente para uma cidade de 240 mil habitantes).

Figura 2 - Complexo Eólico de Osório – Rio Grande do Sul - Brasil



Fonte: Preview (2018)

3 SISTEMA DE EXAUSTÃO DE COZINHA

De acordo com Clezar e Nogueira (2009) a ventilação industrial não tem como objetivo apenas atender a condições favoráveis para aqueles que trabalham no interior das fábricas ou outros ambientes que demandam exaustão, tem objetivo também impedir a emissão de poluentes na atmosfera.

O sistema de ventilação são um conjunto de equipamento que realiza a remoção por descompressão de partículas e gases presentes em um local sem precisar despressurizá-lo, ou seja, o sistema de ar industrial capta e remove o ar com impurezas do ambiente por meio de um agrupamento de equipamentos específicos. São instalados no local com a função de retirar resíduos como poeira e fumaça, impedindo que se espalhem por todo o espaço. Um projeto de sistema de exaustão para indústria é composto por um exaustor, que irá captar, filtrar e conduzir os vapores e gases da instalação para a atmosfera, e um sistema de insuflamento de ar externo, que fará a reposição do ar retirado. O exaustor também pode ser usado para auxiliar na refrigeração do ambiente, funcionando como sistemas de ar condicionado em espaços com

pouca ou nenhuma ventilação, retirando do local o ar quente e contaminado e substituindo por um mais fresco e filtrado.

O sistema de ventilação para cozinhas profissionais tem como função remover e tratar os vapores e gases decorrentes do processo de cocção dos alimentos, mantendo o ambiente da cozinha livre de fumaça e odores, como também, deverá proporcionar renovação de ar constante mantendo a temperatura interna dentro dos limites de conforto térmico desejáveis num ambiente de trabalho com concentração de pessoas, no caso, funcionários, de acordo com a norma NBR 14518 (ABNT, 2019), que regulamenta a instalação de sistemas de ventilação para cozinhas profissionais (AEROVENT, 2017).

A necessidade de um projeto de ventilação de cozinhas, surge pelo fato de cada vez mais surgirem novos restaurantes, sejam restaurantes os localizado em rua ou restaurantes dentro uma praça de alimentação de um shopping. Geralmente é mais comum de encontrar polos gastronômicos em grandes centros, devido à alta demanda de pessoas nesses lugares.

Nos restaurantes, as cozinhas profissionais possuem diversos elementos de cocção, sejam fogões industriais ou fornos combinados, algumas cozinhas, devido a característica do tipo de comida possuem uma preparação diferenciada com churrasqueiras ou fornos a lenha. Independente de qual tipo de sistema, sendo uma cozinha profissional, esses restaurantes precisam seguir os parâmetros definidos pela norma ABNT NBR 14518/2019 – Sistema de Ventilação para Cozinhas Industriais. Esses parâmetros apresentados possuem a finalidade de exaurir calor, cheiro e partículas de gordura em forma de vapor seja e direcionar este volume de ar para um ambiente externo, dessa forma mantendo um conforto e segurança dentro das cozinhas.

Cada cozinha, possui sua própria característica, desde layout dos equipamentos até o tipo de cocção que são utilizados, tendo esses dois pontos definidos, pode ser elaborar um projeto de sistema de exaustão de acordo com as necessidades do restaurante.

Os sistemas de exaustão de cozinhas industriais são sistemas compostos basicamente pelos seguintes equipamentos: ventilador centrifugo, dutos de chapa preta, lavador de gases (se houver necessidade), coifas, registros corta-fogo, portas de inspeção e sistema de ar exterior. Com todos esses componentes o sistema de exaustão de cozinha industrial é possível exaurir a fumaça, gordura em forma de vapor e calor produzido pelos elementos de cocção (fogão, chapa, fritadeira, etc), ou seja, o ar produzido entra na coifa, percorre por dutos de chapa preta (devido a altas temperaturas do fluxo de ar), esse ar, é limpo dentro de um lavador de gases e por fim, o exaustor centrifugo de simples aspiração (com porta de inspeção e bujão de dreno para limpeza) descarrega esse ar também através de dutos de chapa preta para um ambiente externo.

O ventilador centrífugo é determinado através da vazão de ar que será exaurido, esta vazão é calculado por fórmulas apresentados em normas da ABNT NBR 14518/2019.

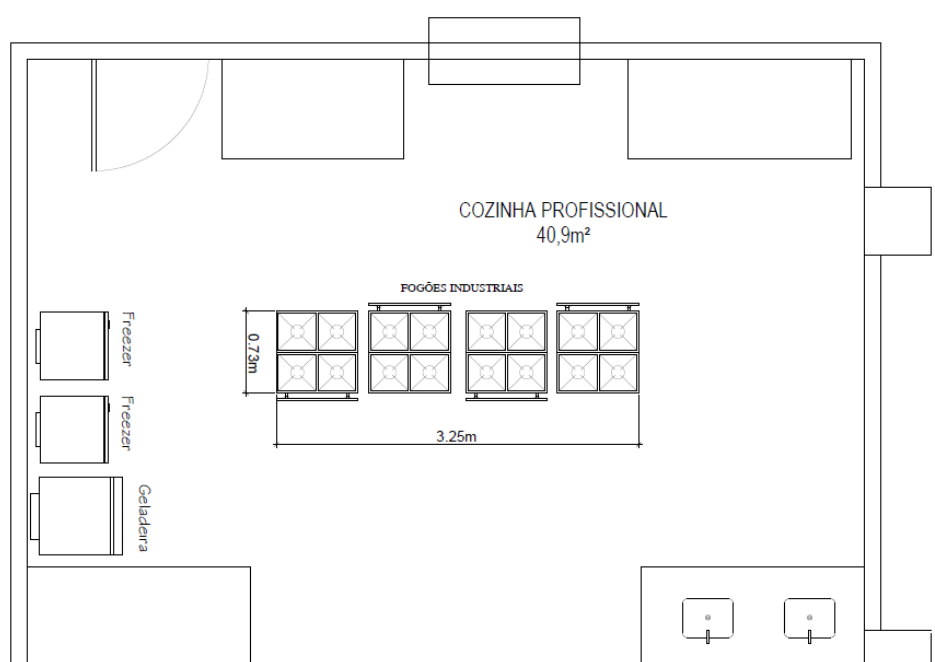
Esse tipo de sistema é muito comum em restaurantes, sejam de rua ou de shoppings. É inegável o fato de o sistema de exaustão de cozinha industrial ser, atualmente, um item de segurança dentro das cozinhas, sendo fiscalizado por órgãos de aprovações municipais e estaduais.

3.1 Classificação do Sistema

É fundamental que antes de se iniciar um cálculo de vazão de exaustão de cozinha, definir antes, a classificação dos elementos de cocção (Leve, Moderado, Severo ou combustível Sólido) e a posição do elemento de cocção (junto a uma parede, ou duas paredes, etc). A classificação dos elementos de cocção é apresentada na NBR ABNT 14518/2019, sendo discriminado cada elemento em suas devidas classificações.

A posição dos elementos de cocção no projeto deverá ser fornecida pelo cliente e/ou arquiteto(a) responsável projetista responsável deverá receber uma planta de layout com a indicação dos elementos de cocção e com a descrição do tipo de cocção, além disso se possível, deverá estar cotado a largura e comprimento da área com esses elementos para que seja possível determinar as dimensões das coifas.

Figura 3 - Projeto do layout de cozinha



Fonte: Próprio Autor

Após ter a informação dos tipos de elementos de cocção e suas devidas localizações dentro uma cozinha, é possível determinar a sua classificação conforme tabela abaixo (ABNT 14518, 2019)

Tabela 1 - Classificação dos elementos de cocção

Fonte: ABNT NBR 14518/2019

3.2 Coifas

Os captores de exaustão ou coifas, são elementos que atendem toda área de cocção dentro de uma cozinha. São dimensionadas pela ABNT NBR 14518/2019 em função do comprimento e largura dos elementos de cocção, ou seja, a norma estabelece padrões mínimos de velocidade na face pela área aberta do captor, de maneira a garantir a captação adequada dos gases de exaustão, e apresenta as equações para o dimensionamento dos diversos tipos de captores (CHAVES, 2012).

Após a definição da disposição dos elementos de cocção na cozinha pode ser fazer o dimensionamento dos captores, dessa forma estabelecendo padrões mínimos de velocidade de face pela área aberta do captor, de maneira a garantir a captação adequada dos poluentes, e apresenta as equações para o dimensionamento dos diversos tipos de captores (CHAVES, 2012)

De acordo com a NBR 14518 (ABNT, 2019), o aspecto construtivo de uma coifa deverá ser de chapa de aço inoxidável com no mínimo 0,94mm de espessura número 20 MSG ou outro material de mesma equivalência de higiene e resistência mecânica ao fogo e á corrosão.

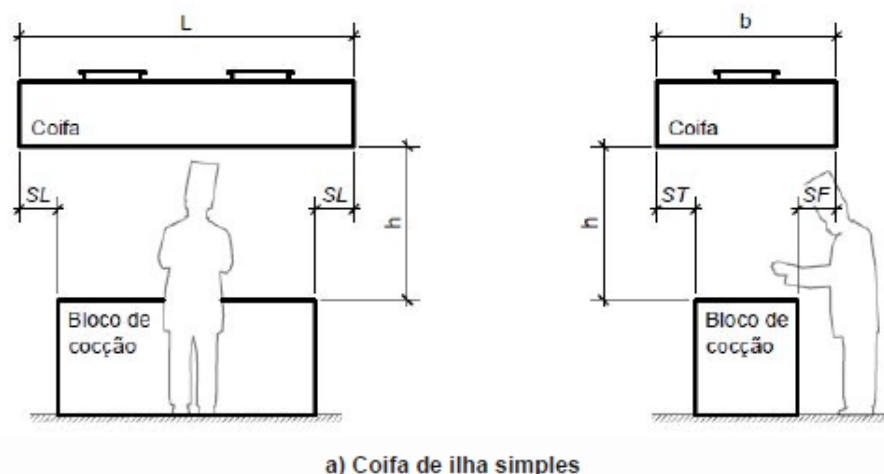
Figura 4 - Coifa em Ilha com Filtros Inercias



Fonte: SOLUÇÕES INDUSTRIAIS (2022)

Alguns captadores possuem diferentes características que podem influenciar na quantidade de elementos no sistema de exaustão, atualmente as mais utilizadas são (AEROVENT, 2017) Coifa Central ou de Ilha (utilizadas em áreas de cocção central), Coifa de Parede (usadas em cocção encostadas em paredes com ou sem fechamento nas laterais, Coifa Lavadora (podendo ser utilizada conforme as duas anteriores porem com um sistema próprio de lavagem de gases e Coifa com Insuflamento acoplado (sendo utilizadas conforme a central ou de parede com o insuflamento de ar exterior acoplado em suas extremidades).

