



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS - CARAÚBAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

VÍCTOR RENNAN SANTOS OLIVEIRA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM VENTILADOR SEM PÁS CONSTRUÍDO
UTILIZANDO IMPRESSÃO 3D**

CARAÚBAS

2023

VÍCTOR RENNAN SANTOS OLIVEIRA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM VENTILADOR SEM PÁS CONSTRUÍDO
UTILIZANDO IMPRESSÃO 3D**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal Rural
do Semiárido, como requisito para a
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Luz Espindola

CARAÚBAS

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

O48a Oliveira, Víctor Rennan Santos.
Análise de desempenho de um ventilador sem pás
construído utilizando impressão 3d / Víctor Rennan
Santos Oliveira. - 2023.
52 f. : il.

Orientador: Rafael Luz Espindola.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2023.

1. Protótipo. 2. Construção. 3. Modelagem. 4.
Inventor. 5. Indução Do Vento. I. Espindola,
Rafael Luz , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

VÍCTOR RENNAN SANTOS OLIVEIRA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM VENTILADOR SEM PÁS CONSTRUÍDO
UTILIZANDO IMPRESSÃO 3D**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal Rural
do Semiárido, como requisito para a
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

APROVADA EM: 11/10/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof.º Dr. Rafael Luz Espindola – UFERSA
Presidente

Prof.ª. Dra. Italla Medeiros Bezerra – UFERSA
Primeiro Membro

Prof.º Dr. Rudson De Souza Lima – UFERSA
Segundo Membro

Dedico esse trabalho a minha família, por ter compreendido e suportado minha ausência durante esta jornada.

AGRADECIMENTOS

Queridos amigos, familiares, colegas e professores,

Hoje, estou transbordando de alegria e gratidão ao finalizar este ciclo na faculdade. Esta jornada foi repleta de desafios e aprendizados, e não teria sido possível sem o apoio incondicional daqueles que amo.

Primeiramente, quero expressar meu profundo agradecimento ao meu pai José Erivan, a minha mãe Roberta Rivelina e ao meu irmão Erivan Brunno, tudo o que alcancei é uma manifestação direta do amor, apoio e sacrifício que dedicaram a mim ao longo dos anos. Sei que esta conquista é de vocês tanto quanto é minha.

Aos meus amigos, quero dizer que cada gesto de amizade, cada palavra de encorajamento e cada momento compartilhado durante essa jornada foram inestimáveis e por isso sou eternamente grato.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), agradeço por proporcionar esta oportunidade de formação. A instituição não apenas me forneceu conhecimento acadêmico, mas também me ajudou a crescer como indivíduo.

Não posso deixar de mencionar meu orientador, o Professor Rafael Espindola. Sua orientação, conselhos e dedicação foram fundamentais para a realização da minha monografia. Você desempenhou um papel essencial nesta conquista, e por isso sou imensamente grato.

Aos membros da banca avaliadora, professores Hudson e Italla, agradeço por dedicarem seu tempo e conhecimento à avaliação do meu trabalho. Suas sugestões e insights contribuem significativamente para a qualidade do meu trabalho.

À medida que me despeço da vida acadêmica, espero que nossos caminhos se cruzem novamente, agora como colegas de profissão. Mal posso esperar para ver onde a engenharia mecânica nos levará e como contribuiremos para o mundo.

Mais uma vez, obrigado a todos por fazerem parte desta jornada. Estou emocionado e grato por cada momento, e ansioso pelo que o futuro reserva.

Com gratidão e carinho,

Víctor Rennan.

RESUMO

A presente monografia abordou a modelagem e a construção de um protótipo de um ventilador sem pás com um diâmetro de 15 cm, utilizando a tecnologia de impressão 3D. Este processo envolveu a compreensão do conceito e funcionamento dos ventiladores sem pás, a seleção do modelo a ser adotado para o protótipo por meio de pesquisa, a utilização do software INVENTOR para a modelagem, o emprego de uma impressora 3D para a fabricação das peças e a aplicação de acabamentos para a montagem, viabilizando, assim, a realização de testes das medições do vento. Adicionalmente, ao longo deste trabalho, foram apresentados todos os custos associados à construção do protótipo. Os objetivos do estudo incluem a confirmação da ocorrência do fenômeno de indução do vento, a avaliação da viabilidade da construção de um ventilador sem pás, utilizando um cooler de 12V como rotor do protótipo. Além disso, buscou-se fornecer recomendações destinadas a melhorar o desempenho e a eficiência do protótipo, com base nos resultados obtidos. Durante os testes, foi constatada a presença do fenômeno de indução do ar, juntamente com a necessidade de um rotor mais potente para garantir o funcionamento satisfatório do ventilador.

Palavras-chave: **Protótipo; Construção; Modelagem; Inventor; Indução Do Vento.**

ABSTRACT

This monograph addressed the modeling and construction of a prototype of a bladeless fan with a diameter of 15 cm, using 3D printing technology. This process involved understanding the concept and operation of bladeless fans, selecting the model to be adopted for the prototype through research, using the INVENTOR software for modeling, using a 3D printer to manufacture the parts and the application of finishes for assembly, thus making it possible to carry out wind measurement tests. Additionally, throughout this work, all costs associated with the construction of the prototype were presented. The objectives of the study include confirming the occurrence of the wind induction phenomenon, evaluating the feasibility of building a fan without blades, using a 12V cooler as the prototype's rotor. Furthermore, we sought to provide recommendations aimed at improving the performance and efficiency of the prototype, based on the results obtained. During the tests, the presence of the air induction phenomenon was noted, along with the need for a more powerful rotor to guarantee the satisfactory functioning of the fan.

Key words: **Prototype; Construction; Modeling; Inventor; Wind Induction.**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Arranjo de átomos em estados diferentes.....	15
Figura 2 - Exemplo do escoamento de diferentes viscosidades de óleo a -30°C.....	16
Figura 3 - Comportamento experimental do regime laminar	17
Figura 4 - Comportamento experimental do regime transitório	18
Figura 5 - Comportamento experimental do regime turbulento	18
Figura 6 - Exemplos de ventiladores sem pás.....	20
Figura 7 - Mecanismo de entrada e saída de fluxo de ar em um ventilador sem pás	21
Figura 8 – Parâmetros escolhidos para o perfil	23
Figura 9 – Perfil em 3D pronto para ser impresso	24
Figura 10 – Base do ventilador sem pás em 3D.....	24
Figura 11 – Conector do perfil com a base em 3D	25
Figura 12 – Componentes com diversos suportes	26
Figura 13 – Componentes após a retirada dos suportes.....	26
Figura 14 – Perfil após ajuste do ângulo de saída	27
Figura 15 – Ventilador montado	27
Figura 16 – Impressora 3d pro (gtmax3d core a2)	28
Figura 17 – Cooler escolhido.....	29
Figura 18 – Parafuso, Porca e arruela utilizados.....	29
Figura 19 – Vista interna traseira e superior da base	30
Figura 20 – Vista superior com base e conector encaixados	30
Figura 21 – Vista lateral com abertura realizada para passagem dos fios	31
Figura 22 – Fluxograma de montagem	31
Figura 23 – Anemômetro digital (MDA-01)	32
Figura 24 – Fonte de alimentação (FA – 3030)	33
Figura 25 – Multímetro (U1252B)	33
Figura 26 – Soprador de 2000 W (SC - 12).....	34
Figura 27 – Representação do procedimento de leitura da velocidade do vento do soprador acoplado ao ventilador	35
Figura 28 – Coleta de dados no ponto L2 utilizando o soprador acoplado ao ventilador.....	35
Figura 29 – Coleta de dados do soprador apontado diretamente na 1ª distância	36
Figura 30 – Coleta de dados em diversas áreas nas velocidades 01 e 02	37