Figura 5 - Representação da coifa central para cálculo



Fonte: ABNT NBR 14518/2019

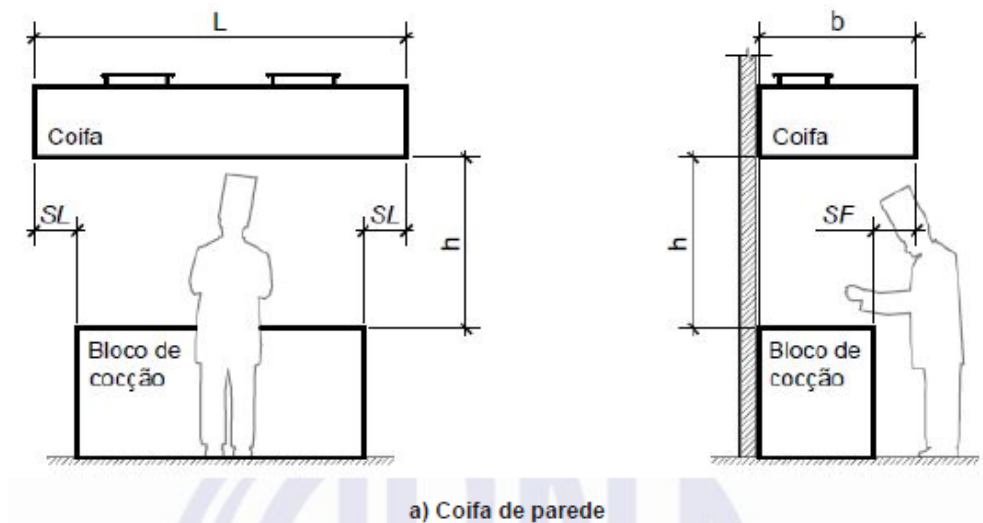
Para o cálculo da vazão de ar do sistema exaustão de coifa em ilha, deverá ser utilizado duas equações e considerado o maior valor de vazão entre Q_{v1} e Q_{v2} (NBR ABNT 14518,

2019)

$$Q_{v1} = v_1 * A_1 \quad \text{sendo } A_1 = L * b, v_1 = 0,64\text{m/s}$$

$$Q_{v2} = v_2 * A_2 \quad \text{sendo } A_2 = 2(L + b) * h, v_2 = 0,25\text{m/s}$$

Figura 6 - Representação da coifa de parede



Fonte: NBR ABNT 14518/2019

Para o cálculo da vazão de ar do sistema exaustão de coifa de parede, deverá ser utilizado duas equações e considerado o maior valor de vazão entre Q_{v1} e Q_{v2} , se atentando a quantidade de lados fechados (NBR ABNT 14518, 2019).

$$Q_{v1} = v_1 * A_1 \quad \text{sendo } A_1 = L * b, v_1 = 0,40\text{m/s}$$

$$Q_{v2} = v_2 * A_2 \quad \text{sendo } A_2 = P * h, v_2 = 0,25\text{m/s}$$

$$P = 2b + L, \text{ para um lado longitudinal fechado}$$

$$P = b + L, \text{ para um lado longitudinal e um lateral fechado}$$

$$P = L, \text{ para três lados fechados}$$

A vazão total de ar a ser exaurida na cozinha, será o total de vazão para cada coifa, ou seja, o somatório das vazões das coifas irá resultar na vazão total do sistema, exceto para as

coifas destinadas aos elementos de cocção do tipo combustível sólido, pois esta classificação deverá ter o seu sistema de ar independente por apresentar mais riscos a segurança (ABNT 14518, 2019).

3.3 Dutos para Exaustão de Cozinha

De acordo com Macintyre (1990), em algumas situações não é possível ou mesmo conveniente insuflar ou remover o ar de um ambiente utilizando ventiladores axiais nas paredes, sendo necessário recorrer a utilização de dutos com aberturas de insuflamento ou de exaustão, dependendo do caso. Esses dutos conduzem o volume de ar, devido a energia gerada por um ventilador, que pode geralmente fica localizado em um ambiente propício para sua instalação.

Os dutos devem ser fabricados com chapa de aço-carbono com no mínimo 1,37mm de espessura (número 16 MSG) ou aço inoxidável com no mínimo 1,09mm de espessura (número 18 MSG) (ABNT 14518, 2019).

Segundo Macintyre (1990) também, o sistema de dutos de ventilação vem a ser uma disposição de tubulações de baixa pressão, onde, portanto, a compressibilidade pode ser desprezada. O dimensionamento, qualquer que seja o método adotado, é baseado na Equação da Continuidade e no Principio de Conservação da Energia para Fluidos de Escoamento, traduzida pela equação de Bernoulli.

$$Q = A \times V$$

Sendo, Q = Vazão em m^3/s .

A = Área transversal da seção de escoamento em m^2 .

V = Velocidade média de escoamento do ar em m/s .

Para os sistemas de ventilação são utilizados dutos com formas geométricas circular ou retangular, os dutos circulares são os mais empregados quando comparados com os retangulares, pois são capazes de suportar maior variação de pressão e por serem mais leves, possuem menor área e retem menos resíduos (OLIVEIRA, 2016). No entanto, no sistema de exaustão de cozinha profissional é mais comum ser utilizado dutos retangulares, pois em comparação às circulares, são mais rápidos de serem confeccionados e diminuindo sua altura em algumas ocasiões e aumentando sua largura, possui mais praticidade de ser instalado num entreferro ou de simplesmente não interferir no pé direito do ambiente.

3.3.1 Velocidade nos dutos

Para Monteiro (2009), no dimensionamento de dutos para cozinhas profissionais, são recomendadas as velocidades de escoamento de ar indicadas na tabela abaixo:

Tabela 2: Velocidades do ar insuflado ou exaurido

Local	Insuflação	Exaustão
Rede principal	6,0 – 8,0 m/s	6,0 – 9,0 m/s
Ramais	4,0 – 6,0 m/s	5,0 – 7,0 m/s
Ligações e golas	3,0 – 5,0 m/s	5,0 – 7,0 m/s

Fonte: Monteiro (2009)

A velocidade mínima nos dutos de exaustão deve ser superior ou igual a 2,54m/s. A velocidade máxima não pode exceder a 12,5 m/s para atender aos parâmetros de níveis de ruído, vibrações, perda de carga e conservação de energia a critério do projetista (ABNT 14518, 2019).

3.3.2 Dimensionamento dos dutos

Nos dutos retangulares, é calculado mantendo -se o mesmo comprimento, resistência e fluxo de massa, o diâmetro equivalente é calculado por (PEREZ, 2014).

$$Deq = 1,3 * \left[\frac{(ab)^{0,625}}{(a+b)^{0,25}} \right]$$

Sendo, a e b as dimensões do duto retangular em metros (m).

Para o cálculo e dimensionamento prévio das seções retangulares ou circulares dos dutos, deve ser utilizado um método iterativo que fixa a perda de carga e limita a velocidade, de forma a não exceder os valores máximos recomendáveis para ventilação de cozinhas profissionais (MONTEIRO, 2009). Esses valores são mostrados na tabela abaixo.

Tabela 3 - Condições de Dimensionamento das Condutas

Parâmetros	Valor	Unidades
Exaustão:		
Perda de carga linear	1,5	Pa/m
Velocidade máxima nas condutas	9,0	m/s
Velocidade máxima de aspiração	0,5	m/s
Temperatura média do ar/gases/vapor	67	° C
Umidade relativa média do ar	50 a 65	%
Viscosidade cinemática do ar	$1,96 \times 10^{-5}$	m ² /s
Densidade do ar	1,043	Kg/m ³
Rugosidade das condutas	0,150	mm
Insuflação:		
Perda de carga linear	1,0	Pa/m
Velocidade máxima nas condutas	8,0	m/s
Velocidade de saída nas unidades terminais	0,750	m/s
Rugosidade das condutas	0,150	mm

Fonte: Monteiro (2009)

3.3.3 Perda de carga

Para Monteiro (2009), para que exista movimento do ar num duto, é necessário que o fluxo do mesmo possa vencer as forças contrárias que se opõem ao seu movimento. Estas forças podem ser de dois tipos, sendo o primeiro o atrito com as paredes do duto (resistências lineares) e o segundo as resistências localizadas. A perda de carga é um parâmetro de importância para seleção dos exaustores, principalmente em projetos em que não houve alguma visita técnica para entender o encaminhamento dos dutos.

Quando um fluido escoar de um ponto para outro no interior de um tubo, haverá sempre uma perda de energia, devida ao atrito do fluido com a superfície interna da parede do tubo e turbulências no escoamento do fluido. Portanto, quanto for a rugosidade da parede da tubulação ou mais viscoso for o fluido, maior será a perda de energia (CAMARGO, 2001).

O tipo de escoamento, seja laminar ou turbulento, e o coeficiente de atrito podem ser determinados pelo diagrama de Moody em função do número de Reynolds e a rugosidade relativa da parede do duto, através das equações abaixo (GELESKI, 2015)

$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

Sendo que Re = número de Reynolds

V = velocidade em m/s

D = diâmetro do duto em m

ν = viscosidade cinemática em m^2/s

$$\frac{\varepsilon}{D}$$

Sendo que ε = rugosidade dos dutos

D = diâmetro dos dutos

Segundo Clezar e Nogueira (2009), no escoamento turbulento o coeficiente de atrito tem determinação experimental e depende do número de Reynolds e da rugosidade relativa da superfície interna das paredes dos dutos. Através da equação 9 pode ser encontrado o coeficiente de fator de atrito. Para o número de Reynolds menor do que 2300, o escoamento será laminar, se for maior do que 4000, o escoamento será turbulento. (CLEZAR E NOGUEIRA, 2009)

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

Sendo que ΔP = Perda de carga em Pa (queda de pressão)

f = Coeficiente de fator de atrito

D = Diâmetro interno do duto em m

V = Velocidade média de escoamento em m/s

L = Comprimento retilíneo do duto em m

ρ = massa específica do ar em kg/m^3

Para Janna (2016), perdas localizadas refere-se às perdas de pressão encontradas por um fluido à medida que ele flui por uma conexão ou válvula em um sistema. Conexões e válvulas são usadas para direcionar o escoamento, conectar dutos, redirecionar o fluido e controlar a vazão. Essa perda é tratada matematicamente, atribuindo a cada singularidade um fator de perda K .

Segundo Macintyre (1990), ao longo da rede de dutos, existem peças que contribuem para aumentar a perda de carga do sistema, razão do atrito, das turbulências e das mudanças de

velocidades que ocorrem como grelhas, venezianas filtros, curvas redução e alargamento de dutos.

Desse modo, a determinação da soma de todas as perdas localizadas, é obtido pela seguinte fórmula (MONTEIRO, 2009)

$$\Delta P_{lo} = \sum K p \frac{v^2}{2}$$

Sendo que ΔP_{lo} = somatório de todas as perdas localizadas em Pa

K = coeficiente de perda de carga de cada resistência

p = densidade do ar em kg/m³

v = velocidade média de escoamento em m/s

Em *ASHRAE Fundamentals Handbook* (2001), pode -se ser encontradas tabelas mostrando a relação entre altura e largura de um duto de seção retangular ou circular, devido a mudanças de área ou a utilização de peças que alteram o encaminhamento de um trecho reto, como por exemplo, curvas de 90°. A finalidade destas tabelas 4,5 e 6 abaixo é apresentar os coeficientes de perda de carga em curvas e transições de dutos.

Tabela 4 - Coeficientes de perda de carga em curvas suaves

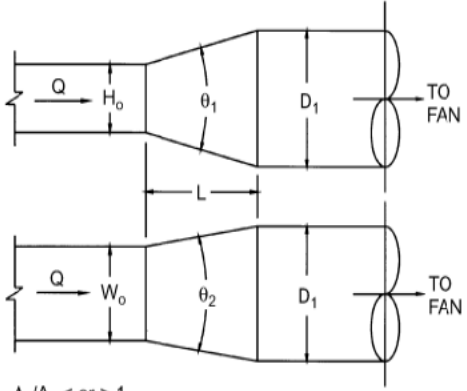
CR3-1 Elbow, Smooth Radius, Without Vanes											
<i>C_p</i> Values											
<i>r/W</i>	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	8.00
0.50	1.53	1.38	1.29	1.18	1.06	1.00	1.00	1.06	1.12	1.16	1.18
0.75	0.57	0.52	0.48	0.44	0.40	0.39	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44
1.00	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21
1.50	0.22	0.20	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17
2.00	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15
Angle Factor <i>K</i>											
θ	0	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180
<i>K</i>	0.00	0.31	0.45	0.60	0.78	0.90	1.00	1.13	1.20	1.28	1.40

$C_o = KC_p$ where K = angle factor

Fonte: ASHRAE Fundamentals Handbook (2001).

Tabela 5 - Coeficientes de perda de carga em transição retangular para circular

ER4-3 Transition, Rectangular to Round, Exhaust/Return Systems											
A_o/A_1	C_o Values										
	θ										
	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	
0.06	0.30	0.54	0.53	0.65	0.77	0.88	0.95	0.98	0.98	0.93	
0.10	0.30	0.50	0.53	0.64	0.75	0.84	0.89	0.91	0.91	0.88	
0.25	0.25	0.36	0.45	0.52	0.58	0.62	0.64	0.64	0.64	0.64	
0.50	0.15	0.21	0.25	0.30	0.33	0.33	0.33	0.32	0.31	0.30	
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
2.00	0.24	0.28	0.26	0.20	0.22	0.24	0.49	0.73	0.97	1.04	
4.00	0.89	0.78	0.79	0.70	0.88	1.12	2.72	4.33	5.62	6.58	
6.00	1.89	1.67	1.59	1.49	1.98	2.52	6.51	10.14	13.05	15.14	
10.00	5.09	5.32	5.15	5.05	6.50	8.05	19.06	29.07	37.08	43.05	

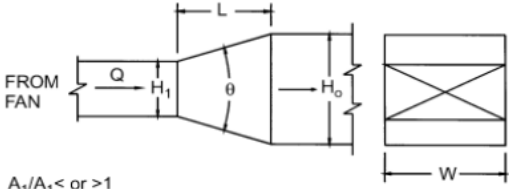


$A_o/A_1 < \text{or} > 1$
 θ is larger of θ_1 and θ_2

Fonte: ASHRAE Fundamentals Handbook (2001).

Tabela 6 - Coeficientes de perda de carga em transição retangular

SR4-1 Transition, Rectangular, Two Sides Parallel, Symmetrical, Supply Air Systems											
A_o/A_1	C_o Values										
	θ										
	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	
0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43	
0.17	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.07	0.18	0.28	0.36	0.42	
0.25	0.05	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	0.17	0.27	0.35	0.41	
0.50	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07	0.14	0.20	0.26	0.27	
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	
2.00	0.56	0.52	0.60	0.96	1.40	1.48	1.52	1.48	1.44	1.40	
4.00	2.72	3.04	3.52	6.72	9.60	10.88	11.20	11.04	10.72	10.56	
10.00	24.00	26.00	36.00	53.00	69.00	82.00	93.00	93.00	92.00	91.00	
16.00	66.56	69.12	102.40	143.36	181.76	220.16	256.00	253.44	250.88	250.88	



$A_1/A_1 < \text{or} > 1$

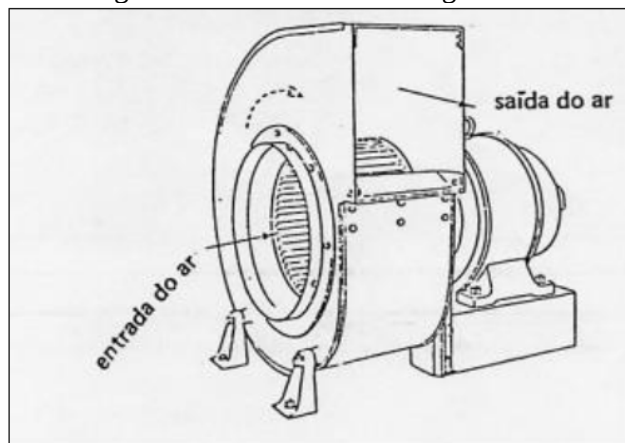
Fonte: ASHRAE Fundamentals Handbook (2001).

3.4 Ventilador Centrifugo

Segundo Oliveira (2013), os ventiladores são os responsáveis pelo fornecimento de energia ao ar, com a finalidade de movimentá-lo, quer seja em ambientes quer seja em sistema de dutos. A função básica de um ventilador é, pois, retirar uma quantidade de volume de ar de um ambiente para outro, podendo ou não ser utilizado sistemas de dutos para este objetivo. Desse modo, o ventilador deverá ter perda de carga suficiente para cumprir sua finalidade em total plenitude.

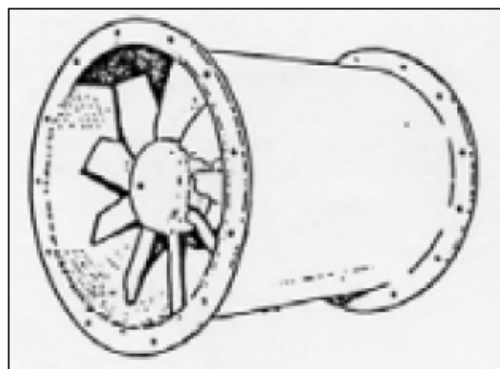
Para Clezar e Nogueira (2009), dentro de uma classificação mais completa, há praticamente dois tipos de ventiladores: Os centrífugos e os axiais. Nos ventiladores centrífugos o escoamento é substancialmente radial, enquanto nos ventiladores axiais o fluxo de ar é praticamente paralelo ao eixo.

Figura 7 – Ventilador centrífugo



Fonte: Lisboa (2007)

Figura 8 – Ventilador Tubo Axial

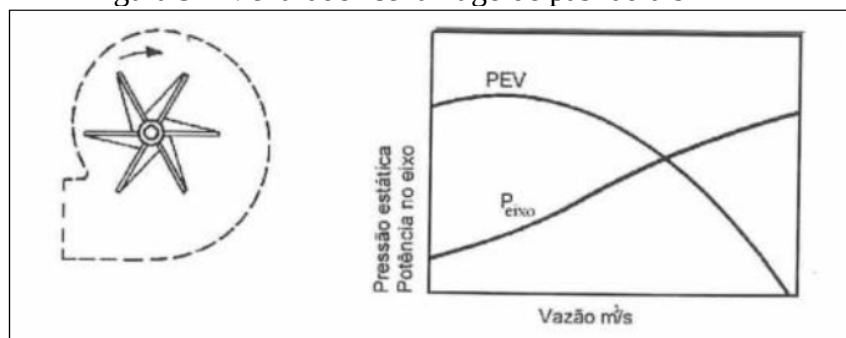


Fonte: Lisboa (2007)

Os ventiladores centrífugos possuem a característica de movimentar grandes volumes de ar, operando em vazões muito altas e também possuem a característica de atingirem um alto nível de perda de carga ser necessário, enquanto os ventiladores axiais limitam -se para utilizações de baixa e média pressão. Em ventilação para locais que requerem exaustão, os ventiladores mais utilizados são os centrífugos, sendo os principais, segundo as características de rotor, o de pás radiais; de pás para trás e de pás curvadas para frente (LISBOA, 2007).

O ventilador centrífugo de pás radiais é robusto e indicado para movimentação de ar com grande carga de particulado, no entanto, apresenta uma baixa eficiência (CLEZAR E NOGUEIRA, 2009). Abaixo diagrama entre vazão de ar versus pressão estática e potência no eixo.

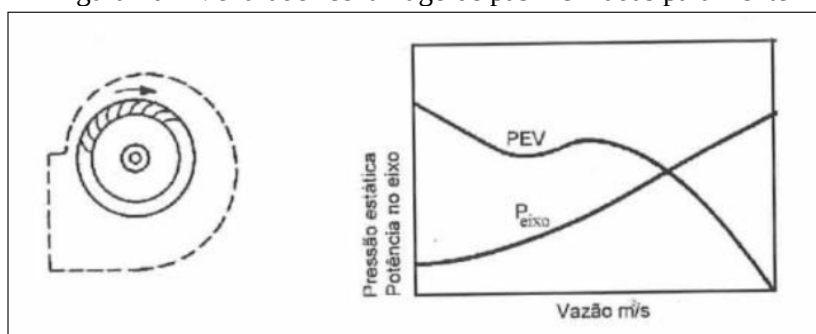
Figura 9 – Ventilador centrífugo de pás radiais



Fonte: Clezar e Nogueira (2009)

O ventilador centrífugo de pás inclinadas para frente, apresenta a vantagem de ocupar pouco espaço, e sua aplicação se restringe a ambientes isento de particulados. (CLEZAR E NOGUEIRA, 2009).

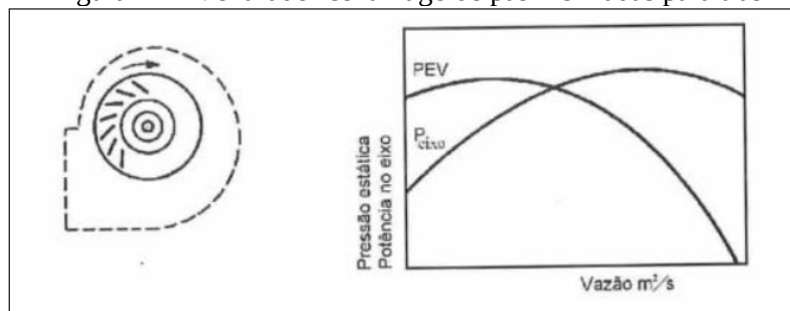
Figura 10 – Ventilador centrífugo de pás inclinadas para frente



Fonte: Clezar e Nogueira (2009)

O ventilador centrífugo de pás inclinadas para trás trabalha com rotações maiores que outros tipos de ventiladores, apresenta eficiência mais elevada e uma autolimitação de potência decorrente da forma de sua curva característica (CLEZAR E NOGUEIRA, 2009).

Figura 11 – Ventilador centrífugo de pás inclinadas para trás

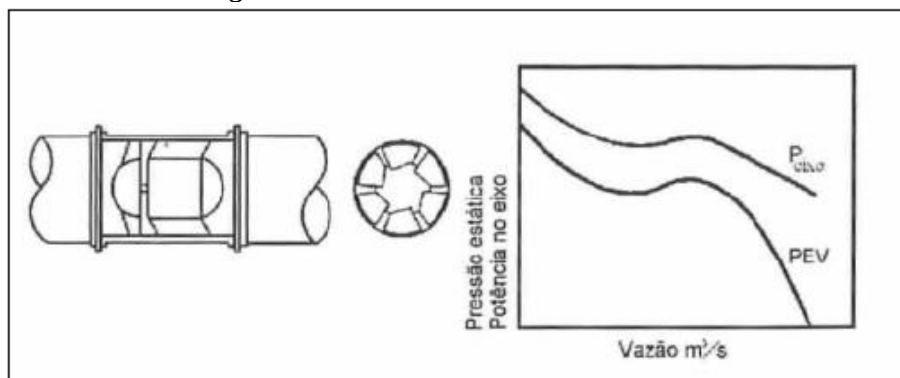


Fonte: Clezar e Nogueira (2009)

O ventilador de tubo axial, apesar de apresentar diferenciais de pressão maiores dos

outros tipos de axiais, de uma maneira geral ainda são menos eficientes e mais ruidosos do que os ventiladores centrífugos (CLEZAR E NOGUEIRA, 2009).