Figura 31 – Leitura com o cooler preso.....	38
Figura 32 – Leitura com o cooler fixado à base.....	38
Figura 33 – Aparado montado para o teste do funcionamento do ventilador	39
Figura 34 – O filamento se destaca como o principal custo na fabricação do protótipo	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Análise comparativa entre o Soprador e o Soprador Acoplado ao Ventilador com foco na velocidade em relação à distância na velocidade 01	42
Gráfico 2 – Análise comparativa entre o Soprador e o Soprador Acoplado ao Ventilador com foco na velocidade em relação à distância na velocidade 02	43
Gráfico 3 – Análise comparativa entre o Soprador e o Soprador Acoplado ao Ventilador com foco na vazão em relação à distância na velocidade 01	44
Gráfico 4 – Análise comparativa entre o Soprador e o Soprador acoplado ao Ventilador com foco na vazão em relação à distância na velocidade 02	45
Gráfico 5 – Análise da relação velocidade média x tensão com o cooler operando de forma independente	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões da base.....	25
Tabela 2 – Dimensões do conector.....	25
Tabela 3 – Custos do projeto	41
Tabela 4 - Coleta das velocidades em todas as regiões do ventilador acoplado ao soprador	46
Tabela 5 – Velocidade média na saída imediatamente após o ar passar pelo cooler	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivo Geral.....	13
1.2	Objetivos Específicos	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Definição De Fluido	14
2.2	Viscosidade	15
2.3	Escoamento Laminar, Turbulento E Número De Reynolds	16
2.4	Equação De Bernoulli	18
2.5	Ventilador Sem Pás	20
3	MATERIAIS E METODOS	23
3.1	Projeto E Construção Do Dispositivo	23
3.1.1	Fluxograma De Montagem	31
3.2	Métodos Utilizados Para A Realização Dos Ensaios	32
3.2.1	Instrumentação	32
3.2.2	Teste Do Fenômeno	34
3.2.3	Teste Do Funcionamento Do Ventilador	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1	Custo Dos Materiais	40
4.2	Ênfase Na Relação Entre A Velocidade Média E Distância	42
4.3	Ênfase Na Relação Entre A Vazão E Distância.....	44
4.4	Teste Do Fenômeno De Indução Do Vento	45
4.5	Resultados Obtidos Com O Cooler De Forma Independente	46
4.6	Resultados Obtidos Com O Cooler Fixado À Base	47
5	CONCLUSÃO.....	48
6	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	49
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos e com o avanço da tecnologia, o interesse no desenvolvimento de ventiladores sem pás ou Bladeless Fan, como são mais conhecidos, vem como uma alternativa aos ventiladores convencionais. Esses tipos de ventiladores funcionam conduzindo o ar através de um rotor axial localizado em sua base.

Os ventiladores tradicionais apresentam algumas desvantagens, como potencial perigo, ruído excessivo, acúmulo de poeira e falta de mobilidade dependendo do tamanho. Em contraste, os ventiladores bladeless, eliminam as pás e adotam um design compacto, ruído menor, esteticamente atraente, seguro e portátil.

Um dos aspectos mais destacados dos ventiladores sem pás é a preocupação com a segurança, uma vez que eles eliminam as lâminas giratórias. Essa característica torna-os uma opção de ventilação mais segura, especialmente em ambientes com a presença de crianças ou animais de estimação.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar a modelagem e a construção de um ventilador sem pás, utilizando tecnologia de impressão 3D. A pesquisa visa compreender seu desempenho aerodinâmico e eficiência através de ensaios medindo velocidade de saída do vento.

Espera-se que os resultados deste estudo forneçam uma compreensão mais aprofundada sobre o desempenho desses ventiladores, permitindo uma análise sobre os aspectos aerodinâmicos, e velocidade resultante do vento. Com base nesses resultados, poderemos identificar possíveis melhorias e propor recomendações para aprimorar a eficiência e o desempenho.

1.1 OBJETIVO GERAL

Construir e analisar um protótipo de ventilador sem pás desenvolvido com tecnologia de impressão 3D.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral da pesquisa, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Entender o funcionamento do ventilador sem pás e seu princípio de geração de fluxo de ar.
- Realizar a modelagem do ventilador sem pás considerando os aspectos estruturais e aerodinâmicos.
- Construir um protótipo através de impressão 3D.
- Analisar os resultados dos ensaios para avaliar o desempenho aerodinâmico e a eficiência do ventilador.
- Propor recomendações para aprimorar o desempenho e a eficiência dos ventiladores sem pás com base nos resultados obtidos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O capítulo refere-se à fundamentação teórica sobre o tema do trabalho. Desta forma, serão apresentados os aspectos gerais sobre o ventilador sem pás.

2.1 DEFINIÇÃO DE FLUIDO

As substâncias podem existir em três estados fundamentais: sólido, líquido e gasoso, e em temperaturas muito altas, também pode existir o estado de plasma. Quando uma substância está no estado líquido ou gasoso, ela é chamada de fluido (ÇENGEL, 2006).

Nos sólidos, a tensão (força por unidade de área) é proporcional à deformação, ou seja, quanto mais você aplica uma força, mais o sólido deforma. Já nos fluidos, a tensão é proporcional à taxa de deformação, ou seja, à velocidade com que o fluido está se deformando. Quando uma força de cisalhamento constante é aplicada a um sólido, eventualmente ele para de se deformar em um ângulo de deformação fixo. Por outro lado, um fluido nunca para de se deformar e a taxa de deformação tende para um certo valor (ÇENGEL, 2006).

FOX (2010) diz que “Um fluido é uma substância que se deforma continuamente sob a aplicação de uma tensão de cisalhamento (tangencial), não importando o quão pequeno seja o seu valor.”