Figura 12 – Ventilador de tubo axial



Fonte: Clezar e Nogueira (2009)

Para o sistema de exaustão de uma cozinha, segundo a NBR 14518 (ABNT, 2019), todos os ventiladores devem ser do tipo centrífugo, de construção metálica com rotor de pás inclinadas para trás ou radiais, dimensionado e certificado pelo fabricante do ventilador para aplicação em exaustão de cozinhas e para os ventiladores com carcaça tubular e fluxo axial, com o motor e toda a instalação elétrica devem estar fora ou protegidos do fluxo de ar de exaustão, os elementos de transmissão devem estar enclausurados e protegidos contra infiltração de gordura.

3.5 Despoluidores Atmosféricos

Lavadores de gases proporcionam a lavagem dos produtos de exaustão pelo contato físico entre o líquido específico para aplicação e o ar contaminado proporcionando a captura mecânica das partículas, condensação de vapores e absorção/ neutralização das frações gasosas e controle de odores. Os princípios aceitos são de câmaras de aspersão horizontal ou vertical, venturi, impactação ou centrifugação. No caso do uso de bicos pulverizadores, estes devem operar com pressão suficiente para alcançar elevada atomização e atingir todo o perímetro interno da câmara, visando minimizar depósitos de gordura nas superfícies internas. Para evitar entupimento dos bicos, especial atenção deve ser dada ao tratamento da água (ABNT 14518, 2019).

No lavador de gases, também é comum encontrar a indicação de ser ter um módulo para carvão ativado após a lavagem dos gases para aumentar a eficácia da retirada dos odores geradas pelos gases da cocção. Independente do seu tipo de montagem, o lavador de gases deverá ser

instalado antes do exaustor, evitando desse modo a contaminação das pás que geram energia e prolongando também a vida útil do equipamento.

Outro tipo bastante comum de despoluidor utilizado é a coifa lavadora. Dispositivo com ou sem filtros inerciais, que incorpora a função de filtração do ar utilizando água como elemento filtrante. Disposto de um sistema hidráulico com adição de detergente ao fluxo de água circulante. A periodicidade e duração do ciclo de lavagem são determinadas pelo uso e classificação dos equipamentos. (ABNT 14518, 2019)

A circulação do líquido é feita por meio de bomba hidráulica, acoplada ao corpo da coifa ou remota, também é necessário um ponto para a drenagem da água contaminada após a lavagem.

3.6 Sistema de Ar Exterior

Para Monteiro (2009), a insuflação de ar de compensação nas proximidades dos captadores interfere com a capacidade de capturar e conter a pluma térmica. Estudos recentes provaram que 80% da vazão de exaustão deverá ser a vazão de ar novo a ser introduzido na cozinha, para se obter a eficiência máxima de funcionamento do captor.

O calor liberado por convecção origina uma pluma térmica, ou seja, um escoamento ascendente dos gases quentes, vertical, se não houver correntes cruzadas que afetem a pluma. A forma e as dimensões da pluma térmica dependem da geometria dos equipamentos de cocção, da potência instalada e da velocidade de aspiração do captor. Dessa maneira, a vazão de exaustão deve exceder a insuflação, para que a pluma resista às correntes cruzadas e seja regularmente extraída do local (MONTEIRO, 2009).

Logo, o sistema de ar exterior deverá ter sua vazão calculada com base na vazão de exaustão da cozinha, para manter uma pressão negativa. Recomenda-se entre 80% a 85%, pois o enquanto os 20% a 15% deverão ser oriundos de frestas de porta ou sistema de ar condicionado, se houver.

Este sistema de compensação de ar, poderá ser feito de maneira natural através de aberturas permanentes para um meio externo, como por exemplo janelas ou aberturas em paredes desde que sejam instaladas telas de proteção contra insetos e compatíveis com a poluição local (ABNT 14518, 2019). Outra maneira de compensação de ar, é através de sistema forçado que deverá ser feita através de ventiladores, filtros de ar, dutos e elementos para captação e insuflamento, obrigatoriamente o sistema deverá estar de acordo com a ABNT 16401-2 /2008

3.7 Elementos Complementares

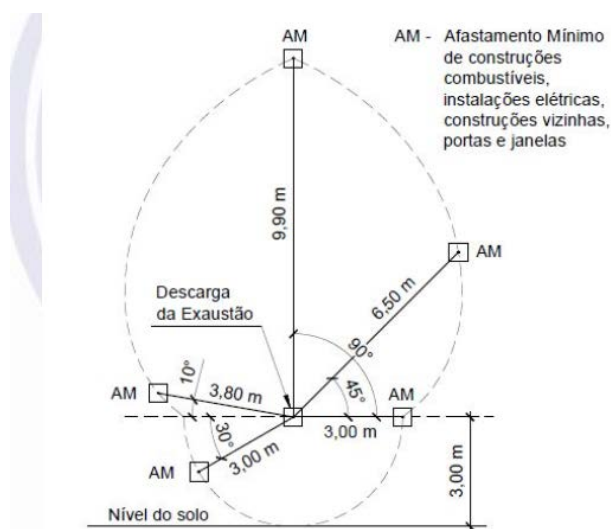
Dentro do sistema de exaustão de cozinha, existem elementos e dispositivos que são fundamentais para o funcionamento e operação de forma geral, seja pela importância da prevenção de incêndio ou pelo auxílio na manutenção dos dispositivos selecionados.

A porta de inspeção tem a função de acessar a parte interna de um duto de exaustão com finalidade de tirar acúmulo de gordura geradas durante a operação da cozinha. As portas de inspeção devem ser instaladas preferencialmente nas laterais ou na superfície superior do duto, onde for mais facilmente acessível, possuindo dimensões mínimas de 0,15m x 0,15m (ABNT 14518, 2019).

Os registros corta-fogo servem para isolar determinadas zonas contra o fogo em instalações de ventilação e ar condicionado, em situações de incêndio, dessa maneira, caso ocorra um incêndio num elemento de cocção o registro corta-fogo é acionado para isolar o duto de exaustão, prevenindo dessa maneira que o incêndio se propague internamente no duto.

Terminais de descarga de exaustão tem a finalidade de conduzir o ar previamente limpo, por fora da edificação para um meio externo, seja por cobertura ou uma parede com a fachada externa. Os dutos terminais instalados nas fachadas da edificação devem manter um afastamento mínimo de 3,0m em relação a qualquer equipamento ou instalação elétrica ao seu redor, portas, janelas, letreiros luminosos, situado no mesmo plano ou abaixo do terminal de descarga. Para os elementos situados acima deste plano, o ponto mais próximo ao terminal de descarga deve manter um afastamento mínimo de 3,0m. (ABNT 14518, 2019)

Figura 13 – Afastamento mínimo para dutos de descargas em fachadas



Fonte: ABNT NBR 14518/2019

4 PROJETO DE EXAUSTÃO DE REFERÊNCIA

Todo o projeto de sistema de exaustão de cozinha tem como objetivo exaurir uma quantidade de ar e descarregar para outro lugar, na cozinha que será objeto de estudo, foi considerado um layout com os elementos de cocção no centro da cozinha, onde os cozinheiros conseguem acessar por todos os lados, além disso, foi considerado somente fogões industriais, ou seja, dentro da classificação da norma ABNT NBR 14518/2019, o tipo de sistema é moderado.

Para a elaboração do projeto referência do sistema de ventilação e cozinhas industriais, foi considerado um layout de cozinha de uma loja localizada num shopping. Os elementos de cocção de cozinha são 4 fogões industriais com forno de 4 bocas, que pela norma ABNT NBR 14158 2019, são classificados como moderados. Após esta definição dos paramentos da cozinha em relação aos tipos de cocção e sua classificação, foi elaborado um projeto de exaustão conforme as necessidades apresentadas, sendo o primeiro passo, dimensionamento da coifa.

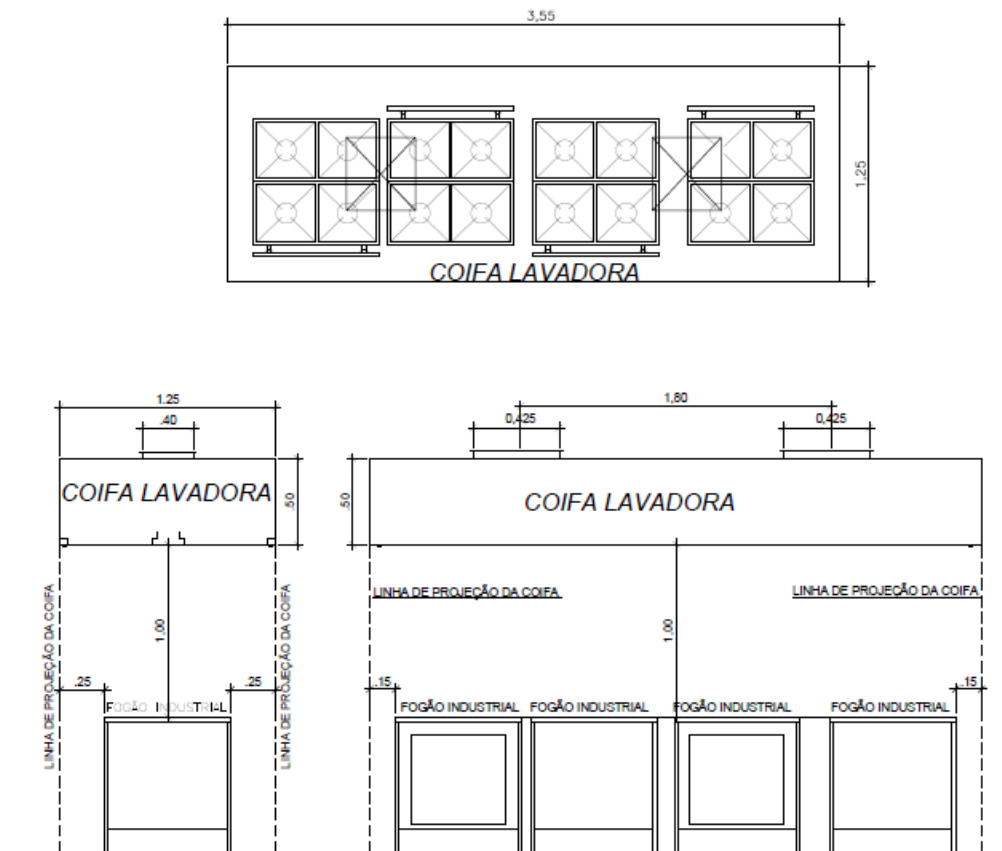
Figura 14 – Fogão Industrial de 4 bocas com forno



Fonte: CHEFSTOCK (2022)

Definido o tamanho da coifa, o próximo passo foi calcular a vazão de ar necessária para o sistema utilizando o método 1, ou seja, considerando as dimensões da coifa e utilizando as velocidades determinadas pela ABNT NBR 14518/2019, que consiste num primeiro cálculo, pela área da coifa e no segundo cálculo pelo perímetro da coifa. Após obter os dois resultados adotar a de vazão mais alta, dessa forma o cálculo do sistema de exaustão ficou em 10224m³/h.

Figura 15 – Dimensionamento da Coifa



Fonte: Próprio Autor

Tabela 7 – Cálculo da vazão de ar

1.0 - Cálculo da vazão mínima de ar da coifa (Ilha) - CF-01

L = Comprimento da coifa (m) - Lado encostado
b = Largura da coifa (m) - Lado livre
h = Distância entre a coifa e o fogão (m)

A_x = área da coifa (m^2)
 Q_x = vazão de ar

1.1 - ABNT NBR 14518

$$Qv1 = V1 \times A1$$

$$V1 = 0,64 \text{ m/s}$$

$$A1 = L \times b$$

$$Qv2 = V2 \times A2$$

$$V2 = 0,25 \text{ m/s}$$

$$A2 = 2 (L+b) \times h$$

Onde,

$$L = 3,55$$

$$b = 1,25$$

$$h = 1,00$$

$$V1 = 0,64$$

$$V2 = 0,25$$

Então:

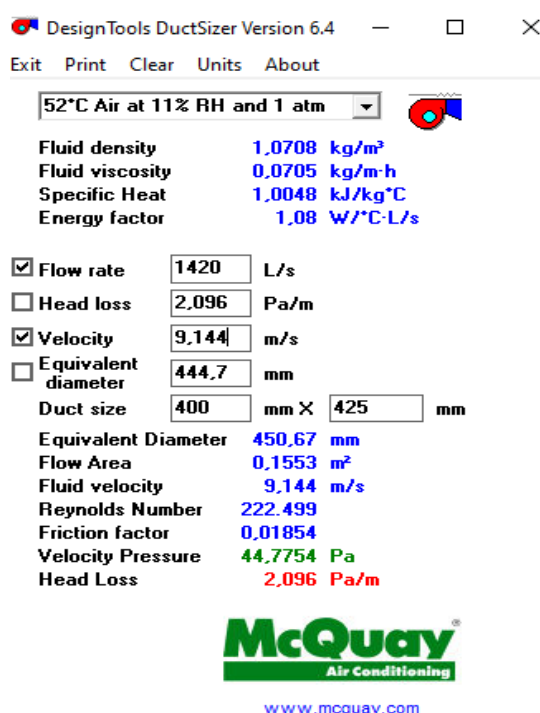
$Qv1 =$	10.224,0	m^3/h	ADOTADO
$Qv2 =$	8.640,0	m^3/h	

Fonte: Próprio Autor

Após o cálculo da vazão de ar necessária para o projeto referência, o passo seguinte foi o dimensionamento do duto de exaustão. Para o projeto referência foi utilizado uma velocidade constante nos dutos de 1800 FPM ou 9,13m/s.

Tendo os parâmetros de vazão de ar e velocidade fixados, utilizou -se o programa *DesignTools DuctSizer Version 6.4* do fabricante *McQuay*, para dimensionamento dos dutos e a perda de carga linear, sendo considerado os ramais de captação de ar e depois o ramal principal. O programa utilizado tem como base os parâmetros determinados pela *ASHRAE Fundamentals Handbook* (2001), no que se trata de perda de carga, em função da vazão de ar e velocidade do ar, desse modo sendo possível determinar a melhor relação entre altura e largura de um duto.

Figura 16 – Dimensão do ramal de captação



Fonte: McQuay (2001)

Após estes cálculos fica definido que os dutos de captação de ar de exaustão serão de 42,5cm de largura x 40cm de altura, e o duto do ramal principal, assim como, o de descarga de ar serão de 85cm x 40cm. Porém, o programa utilizado mostra somente a perda de carga linear, para obter o valor da perda de carga no sistema foi utilizado a planilha abaixo, sendo que a mesma também segue a relação entre a largura e altura dos dutos, conforme apresentado em *ASHRAE Fundamentals Handbook* (2001).

Figura 17 – Dimensão do ramal de captação

Fonte: McQuay (2001)

Tabela 8 – Cálculo total da perda de carga no sistema de exaustão

CÁLCULO PARA PERDA DE CARGA E SELEÇÃO DE VENTILADORES/CONDICIONADORES										PADRAO PDT-001 R1		Rev. 0							
Proj.:		Cliente:													Prep.	Aprov.	19/11/2022		
										Ref.:		Folha							
TRECHO	Dimensão cm		Vazão	Perda Unit.	Comp. Real do Trecho m.	CURVA 4 5		CURVA 9 0		S				O				COMP. VIRTUAL TRECHO m.	PERDA DE CARGA mmCA
	w	d	m3/h	mmca/m		QT	CE	QT	CE	QT	CE	QT	CE	QT	CE				
1/2	85	40	10.224	0,14	4,00	0	5,6	1	5,6							9,60	1,35		
2/3	85	40	10.224	0,14	6,00	0	5,6	2	5,6							17,20	2,41		
3/4	42,5	40	5.112	0,21	4,50	0	4,4	2	4,4							13,30	2,84		
4/5							0,0		0,0							0,00	0,00		
										SUB-TOTAL (mmCA)								6,60	
										ESTANQUEIDADE								15%	0,99
										FATOR DE CORREÇÃO								10%	0,66
										REGISTRO SOBRE PRESSÃO									0,00
										REGISTRO CORTA-FOGO									5,00
										VENEZIANA (ESTIMADO)									0,00
										COIFA LAVADORA									25,0
										TELA DE DESCARGA								(Estimado)	5,0
										CAIXA ELIMINADORA DE GOTÍCULAS									0,00
										TOTAL (mmCA)									43
										TOTAL COM FOLGA								10%	48
AR CONDICIONADO																			
VENTILAÇÃO										X									
SELEÇÃO POR PROGRAMA DO FABRICANTE																			

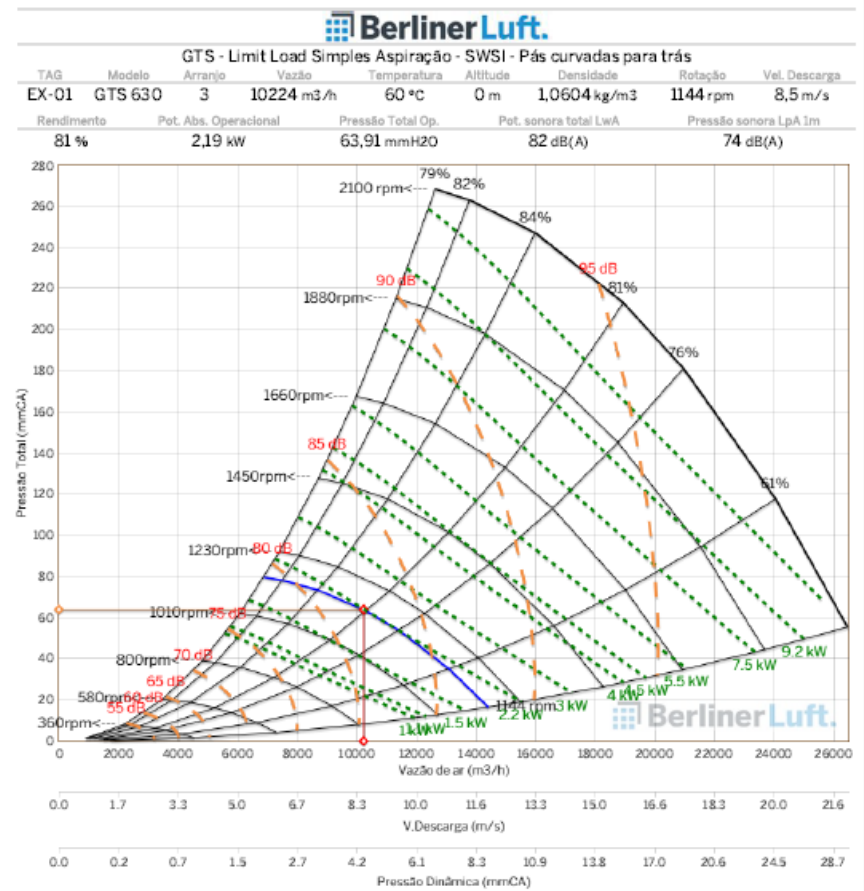
Fonte: Próprio Autor

Pode-se constatar que o trajeto dos dutos terá 6,60 mmca porém é necessário, adicionar a porcentagem de segurança por perda de estanqueidade de 10%, mais o fator de correção e 15%, obtendo desta maneira 8,25mmca. Para os outros elementos a informação da perda de carga são fornecidas pelos fabricantes, como o registro corta- fogo com 5mmca e a coifa lavadora com 25mmca, totalizando 48 mmca (considerando 10% de folga a mais). Contudo, por se tratar de uma loja localizada dentro do shopping, o duto de entrega para a descarga de

exaustão não é de responsabilidade do projetista, e por vezes, não é possível ir ao local verificar as condições dos dutos fornecidos pelo shopping ou até mesmo o próprio shopping não sabe passar esse tipo informação, então para efeito de segurança será considerado para o sistema de exaustão 60mmca.

A seleção do ventilador centrífugo foi através de um programa de seleção do fabricante Berliner Luft em seu próprio site, foi informado os parâmetros de vazão (calculada 10224m³/h), temperatura (considerada 60º) e perda de carga (considerada 60mmca).

Figura 18 – Seleção do Ventilador Centrífugo de Exaustão



Fonte: BERLINER LUFT (2022)

O programa indicou que o ventilador centrífugo de modelo GTS-630 é o mais adequado para o projeto de referência atendendo de forma eficaz todos os parâmetros apresentados.

Para o suprimento de ar, o sistema de ar exterior, a vazão foi considerada 80% da vazão da exaustão calculada. Ou seja, considerando a vazão calcula total de 10224 m³/h, o sistema de ar exterior deverá ter uma vazão de 8179,2m³/h. Sendo assim, a caixa ventiladora foi selecionada também pelo programa da Berliner Luft, além disso para as Grelhas de ar exterior foram selecionadas através do catalogo da TROX modelo AT com registro de vazão, totalizando 4 grelhas de 2044,8m³/h.

O dimensionamento do duto de ar exterior, utilizou o programa *DesignTools DuctSizer* Version 6.4 do fabricante *McQuay*, para dimensionamento dos dutos e a perda de carga linear.

Figura 19 – Dimensão do duto de ar exterior ramal inicial

The screenshot shows the 'DesignTools DuctSizer V...' window. The title bar includes 'Exit', 'Print', 'Clear', 'Units', and 'About'. A dropdown menu shows '37°C Air at 23% RH and 1 atm'. Below this, fluid properties are listed: Fluid density (1.1184 kg/m³), Fluid viscosity (0.068 kg/m·h), Specific Heat (1.0048 kJ/kg°C), and Energy factor (1.12 W/°C·L/s). Input fields for 'Flow rate' (2271 L/s) and 'Velocity' (7.366 m/s) are checked. 'Head loss' and 'Equivalent diameter' are unchecked. The 'Duct size' is set to 400 mm x 850 mm. Calculated values include: Equivalent Diameter (626.46 mm), Flow Area (0.3083 m²), Fluid velocity (7.366 m/s), Reynolds Number (273.092), Friction factor (0.01739), Velocity Pressure (30.3509 Pa), and Head Loss (0.906 Pa/m). The McQuay logo and website (www.mcquay.com) are at the bottom.