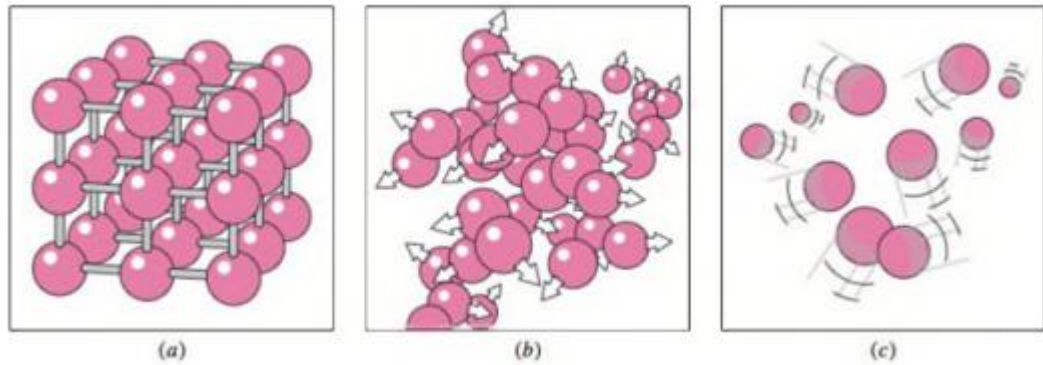
Já MUNSON (2004) define o fluido como “a substância que deforma continuamente quando submetida a uma tensão de cisalhamento de qualquer valor.”

No estado líquido, moléculas formam grupos que se movem em relação umas às outras, mantendo um volume quase constante devido a fortes forças de coesão. Isso faz com que o líquido adote a forma do recipiente em que está contido, e em recipientes maiores sujeitos à gravidade, uma superfície livre se forma. Em contraste, um gás se expande até encontrar as paredes do recipiente, ocupando todo o espaço disponível. Isso ocorre devido à maior distância entre as moléculas e às forças coesivas mais fracas. Diferentemente dos líquidos, os gases não desenvolvem uma superfície livre (ÇENGEL, 2006).

Observando a Figura 1, notamos que nos líquidos, as forças entre moléculas são mais fracas que nos sólidos (a), mas mais fortes que nos gases. Quando um sólido se torna líquido (b), as distâncias entre moléculas aumentam um pouco, exceto na

água. Em estado gasoso (c), as moléculas estão distantes e não há ordem molecular. Moléculas gasosas têm movimento aleatório, colidindo entre si e com as paredes do recipiente (ÇENGEL, 2006).

Figura 1 - Arranjo de átomos em estados diferentes



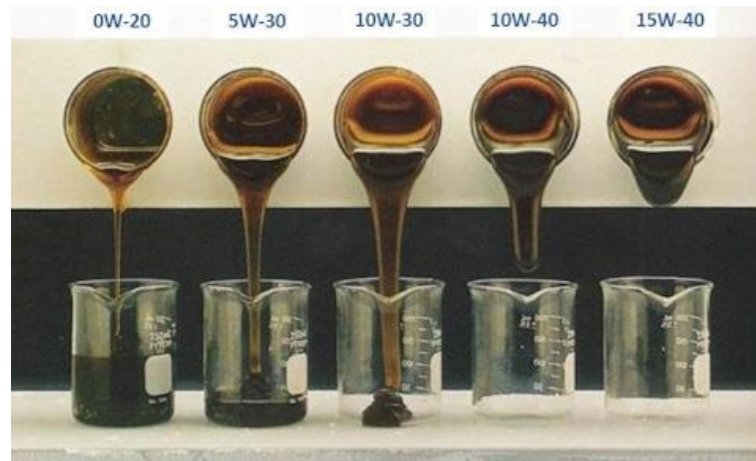
Fonte: Çengel (2006).

2.2 VISCOSIDADE

A viscosidade é a característica que mede a resistência interna de um fluido ao seu próprio movimento. Em outras palavras, ela reflete a força que o fluido exerce quando diferentes camadas dele deslizam umas sobre as outras. Quando um fluido em movimento empurra um objeto na direção do fluxo, cria-se uma força de arrasto cuja intensidade é influenciada pela viscosidade. Assim, a viscosidade de um fluido é a propriedade que define o grau de resistência que ele oferece quando sujeito a forças de cisalhamento (ÇENGEL, 2006).

FOX (2010) diz que “para um fluido, as tensões de cisalhamento aparecem devido ao escoamento viscoso. Desse modo, dizemos que os sólidos são elásticos e os fluidos são viscosos”. Na Figura 2 podemos notar como a diferença de viscosidade afeta o fluido.

Figura 2 - Exemplo do escoamento de diferentes viscosidades de óleo a -30°C



Fonte: Texoleo (S/D).

2.3 ESCOAMENTO LAMINAR, TURBULENTO E NÚMERO DE REYNOLDS

O movimento ordenado é chamado de laminar, onde o fluido forma camadas suaves e é comum em fluidos viscosos de baixa velocidade, como óleos. O movimento caótico é o turbulento, ocorrendo em altas velocidades e apresentando flutuações de velocidade. Fluidos de baixa viscosidade a altas velocidades, como o ar, geralmente têm fluxo turbulento. O tipo de fluxo influencia a energia necessária para bombear. Quando ocorre uma transição entre laminar e turbulento, é chamado de fluxo transitório. Os experimentos de Reynolds em 1883 levaram à criação do número adimensional de Reynolds (Re) (Equação 1), usado para determinar o tipo de fluxo em tubulações (ÇENGEL, 2006).

FOX explica como funciona um escoamento laminar e um turbulento:

Um escoamento laminar é aquele em que as partículas fluidas movem-se em camadas lisas, ou lâminas; um escoamento turbulento é aquele em que as partículas fluidas rapidamente se misturam enquanto se movimentam ao longo do escoamento devido a flutuações aleatórias no campo tridimensional de velocidades. (FOX, 2010, p.66)

$$Re_d = \frac{\rho V d}{\mu} \quad (1)$$

Onde,

“ ρ ” é a massa específica do fluido;
“ μ ” é a viscosidade dinâmica;
“ V ” é a velocidade no centro do escoamento;
E “ d ” é o diâmetro do duto.

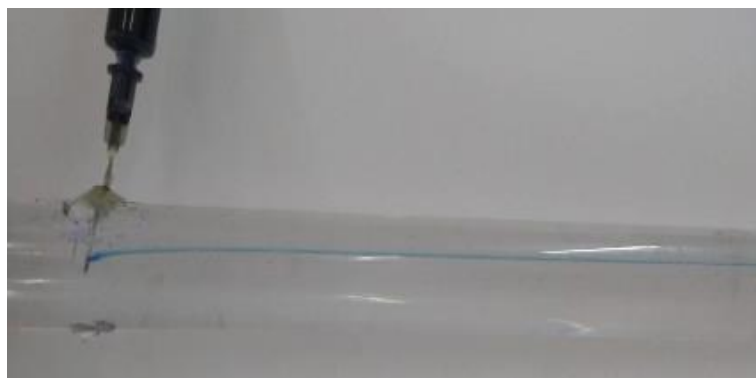
As Figuras 3,4 e 5 ilustram o experimento conduzido por Reynolds, no qual selecionou um fluido incompressível, como a água, e introduziu um fino fio de corante. Ao aumentar gradualmente a velocidade do fluxo, observou-se a evolução do comportamento do fluido.