Parameter	Value	Unit
Fluid density	1.1184	kg/m³
Fluid viscosity	0.068	kg/m·h
Specific Heat	1.0048	kJ/kg°C
Energy factor	1.12	W/°C·L/s
Flow rate	2271	L/s
Head loss	0.906	Pa/m
Velocity	7.366	m/s
Equivalent diameter	626.5	mm
Duct size	400 x 850	mm
Equivalent Diameter	626.46	mm
Flow Area	0.3083	m²
Fluid velocity	7.366	m/s
Reynolds Number	273.092	
Friction factor	0.01739	
Velocity Pressure	30.3509	Pa
Head Loss	0.906	Pa/m

Fonte: McQuay (2001)

Figura 20 – Dimensão do duto de ar exterior ramal final

The screenshot shows the 'DesignTools DuctSizer V...' window with the same fluid properties as Figure 19. The 'Flow rate' (1135 L/s) and 'Velocity' (7.366 m/s) are checked. 'Head loss' and 'Equivalent diameter' are unchecked. The 'Duct size' is set to 400 mm x 400 mm. Calculated values include: Equivalent Diameter (437.27 mm), Flow Area (0.1541 m²), Fluid velocity (7.365 m/s), Reynolds Number (193.038), Friction factor (0.01879), Velocity Pressure (30.3439 Pa), and Head Loss (1.384 Pa/m). The McQuay logo and website (www.mcquay.com) are at the bottom.

Parameter	Value	Unit
Fluid density	1.1184	kg/m³
Fluid viscosity	0.068	kg/m·h
Specific Heat	1.0048	kJ/kg°C
Energy factor	1.12	W/°C·L/s
Flow rate	1135	L/s
Head loss	1.384	Pa/m
Velocity	7.366	m/s
Equivalent diameter	442.9	mm
Duct size	400 x 400	mm
Equivalent Diameter	437.27	mm
Flow Area	0.1541	m²
Fluid velocity	7.365	m/s
Reynolds Number	193.038	
Friction factor	0.01879	
Velocity Pressure	30.3439	Pa
Head Loss	1.384	Pa/m

Fonte: McQuay (2001)

Após estes cálculos fica definido que o duto de ar de exterior no trecho inicial será de 85cm de largura x 40cm de altura, e do trecho final será de 40cm x 40cm, assim como, o de descarga de ar serão de 85cm x 40cm. Porém, o programa utilizado mostra somente a perda de

carga linear, para obter o valor da perda de carga no sistema foi utilizado a planilha abaixo.

Tabela 9 – Cálculo total da perda de carga no sistema de ar exterior

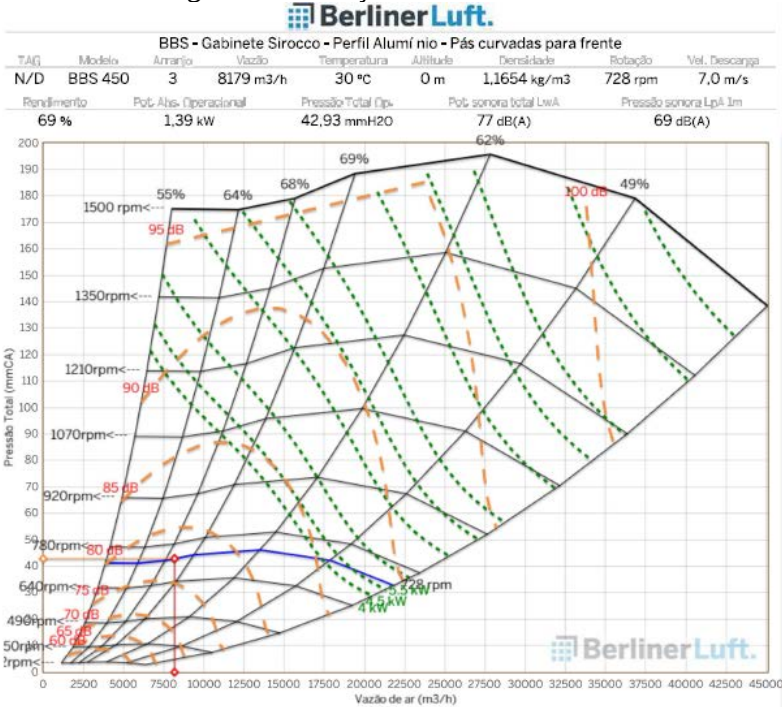
					CÁLCULO PARA PERDA DE CARGA E SELEÇÃO DE VENTILADORES/CONDICIONADORES										PADRÃO PDT-001 R1		Rev. 0
Proj.: _____					Prep. _____										Aprov. _____		19/11/2022
Cliente: _____					Ref.: _____										Folha		
TRECHO	Dimensão cm		Vazão m³/h	Perda Unit. mmca/m	Comp. Real do Trecho m	CURVA 4 5		CURVA 9 0		CURVA 13 0		CURVA 17 0		CURVA 21 0		COMP. VIRTUAL TRECHO m	PERDA DE CARGA mmca
	w	d				QT	CE	QT	CE	QT	CE	QT	CE	QT	CE		
1/2	85	40	8.179	0.14	4,00	0	5,6	0	5,6							4,00	0,56
2/3	85	40	8.179	0.14	5,00	0	5,6	2	5,6							16,20	2,27
3/4	40	40	4.090	0.09	1,50	0	4,4	0	4,4							1,50	0,14
4/5							0,0		0,0							0,00	0,00
SUB-TOTAL (mmca)																	2,97
ESTANQUEIDADE																	0,45
FATOR DE CORREÇÃO																	0,30
REGISTRO SOBRE PRESSÃO																	0,00
FILTRO G4																	25,00
GRELHA																	1,00
COIFA LAVADORA																	0,0
TELA DE DESCARGA (Estimado)																	5,0
CAIXA ELIMINADORA DE GOTÍCULAS																	0,00
TOTAL (mmca)																	35
TOTAL COM FOLGA																	38

Fonte: Próprio Autor

A seleção do ventilador centrífugo foi através de um programa de seleção do fabricante Berliner Luft em seu próprio site, foi informado os parâmetros de vazão (calculada 8179m³/h), temperatura (considerada 30°) e perda de carga (considerada 40mmca). Com esses parâmetros o programa indicou caixa ventiladora do modelo BSS-450, como adequado para o sistema de ar exterior do projeto referência. Abaixo a folha de seleção da caixa ventiladora.

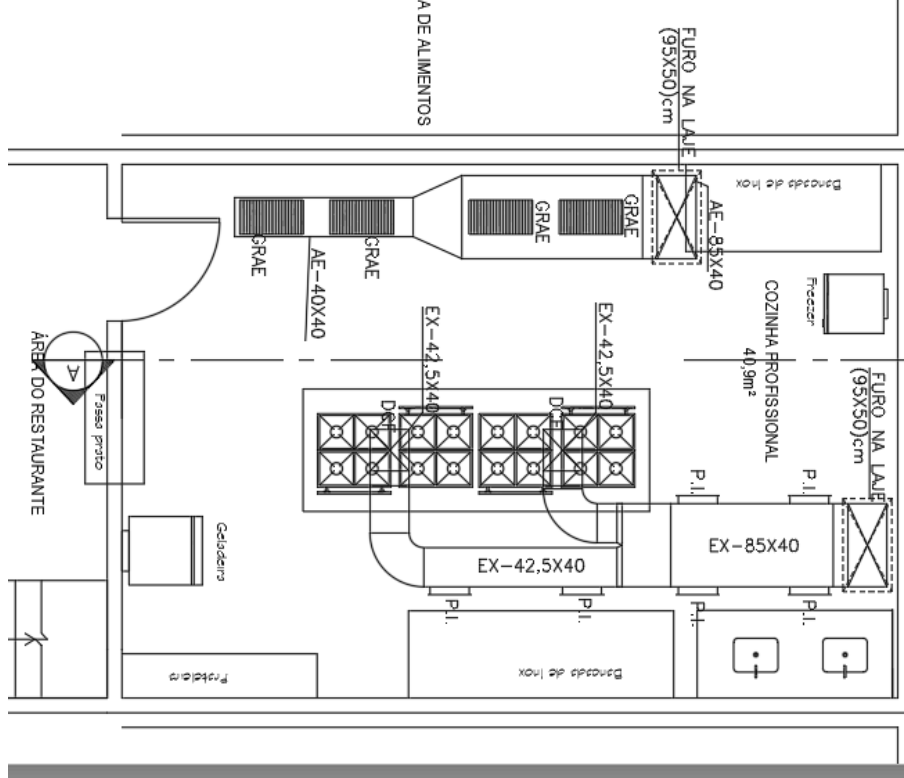
Assim, com todas as informações definidas, foi possível elaborar o projeto referência do sistema de exaustão de cozinha no AutoCAD, sendo apresentado conforme figura 22.

Figura 21 – Seleção do Caixa Ventiladora



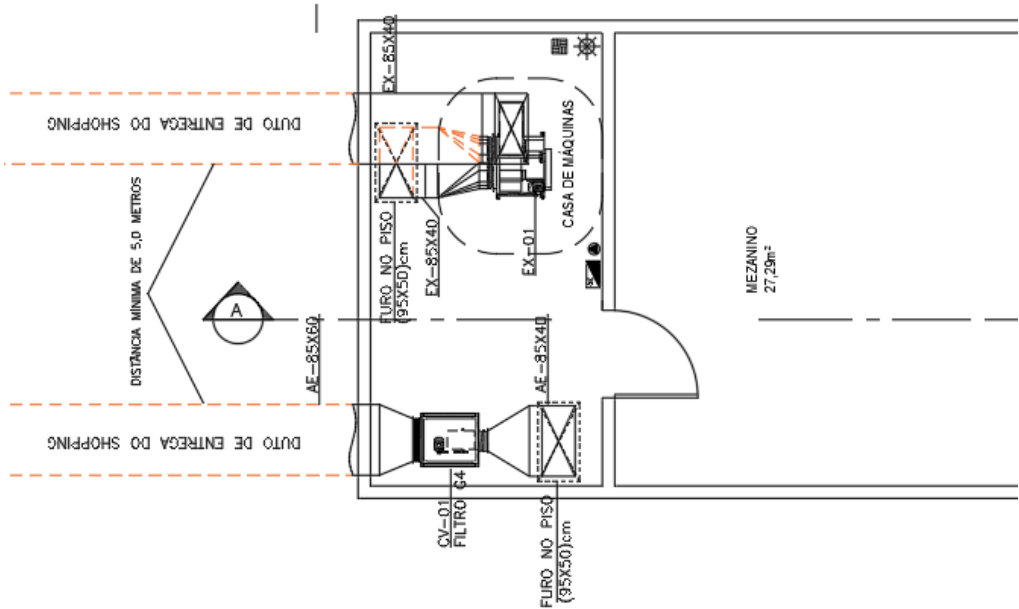
Fonte: BERLINER LUFT (2022)

Figura 22 – Planta Baixa da Cozinha



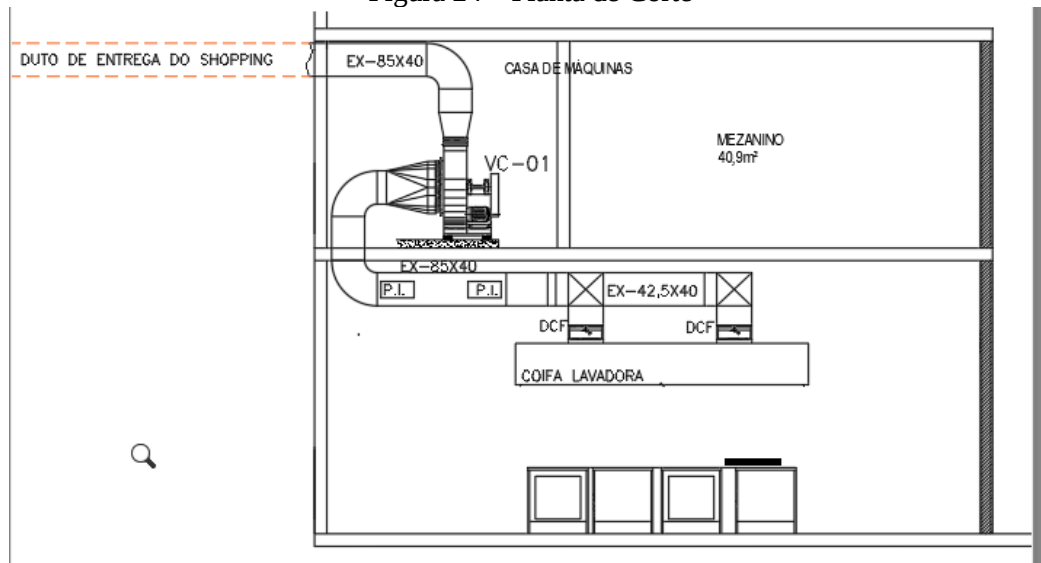
Fonte: Próprio Autor

Figura 23 – Planta do Baixa Mezanino com casa de Máquinas



Fonte: Próprio Autor

Figura 24 – Planta de Corte



Fonte: Próprio Autor

Tabela 10 – Legenda dos equipamentos

	VENTILADOR PARA EXAUSTÃO—LIMIT LOAD—CENTRIFUGO—PÁS PARA TRÁS – REF: BERLINER LUFT					
	COM PORTA DE INSPEÇÃO E BUJÃO PARA DRENO.					
	VAZÃO(m³/h)	MODELO	PONTO DE FORÇA	PERDA DE CARGA	IDENTIFICAÇÃO	OBSERVAÇÕES
01	10.225	GTS-630	4,0 HP	60mmCA	VC-01	VER NOTA 04
	COIFA LAVADORA PARA SISTEMA TIPO ILHA					
	VAZÃO(m³/h)		DIMENSÕES		IDENTIFICAÇÃO	OBSERVAÇÕES
02	10.225		(3550 X 1250)mm		CF-01	---
	CAIXA VENTILADORA PARA AR EXTERIOR DOTADO DE FILTRO G4 – REF: BERLINER LUFT					
	VAZÃO(m³/h)	MODELO	PONTO DE FORÇA	PERDA DE CARGA	IDENTIFICAÇÃO	OBSERVAÇÕES
03	8179,2	BSS-450	2,0 HP	40mmCA	CV-01	VER NOTA 04
04	DAMPER CORTA FOGO, ESTANQUE, NAS DIMENSÕES DO RESPECTIVO DUTO, DO ELEMENTO ASSOCIADO OU COM AS DIMENSÕES INDICADAS JUNTO AO DAMPER					
05	GRELHA PARA VENTILAÇÃO, EM ALUMÍNIO ANODIZADO, ALETAS HORIZONTAIS AJUSTÁVEIS COM REGISTRO 625x325mm – MODELO: AT-VA REF.: TROX.					

Fonte: Próprio Autor

Conforme informado, o projeto foi elaborado num layout de cozinha de um restaurante de shopping, considerando uma casa de máquinas para abrigar os ventiladores, seguindo as diretrizes da norma ABNT 16401 (2008), no mezanino.

Com a conclusão do projeto da ventilação de cozinha, seguindo todos os parâmetros da norma ABNT NBR 14518/2019, foi possível determinar a Vazão de Ar de projeto de 10224m³/h com a velocidade de descarga no duto de 9,13m/s, e dutos de 85cm X 40cm. Neste projeto, existe uma ressalva quanto a de descarga de exaustão, por se tratar de um restaurante localizado num shopping, o trecho de duto da descarga de exaustão da loja até o ambiente externo é de responsabilidade do Shopping, exceto nos casos que o shopping não forneça essa entrega de duto, o mesmo é valido para captação de ar exterior.

5 MATERIAIS E MONTAGEM DO PROTÓTIPO

O Protótipo tem como objetivo simular, um sistema de exaustão de cozinha funcional em menores proporções e descobrir dois pontos. O primeiro se é possível obter energia desse sistema com dutos de descarga de ar e segundo, caso comprovado o primeiro ponto, saber o quanto de energia é produzida. Para efeito de teste está sendo considerado fluxo laminar na passagem de ar no duto do protótipo.

Na tabela 11 é apresentada a lista dos itens e materiais que foram utilizados para a montagem.

Tabela 11 – Materiais e Ferramentas para construção do Protótipo

Item	Descrição do Material
<i>Duto</i>	1x Chapa de Papelão (400mm comprimento x 200mm largura x 5 mm espessura)
<i>Estanqueidade</i>	1x Cola de Artesão (250mg) 1x Fita Crepe 1x Fita isolante 1x Fita Dupla Face
<i>Exaustor</i>	1x Secador de Cabelo 1900w
<i>Protótipo</i>	1x Cooler de 7 pás 24V
<i>Protótipo</i>	Fios paralelos de 1mm
<i>Protótipo</i>	1x Lâmpada LED Azul
<i>Ferramenta</i>	Multímetro
<i>Ferramenta</i>	Anemômetro
<i>Ferramenta</i>	Tesoura com ponta
<i>Ferramenta</i>	Estilete

Fonte: Próprio Autor

5.1 MONTAGEM

Dutos são construções em chapa galvanizada ou chapa preta, geralmente, que servem para conduzir uma certa quantidade de volume de ar de um ambiente para outro. No sistema de exaustão de cozinha, utilizam dutos de chapa preta (devido a temperatura) que conduzam o ar exaurido da cozinha para descarregar num ambiente externo.

Para o protótipo foram utilizadas duas chapas de papelão de 8cm de largura x 14cm de comprimento e duas chapas de papelão de 9cm de largura x 14cm de comprimento. Além disso, foram usados fita de dupla face e cola de artesanato para colar as chapas de papelões no cooler, externamente foram passado fita crepe e depois fita isolante para garantir a estanqueidade e garantir que a vazão de ar passe somente pela área livre das pás do cooler.

Entre as chapas de papelão foram passadas fitas crepes e fitas isolantes para garantir a estanqueidade e nenhuma saída de ar pelo duto. Enquanto num extremo do duto é colocado o cooler no outro é feito uma abertura de 4 cm de diâmetro, o suficiente para inserir o secador de cabelo.

O cooler possui 2 fios que são interligados num LED azul de 3 Volts. A finalidade do LED é constatar a geração de energia por forma visual, através do acendimento da luz e pelo multímetro através da medição,

Figura 25 - Duto em papelão construção do Protótipo



Fonte: Próprio Autor

Nesse protótipo para simular a função do exaustor de cozinha, será utilizado um secador de cabelo comum de 1900 Watts. O exaustor de cozinha, tem como função exaurir fumaças, odores produzidos pelos elementos de cocção de cozinha.

Figura 26 - Secador de cabelo utilizado no Protótipo



Fonte: Próprio Autor

5.2 FERRAMENTAS PARA TESTE

O anemômetro digital é um instrumento de medição que tem como objetivo informar a velocidade do ar que está passando por dentro de alguma tubulação ou somente de uma hélice girando. O anemômetro pode ter várias unidades de medidas dependendo do modelo, o modelo apresentado na foto está programado com unidade de metro por segundo em sua leitura de medição.

Figura 27 - Anemômetro Digital utilizado no teste.



Fonte: Próprio Autor

O multímetro digital é um instrumento eletrônico de medição que pode medir corrente alternada, corrente contínua e resistência. É de fácil manuseio e leitura de valores da tensão e corrente.

Figura 28 - Multímetro utilizado no teste



Fonte: Próprio Autor

5.3 TESTES E RESULTADOS

Após a montagem do protótipo, foi realizado o teste inicial, com o secador de cabelo, em sua potência máxima e sem a função aquecimento ligado, dessa maneira fazendo que as pás do cooler girem e, conseqüentemente, fazendo que o mini motor gire também, pode -se concluir que é possível a geração de energia através do sopro de ar num espaço pequeno.

Antes de iniciar os testes, foi determinando a área livre de passagem do ar do cooler. Sendo Diâmetro maior menos o Diâmetro menor (considerado como área de obstrução). Utilizando o paquímetro convencional foi possível medir o diâmetro maior com o resultado de 7,6cm ou 0,076m (Raio de 0,038m) e o diâmetro menor com o resultado de 3,6cm ou 0,036m (raio de 0,018m). Obtidos esses dados, foi utilizado a fórmula abaixo para chegar no resultado da área livre de passagem de ar no cooler.

$$\text{Area livre} = \text{Area Maior} - \text{Area menor}$$

$$\text{Area livre} = \pi * (R^2 - r^2)$$

Tabela 12 - Cálculo da área livre

Área livre para passagem de ar do Cooler		
Raio Maior (m)	Raio Menor (m)	Área Livre (m²)
0,038	0,018	0,0035

Fonte: Próprio Autor

Depois de determinar a área livre para passagem do ar, foi realizado quatro testes utilizando o anemômetro digital para determinar a velocidade de ar que está passando pelo cooler e o multímetro para determinar o valor de tensão gerada pela velocidade. Para medir a velocidade, foram feitas 4 medições em cada testes, para determinar velocidade média de passagem do ar, conforme apresentado na tabela abaixo:

Tabela 13 - Dados obtidos durante os testes

Resultado dos Testes						
Pt1 (m/s)	Pt2 (m/s)	Pt3 (m/s)	Pt4 (m/s)	Velocidade Média (m/s)	Área Livre (m²)	Vazão (m³/h)
0,8	1,4	1,8	1,9	1,48	0,0035	18,68
1,4	1,5	1,9	2,0	1,70	0,0035	21,53
1,5	2,4	3,2	2,6	2,42	0,0035	30,62
2,2	2,4	2,9	3,1	2,65	0,0035	33,57

Fonte: Próprio Autor

Dessa forma, o propósito da montagem do protótipo é atendido a partir do raciocínio de que com os pares de valores obtidos de velocidade média e tensão elétrica, é possível processar tais dados estatisticamente para se obter uma curva de tendência que possa ser aproximada, a qual representa uma equação que pode ser utilizada para dados extrapolados.

Com essa extrapolação, pode-se estimar, dentro de uma faixa de erro, valores de tensão elétrica que podem ser gerados a partir de vazões de ar muito mais altos do que aqueles utilizados neste projeto.