Na ilustração da Figura 3, nota-se um estado de fluxo laminar, onde as características se mantêm consistentes, sem quaisquer variações nos movimentos das partículas.

No caso da Figura 4, a dinâmica muda drasticamente. Saindo do regime linear com o aumento da velocidade, as partículas fluidas adotam um comportamento caótico, um fenômeno conhecido como regime transitório.

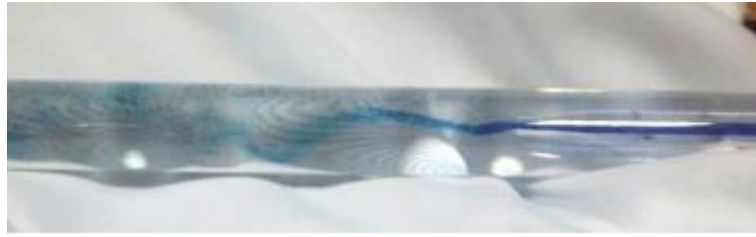
A Figura 5 representa o regime turbulento. As partículas seguem trajetórias irregulares, exibem movimentos rotacionais e, por vezes, até retrocedem em sua trajetória, criando uma dança imprevisível de movimentos.

Figura 3 - Comportamento experimental do regime laminar



Fonte: Klinger (2017).

Figura 4 - Comportamento experimental do regime transitório



Fonte: Gaspar (2017).

Figura 5 - Comportamento experimental do regime turbulento



Fonte: Gaspar (2017).

2.4 EQUAÇÃO DE BERNOULLI

Segundo o ÇENGEL (2006) “A equação de Bernoulli é uma relação aproximada entre pressão, velocidade e elevação”.

FOX (2010) apresenta algumas restrições da equação de Bernoulli:

- Escoamento em regime permanente;
- Escoamento incompressível;
- Escoamento sem atrito;
- Escoamento ao longo de uma linha de corrente.

Apesar de sua simplicidade, é útil na mecânica de fluidos. A aproximação é baseada na pequenez dos efeitos viscosos comparados a inércia, gravidade e pressão. Essa aproximação não é válida para todo o campo de fluxo devido à viscosidade dos fluidos. Contudo, em regiões específicas de fluxos práticos, onde os efeitos viscosos são pequenos em relação a outras forças, a equação de Bernoulli é aplicável. Isso não implica que nessas regiões não exista viscosidade, mas sim que os efeitos viscosos são insignificantes comparados a outras forças (ÇENGEL, 2006).

A aplicação da equação de Bernoulli exige cautela, limitando-se a áreas não viscosas do fluxo. Em geral, o atrito é significativo próximo a superfícies sólidas (camadas limite) e após obstáculos (esteiras). A aproximação de Bernoulli é mais útil em áreas de fluxo distantes dessas regiões, onde o movimento é influenciado principalmente pela pressão e gravidade (ÇENGEL, 2006). No caso de fluxos permanentes, as partículas que passam pelo mesmo ponto seguem o mesmo caminho (linha de corrente), e os vetores velocidade permanecem tangentes ao caminho (ÇENGEL, 2006).

A alteração de energia está relacionada ao trabalho executado pelo fluido enquanto se desloca entre as duas posições, conforme afirmado pelo Teorema do Trabalho da Energia Cinética. Dessa forma, obtém-se a Equação 2 (ÇENGEL, 2006).

$$E_2 - E_1 = F_1 \cdot S_1 - F_2 \cdot S_2 \quad (2)$$

Onde E_1 seria a energia potencial gravitacional, E_2 é a energia cinética, F a força e S seção transversal. A expressão que permite calcular a força é a seguinte (Equação 3):

$$F = P \cdot A \quad (3)$$

Onde P é a pressão e A seria a área da seção transversal. Assim, é possível reformular a Equação 3 da seguinte maneira na Equação 4:

$$p \cdot V \left(gh_2 + \frac{v_2^2}{2} \right) - p \cdot V \left(gh_1 + \frac{v_1^2}{2} \right) = (P_1 - P_2) \cdot V \quad (4)$$

Onde p é a densidade, V é o volume, g a gravidade, v a velocidade, h a altura. Organizando os componentes marcados com o subscrito 1 no lado esquerdo da equação e os marcados com o subscrito 2 no lado direito, pode-se reestruturar a Equação 4 e chegar à equação de Bernoulli (Equação 5):

$$p \cdot V \cdot g \cdot h_1 + p \cdot V \cdot \frac{v_1^2}{2} + P_1 \cdot V = p \cdot V \cdot g \cdot h_2 + p \cdot V \cdot \frac{v_2^2}{2} + P_2 \cdot V \quad (5)$$

É possível reformular essa Equação 5 dessa maneira (Equação 6):

$$p.V.g.h + p.V.\frac{v^2}{2} + P.V = \text{CONSTANTE} \quad (6)$$

2.5 VENTILADOR SEM PÁS

Introduzido por Gammack em 2009, os ventiladores sem pás são ideais para ambientes menores, sendo frequentemente utilizados como ventiladores de mesa. Com diferentes formatos e tamanhos, como mostrado na Figura 6, seu preço pode variar consideravelmente, embora ainda sejam considerados uma novidade no Brasil, esses tipos de ventiladores são bastante comuns na Ásia.

Figura 6 - Exemplos de ventiladores sem pás



Fonte: Americanas (2023) e Magazine Luiza (2023).

A Figura 7 ilustra o funcionamento dos ventiladores sem pás através de 5 etapas, na 1ª etapa o ar é conduzido através de um rotor axial localizado em sua base, fluindo para o interior do anel até sair na forma de um jato de ar por uma fenda estreita ao longo de toda a superfície interna do anel (2ª etapa). Devido a viscosidade, o jato arrasta o ar ambiente inicialmente parado, o que é conhecido como arrastamento viscoso (3ª etapa). À medida que este ar ambiente é atraído para o jato, mais ar ambiente deve tomar seu lugar (4ª etapa), promovendo o fluxo de ar ambiente que não passou pelo rotor na base em direção ao eixo do anel e em direção ao jato. Os efeitos combinados dos fluxos aspirados e arrastados atingem uma quantidade total

de cerca de 15 vezes a quantidade de ar que está sendo aspirada para a torre do ventilador (5ª etapa) (Gammack, 2009; Durdin, 2008).

Figura 7 - Mecanismo de entrada e saída de fluxo de ar em um ventilador sem pás



Fonte: Jafari (2015).

Os ventiladores convencionais apresentam algumas desvantagens. Por exemplo, há casos documentados, como relatado pelo Correio do Estado em 2018, quando uma hélice de ventilador se soltou e atingiu um adolescente na região ocular, um exemplo de potencial perigo. Além disso, esses ventiladores são conhecidos por produzir níveis elevados de ruído e ter propensão ao acúmulo de poeira. Em contrapartida, os ventiladores sem pás eliminam esses problemas, oferecendo um design compacto, esteticamente agradável, seguro, com baixo ruído e facilmente transportável.