Os testes realizados e seus respectivos resultados estão expostos na Tabela 13, abaixo.

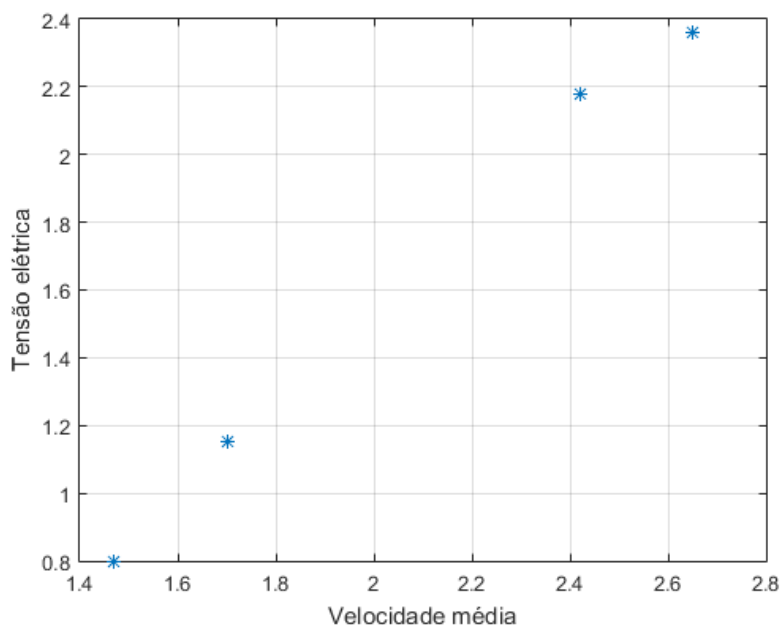
Tabela 14 – Dados obtidos experimentalmente

Teste	Velocidade média	Tensão elétrica gerada
1	1,47 m/s	0,80 V
2	1,70 m/s	1,15 V
3	2,42 m/s	2,18 V
4	2,65 m/s	2,36 V

Fonte: Próprio autor

Os dados obtidos e expostos na Tabela acima estão apresentados na Figura abaixo

Figura 29- Disposição dos dados experimentais



Fonte: Próprio autor

Percebe-se, pelo gráfico uma tendência linear dos dados, o que induz a utilização do

método estatístico de regressão linear, dado pela equação genérica

$$y = ax + b$$

cabendo, portanto, a determinação dos coeficientes a e b .

Pela regressão linear dos dados expostos, obtém-se os coeficientes $a = 1,321476$ e $b = -1,16154$, os quais aproximam os pontos com coeficiente de determinação $R^2 = 0,9946$, o que significa que a aproximação está 99,46% próxima dos valores reais.

Dessa forma torna-se possível aplicar os dados obtidos com o protótipo para as aplicações industriais. Deve-se ter em mente que a velocidade do fluxo em cozinhas industriais pode variar conforme necessidade no duto de exaustão. Por norma a velocidade mínima está no valor de 2,54 m/s e velocidade máxima de 12,5 m/s. Geralmente em projeto usa-se 1800 FPM ou 9,13 m/s.

Aplicando os valores mínimo, máximo e típico na equação da regressão linear, tem-se

Tabela 15 – Valores aplicados às situações industriais

Velocidade de fluxo	Equação	Tensão
2,54 m/s	$U = (1,321476 \cdot 2,54) - 1,16154$	2.1950 V
9,13 m/s	$U = (1,321476 \cdot 9,13) - 1,16154$	10.9035 V
12,5 m/s	$U = (1,321476 \cdot 12,5) - 1,16154$	15.3569 V

Fonte: Próprio autor

Ou seja, para este sistema de exaustão de cozinha baseado nas velocidades mínimas e máximas por norma, pode-se alcançar valores entre 2,19V a 15,36V.

6 CONCLUSÃO DO ESTUDO

Considerando os resultados obtidos com os testes no protótipo, podemos concluir a existência de uma linearidade entre a velocidade de ar com a tensão gerada, não tendo relação alguma com a vazão de ar diretamente, ou seja, independente da vazão de ar calculada no sistema de exaustão de cozinha, a geração e energia só será relevante considerando a velocidade máxima do ar permitida pela norma ABNT 14518 (2019), é no valor de 12,5m/s.

Além disso, existem três pontos cruciais na intervenção no sistema de exaustão de cozinha para geração de energia. O primeiro ponto é o trecho que deverá ser inserido o protótipo no sistema, pois apesar do projeto referência utilizar coifa lavadora, nem todos os projetos

seguem esse tipo de execução, podendo ser selecionado um lavador de gases no lugar, o que impediria a utilização do trecho do duto entre a coifa e o ventilador, devido as partículas de poluentes e gordura que diminuiriam o desempenho do protótipo.

O segundo ponto, de acordo com a norma ABNT 14518 (2019), os dutos deverão ser de chapa preta ao longo de seu trajeto, independentemente de sua classificação, ou seja, transformar fluido turbulento em fluido laminar seria possível somente em trechos de descargas de exaustão, desde que o protótipo siga as premissas da Norma ABNT 14518/2019, como resistência a alta temperatura, por exemplo, e também, nos trechos de descarga do shopping, pois mudança de dutos retangulares para redondos geralmente, teria menos impacto no pé direito nas áreas de público do que dentro de restaurante.

O terceiro e último ponto, a geração e energia por loja não seria bem aproveitada por um restaurante de rua, porém para diversos restaurantes dentro de um shopping, é possível estimar que cada restaurante gere 15Volts, tendo sua velocidade máxima fixada, ou seja quanto mais restaurantes maior a geração e energia, porém como as vazões de ar são calculadas conforme a necessidade de cada cozinha, a área de passagem de ar para manter a velocidade fixada, iria ser diferente para cada vazão de ar calculada, indicando que para cada restaurante deverá ser feito protótipo personalizado.

Apesar dos apontamentos, acima, o objetivo deste trabalho foi verificar a possibilidade de geração de energia nos sistemas de ventilação, pelos resultados dos testes apresentados, pode-se concluir que é possível a reutilização da descarga de ar para esta finalidade, também, pode-se verificar, de forma comparativa, o quanto poderia ser gerado num sistema de exaustão de cozinha qualquer.

REFERÊNCIAS

ABNT 14518, “Sistemas de Ventilação para Cozinhas Profissionais”. Segunda edição 30.09.2019

ABNT NBR 16401. “Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Primeira edição 04.08.2008.

ACKERMANN, Thomas. 2012. Wind power in power systems. 2a edição. John Wiley & Sons Ltd: Noida-India

AEROVENT. Sistema de Exaustão e Ventilação para Cozinha Profissional. Disponível em:< <http://www.aerovent.com.br/>>. <Acessado em 15 de novembro de 2022>

ANEEL, A.N.d.E.E. Atlas de energia elétrica do Brasil. Brasília, 2008.

ASHRAE. Fundamentals Handbook. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers - ASHRAE, v. 111, 2001.

BERLINER LUFT, “Ventowin Berliner Luft”, disponível em <https://ventowin.berlinerluft.com.br/login>, <Acessado 18 de novembro de 2022>

CAMARGO, L. A. Análise de escoamento em condutos forçados. Uso das equações de Darcy-Weisbach e de Colebrook-White. Web-site HidroTec Calculador, maio/2001.

CLEZAR, C. A; NOGUEIRA, A. C. R. Ventilação industrial. 2º ed. Ed. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2009.

CHAVEZ, E. L. Ventilação industrial aplicada à engenharia de segurança do trabalho. Apostila do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho da Escola Pitágoras (Pós Graduação), 2012.

CHEFSTOCK, “ChefStock”, disponível em : “https://www.chefstock.com.br/fogao-industrial-4-bocas-com-forno-tampa-inox-gastromixx-2732.html?gclid=CjwKCAiAmuKbBhA2EiwAxQnt79DUF_Et7bEwlaKPj8xuRQzW1epO_PPSVzH43AAclrEueurm2y54UhoCw1kQAvD_BwE < Acessado em 16 de novembro de 2022>

DAL PONTE, Enerdan Fernando et al. Construção e avaliação de um aerogerador de eixo vertical aplicado à agroindústria. 2017.

DE VECCHI, Rafael “A tecnologia e inovação aplicadas no mercado de energia eólica no Brasil” disponível em: <https://epbr.com.br/a-tecnologia-e-inovacao-aplicadas-no-mercado-de-energia-eolica-no-brasil/> <Acessado em 15 de novembro de 2022>

DISMUKES, John P.; MILLER, Lawrence K.; SALOCHA, Andrew; JAGANI, Sandeep; BERS, John A. 2007. PICMET 2007 Proceedings, 5-9 August, Portland, Oregon

FERREIRA, R; LEITE, B. M. C. “Aproveitamento de energia eólica”, disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/eolica/eolica.html> < Acessado em 15 de novembro>

GELESKI, André. Dimensionamento de um sistema de ventilação local exaustora para fumos metálicos. 2015. 37 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Horizontina, 2015. Disponível em: <<http://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2015/AndreGeleski.pdf>>. Acessado em 18 de novembro de 2022.

GONZALEZ, Mario “Prospecção Tecnológica para a Geração Eólica” disponível em: http://www2.ctee.com.br/brazilwindpower/2015/papers/mario_gonzalez.pdf. <Acessado em 16 de novembro de 2022>

JANNA, William S. Design of fluid thermal systems, 4th edition, 2016.

LISBOA, H.M. Controle da poluição atmosférica: ventilação industrial, 2007

PREVIEW, “Banco de Imagens” disponível em: <https://www.agenciapreview.com/fotos-do-parque-eolico-de-osorio/>. < Acessado em 10 de novembro de 2022>

MACINTYRE, Archibald Joseph “Ventilação Industrial e Controle da Poluição”, editora: ITC Grupo GEN. 1990

MELTING, “Melting Coifas”, disponível em: <https://meltingcoifas.com.br/> <Acessado em 15 de novembro de 2022>

MONTEIRO, V. 2009. Ventilação na Restauração e Hotelaria. Editora LIDEL, Portugal.

OLIVEIRA, A. Estudo de caso: análise da eficácia de um sistema de ventilação local exaustora utilizado para controle da sílica em uma indústria de borracha do Estado de São Paulo. 2016.141f. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho – FUNDACENTRO. São Paulo -SP, 2016. Disponível em: <<http://fundacentro.gov.br/biblioteca/bibliotecadigital/acervodigital/detalhe/2016/6/estudo-de-caso-analise-da-eficacia-de-um-sistemade-ventilacaolocal-exaustora-utilizado>>. <Acessado em 16 de novembro de 2022>

PEREZ, N. P. Sistemas Fluidomecânicos. disponível em: <www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/nestorproenzaperez/sfm-2014-aula-25.pdf>. <Acessado em 17 de novembro de 2022>

REIS, Pedro “Energia Eólica” disponível em: <https://www.portal-energia.com/energia-eolica> <Acessado em 17 de novembro de 2022>

SOLUÇÕES INDUSTRIAS, “Soluções Industriais” disponível em: <https://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/maquinas-e-equipamentos/arlintec/produtos/maquinas-ferramenta/coifa-com-filtro-industrial-1>, <Acessado em 15 de novembro de 2022>