Jafari (2015) investigou numericamente o efeito de diferentes parâmetros no desempenho de ventiladores sem pás. Os parâmetros examinados incluíam a altura da seção transversal do ventilador, o ângulo de saída do fluxo em relação ao eixo do aparelho, a espessura da fenda de saída do fluxo de ar, o diâmetro hidráulico e a relação de aspecto para seções transversais circulares e quadradas.

Os resultados obtidos por Jafari mostraram que a espessura da fenda de saída do fluxo de ar, no caso o diâmetro do bocal, é o parâmetro mais significativo na determinação da taxa de fluxo. Foi observado que a vazão volumétrica aumenta à medida que o diâmetro do bocal é reduzido.

Essa conclusão é importante, pois ressalta a influência direta da espessura da fenda de saída do fluxo de ar no desempenho dos ventiladores sem pás. Ao reduzir o diâmetro do bocal, é possível alcançar uma maior taxa de fluxo, o que pode ser benéfico em termos de eficiência e capacidade de ventilação.

Após suas análises, em 2016, Jafari avançou para a etapa de simulação e fabricação de um ventilador sem pás com um diâmetro de 60 cm, com o objetivo de investigar a viabilidade desses dispositivos para uso industrial. Através desse experimento, Jafari concluiu que ventiladores sem pás de grandes diâmetros são capazes de gerar vazão volumétrica suficiente, tornando-os adequados para aplicações industriais.

Jafari (2016) também realizou uma investigação numérica do ruído gerado pelo ventilador sem pás, utilizando a metodologia da Fonte de Ruído em Banda Larga (Broadband Noise Source - BNS) e o método de Ffowcs Williams e Hawkings. Os resultados obtidos revelaram que o ruído produzido aumenta à medida que a vazão volumétrica de entrada também aumenta.

Ao compreender a relação entre a vazão volumétrica de entrada e o ruído gerado, é possível buscar soluções para reduzir o nível de ruído, através de melhorias no projeto.

3 MATERIAIS E METODOS

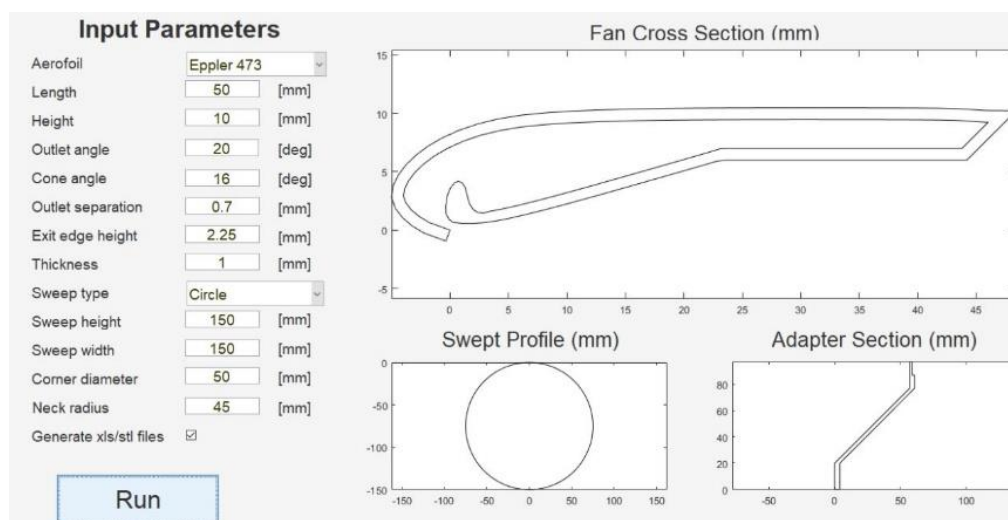
O projeto foi executado integralmente no Laboratório da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Caraúbas. Para melhor compreensão da metodologia adotada, o trabalho foi dividido em duas partes distintas: a primeira abrange o projeto e a construção do dispositivo, enquanto a segunda descreve os métodos utilizados para a realização dos ensaios da pesquisa.

3.1 PROJETO E CONSTRUÇÃO DO DISPOSITIVO

A metodologia da pesquisa adotada é quantitativa, partindo de revisão bibliográfica para fornecer uma base teórica sólida ao estudo. Essa revisão engloba conceitos fundamentais relacionados aos ventiladores sem pás, além de abordar as tecnologias utilizadas e explorar estudos anteriores relevantes.

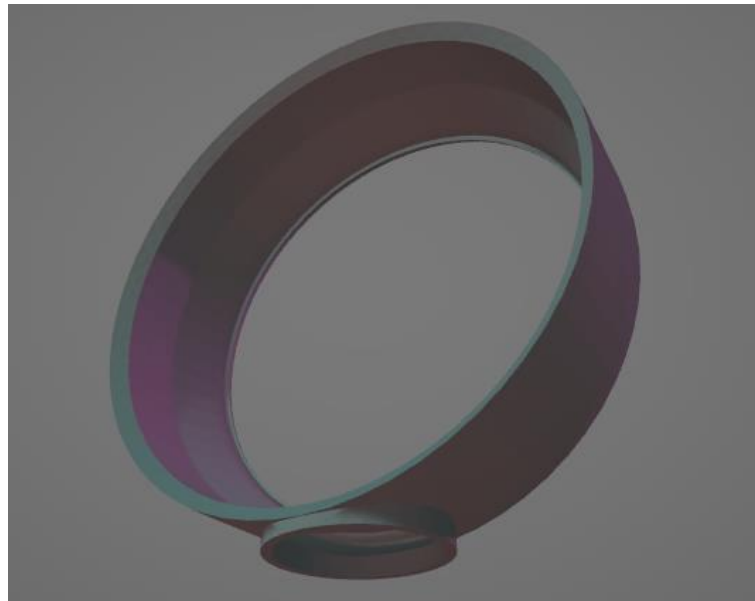
Para a construção do projeto, foi pensado em um modelo com três componentes principais: perfil, conector e base. Inicialmente foi discutido os parâmetros para o perfil do ventilador. Utilizando o software MATLAB para gerar o perfil com os parâmetros definidos e, em seguida, exportado o perfil para o software INVENTOR. Nesse ambiente, foi aperfeiçoado o perfil escolhido com base nos parâmetros estabelecidos na Figura 8, resultando em um arquivo 3D pronto para ser utilizado na impressão 3D como pode ser observado na Figura 9.

Figura 8 – Parâmetros escolhidos para o perfil



Fonte: Própria.

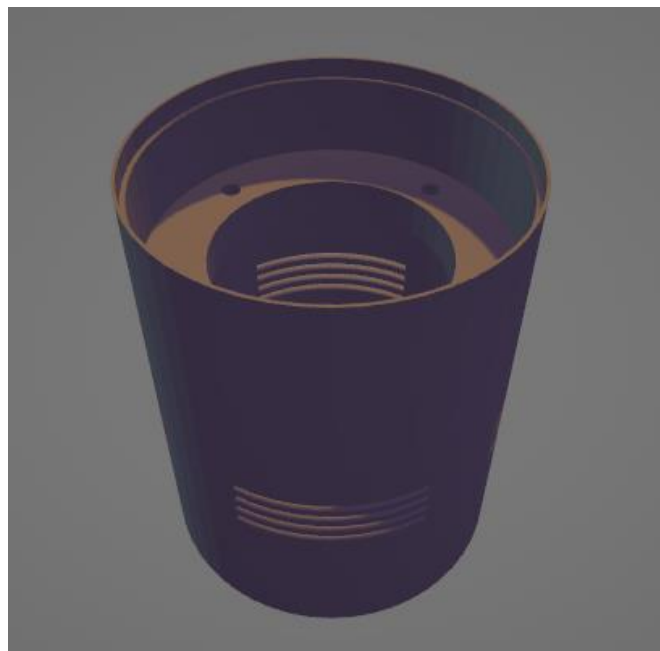
Figura 9 – Perfil em 3D pronto para ser impresso



Fonte: Própria.

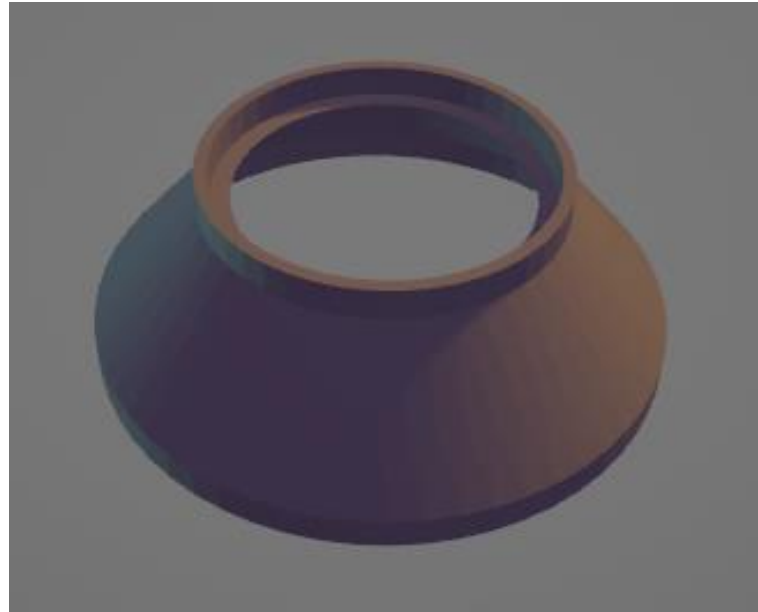
Com o Perfil finalizado, prosseguiu para uma nova fase de impressão em 3D, a fabricação da base como mostra a Figura 10 e do conector ilustrado na Figura 11.

Figura 10 – Base do ventilador sem pás em 3D



Fonte: Própria.

Figura 11 – Conector do perfil com a base em 3D



Fonte: Própria.

As Tabelas 1 e 2 apresentam as dimensões da base e conector no projeto.

Tabela 1 - Dimensões da base

Diâmetro externo	Diâmetro interno	Diâmetro interno da passagem do ar	Distância entre os furos	Altura do suporte do cooler	Abertura da passagem do ar	Altura
9,02 cm	8,63 cm	5,70 cm	5,00 cm	1,00 cm	0,2 cm	11,2 cm

Fonte: Própria.

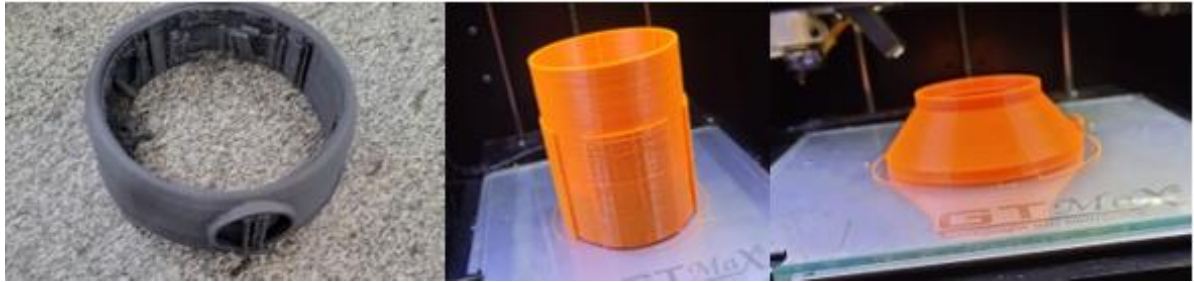
Tabela 2 – Dimensões do conector

Diâmetro interno menor	Diâmetro externo menor	Diâmetro interno maior	Diâmetro externo maior	Altura
4,50 cm	5,50 cm	8,62 cm	8,85 cm	3,00 cm

Fonte: Própria.

Após a impressão dos componentes (base, conector e perfil), foi realizada a remoção dos suportes produzidos durante a impressão. A Figuras 12 ilustra os componentes com diversos suportes e a Figura 13 apresenta os componentes após a retirada de todos os suportes.

Figura 12 – Componentes com diversos suportes



Fonte: Própria.

Figura 13 – Componentes após a retirada dos suportes



Fonte: Própria.

Com a retirada dos suportes foi aplicado silicone para vedar potenciais pontos de vazamento de ar, lixamento em algumas regiões e ajustes no ângulo de saída do ventilador como pode ser observado na Figura 14, visando garantir uma distribuição mais uniforme do ar.

Figura 14 – Perfil após ajuste do ângulo de saída



Fonte: Própria.

Nesse ponto, foi concluída a fase de fabricação dos componentes. A Figura 15 apresenta o ventilador montado.

Figura 15 – Ventilador montado



Fonte: Própria.

É relevante salientar que foi escolhido o filamento do tipo “ABS” e estava sujeito a restrições quanto ao tamanho do ventilador, devido às limitações da impressora 3D que foi usada na construção do protótipo. A Figura 16 apresenta o modelo de impressora 3D utilizada no trabalho “IMPRESSORA 3D PRO – GTMAX3D CORE A2”, cujas dimensões máximas de impressão eram de 20x20x20 cm. Diante dessa restrição, foi decidido desenvolver um protótipo do ventilador sem pás com um diâmetro de 15 cm para o seu perfil.

Figura 16 – Impressora 3d pro (gtmax3d core a2)



Fonte: So3d (2023).

Uma vez que a estrutura do protótipo foi construída, partiu para o processo de seleção do rotor a ser empregado. A escolha recaiu sobre um cooler da ChipSCE de dimensões 60x60x20 mm e alimentação de 12 Volts que atende às dimensões do projeto, como pode ser observado na Figura 17.

Figura 17 – Cooler escolhido

MICROVENTILADOR
12V - 60MM X 60MM



Fonte: Shopee (2023).

A seguir, as Figuras 18, 19, 20 e 21 ilustram o processo de fixação do cooler na base. Foram utilizados 04 parafusos (4mm x 35 mm), 04 porcas e 04 arruelas, um pouco de silicone para vedação e ajuda na fixação e lixamento para acabamento.

Figura 18 – Parafuso, Porca e arruela utilizados



Fonte: Própria.

Figura 19 – Vista interna traseira e superior da base



Fonte: Própria.

Figura 20 – Vista superior com base e conector encaixados



Fonte: Própria.

Figura 21 – Vista lateral com abertura realizada para passagem dos fios

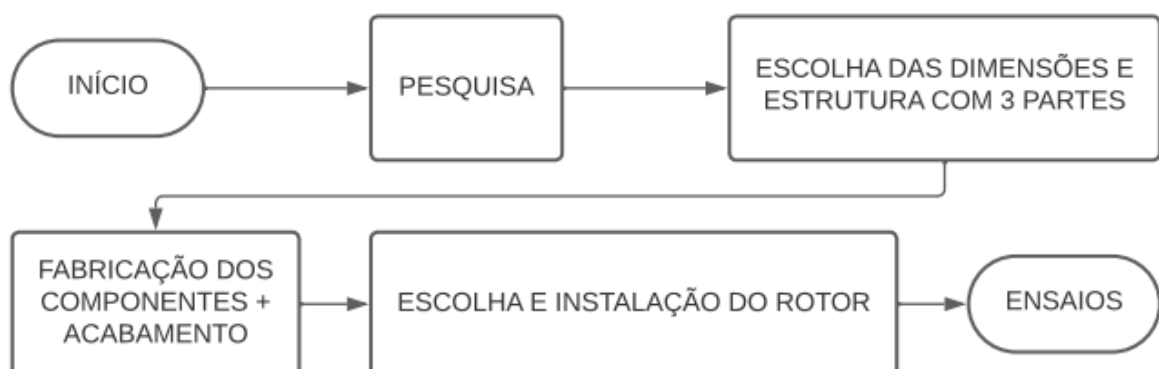


Fonte: Própria.

3.1.1 FLUXOGRAMA DE MONTAGEM

Para proporcionar uma visão mais clara do processo de projeto e construção do dispositivo, foi elaborado um fluxograma que pode ser consultado na Figura 22.

Figura 22 – Fluxograma de montagem



Fonte: Própria.

3.2 MÉTODOS UTILIZADOS PARA A REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Para a coleta de dados, foram conduzidos dois testes: um para confirmar o fenômeno de arrastamento viscoso e indução do ar através do anel do ventilador e outro para avaliar o funcionamento do ventilador.

3.2.1 INSTRUMENTAÇÃO

Para a coleta de dados durante o trabalho, foram utilizados alguns instrumentos de medição, incluindo um anemômetro digital modelo MDA-01 (Figura 23) para verificar a velocidade do vento em m/s, uma fonte de alimentação modelo FA – 3030 (Figura 24) e um multímetro modelo U1252B (Figura 25) para medir a corrente e a tensão. Além desses dispositivos, utilizou-se um soprador de 2000 W Modelo SC -12 (Figura 26) para realizar o teste do fenômeno de indução.

Figura 23 – Anemômetro digital (MDA-01)



Fonte: Própria.

Figura 24 – Fonte de alimentação (FA – 3030)



Fonte: Própria.

Figura 25 – Multímetro (U1252B)



Fonte: Própria.

Figura 26 – Soprador de 2000 W (SC - 12)

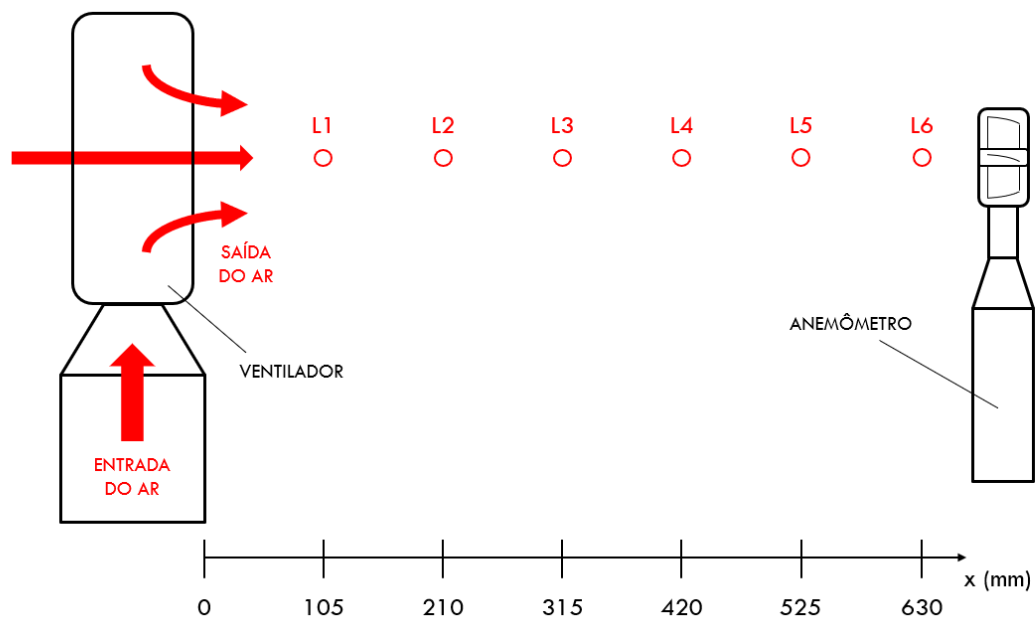


Fonte: Própria.

3.2.2 TESTE DO FENÔMENO

Para esse teste, foram obtidos dados de duas maneiras, o soprador acoplado ao ventilador e o soprador apontado diretamente. Assim, foi estabelecido um ponto fixo onde o soprador acoplado ao ventilador e o soprador sozinho iriam ficar. Em seguida, era variada a distância do anemômetro. Foram selecionadas seis distâncias diferentes, cada uma com um comprimento de 10,5 cm de distância em relação a outra, e em cada uma delas foram realizadas três medições da velocidade do vento. A Figura 27 apresenta um esboço do procedimento de leitura da velocidade do vento utilizando o ventilador. Os pontos L1 a L6 indicam as distâncias em relação ao ventilador em que foram feitas as medições utilizando o anemômetro.

Figura 27 – Representação do procedimento de leitura da velocidade do vento do soprador acoplado ao ventilador



Fonte: Própria.

O soprador utilizado possui dois níveis de velocidade. O teste teve início com o soprador acoplado ao ventilador utilizando o nível 01 de velocidade e procedemos com a coleta de dados do ponto L1 até o ponto L6. A Figura 28 ilustra o procedimento de coleta de dados, especificamente no ponto L2 com o soprador operando na velocidade 01.

Figura 28 – Coleta de dados no ponto L2 utilizando o soprador acoplado ao ventilador



Fonte: Própria.

Após a conclusão do primeiro teste na velocidade 01, foi repetido as mesmas seis medições, desta vez utilizando a velocidade 02 do soprador acoplado ao ventilador. Após o término, foi conduzido o mesmo teste nas duas velocidades do soprador, desta vez sem ele estar acoplado ao ventilador, como pode ser observado na Figura 29.

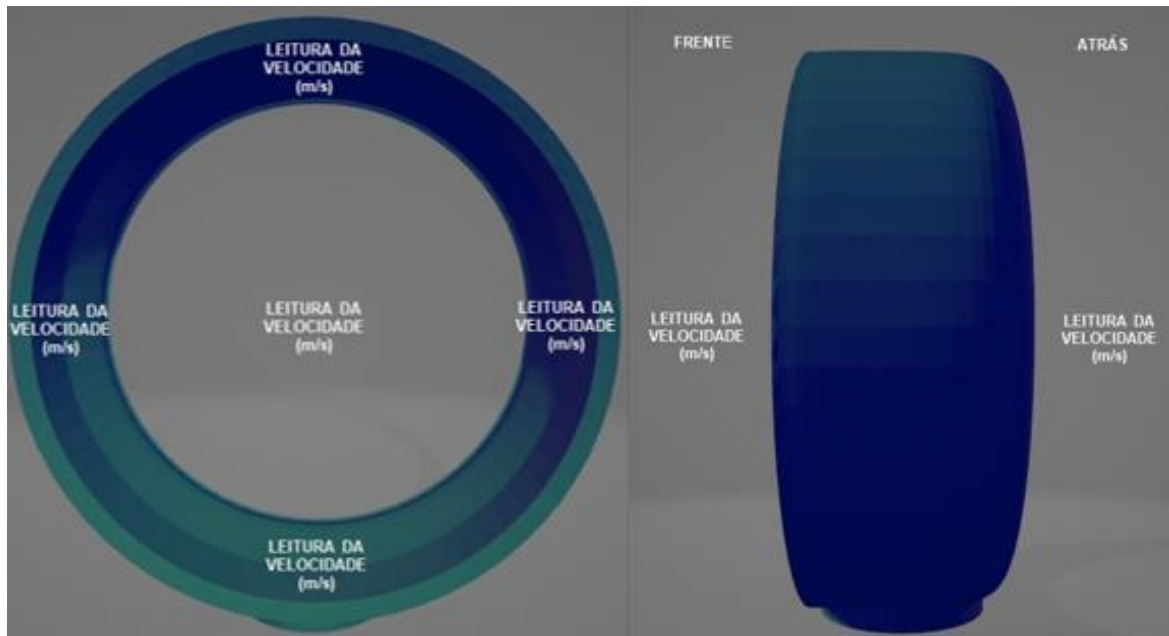
Figura 29 – Coleta de dados do soprador apontado diretamente na 1ª distância



Fonte: Própria.

Com todos os dados coletados, tanto com o soprador acoplado ao ventilador quanto com o soprador funcionando de forma independente, foi realizada uma nova coleta de dados em diversas áreas do ventilador acoplado ao soprador nas duas velocidades, incluindo a parte superior, direita, inferior, esquerda e traseira com foco especial na busca de efeitos de indução, como ilustrado na Figura 30.

Figura 30 – Coleta de dados em diversas áreas nas velocidades 01 e 02



Fonte: Própria.

3.2.3 TESTE DO FUNCIONAMENTO DO VENTILADOR

Foram conduzidos testes de desempenho do cooler em três configurações distintas: inicialmente, apenas com o cooler sozinho; em seguida, com o cooler acoplado à base; e por fim, com o ventilador montado junto ao cooler. Foram utilizados uma fonte de energia e um multímetro para verificar a tensão e corrente, além de um anemômetro digital para medir a velocidade do vento.

No primeiro teste, como mostrado na Figura 31, foi destinado a medir a velocidade do vento produzida pelo cooler isolado, foi fixado o cooler à bancada utilizando fita isolante. O anemômetro foi posicionado imediatamente à frente do cooler para registrar as medições. O teste foi realizado variando a tensão de 3 a 12V, registrando a leitura da velocidade do ar três vezes em cada incremento de voltagem.

Figura 31 – Leitura com o cooler preso



Fonte: Própria.

A Figura 32 ilustra o segundo teste, onde o cooler foi firmemente fixado à base e o anemômetro foi posicionado imediatamente acima dele. Realizaram-se três medições da velocidade do vento com a voltagem fixada em 12V, o que permitiu registrar a velocidade imediatamente após a saída do cooler.

Figura 32 – Leitura com o cooler fixado à base



Fonte: Própria.

Para o teste do funcionamento do ventilador, conforme demonstrado na Figura 33, o ventilador foi montado junto ao cooler. Para esse ensaio, foram utilizados a fonte

de alimentação, o voltímetro e o anemômetro para registrar os dados. Dessa forma, foram concluídos os experimentos.

Figura 33 – Aparado montado para o teste do funcionamento do ventilador



Fonte: Própria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, serão apresentados os custos com o projeto e os resultados de desempenho do ventilador acoplado ao soprador de 2000 W em comparação com o soprador de 2000 W operado diretamente. Devido à falha no teste com o ventilador montado junto ao cooler, apenas os resultados obtidos com o cooler isolado e com o cooler fixado à base serão apresentados.

4.1 CUSTO DOS MATERIAIS

Aqui serão apresentados todos os custos relacionados à criação do protótipo. Incluem na lista os materiais de fixação e acabamento, custo com o rotor escolhido e o custo com o filamento ABS.

Para a impressão 3D, foram necessários aproximadamente 60 metros de filamento ABS em um tempo de 38 horas e 25 minutos. De acordo com o técnico do laboratório responsável pela impressão do protótipo, o filamento ABS é comercializado por KG, contendo no mínimo 400 metros de filamento e custando, em média, R\$ 180 por quilo. Isso resulta em um valor unitário de R\$ 0,45 por metro de filamento. Considerando que o protótipo utilizou aproximadamente 60 metros de filamento, estimou-se um investimento total de cerca de R\$ 27,00.

Além disso, é necessário considerar o custo de operação da máquina, que pode ser calculado somando o custo do filamento com o custo de consumo de energia. No caso da região do Rio Grande do Norte, a tarifa de energia no mês de outubro de 2023 é de R\$ 0,689 por kWh, e a impressora tem uma potência de 350 watts. Assim, considerando também uma margem de lucro de 30%, o valor total com a impressão será R\$ 47,32.

É importante destacar que foi adquirido um adesivo de silicone, que teve um custo de R\$ 8,95. No entanto, dado que foi utilizado apenas uma pequena quantidade do produto, optou-se por não incluir seu custo no cálculo global do projeto.

A tabela 3 e a Figura 22 apresentam a soma de todos os componentes do projeto e a relevância de cada custo.

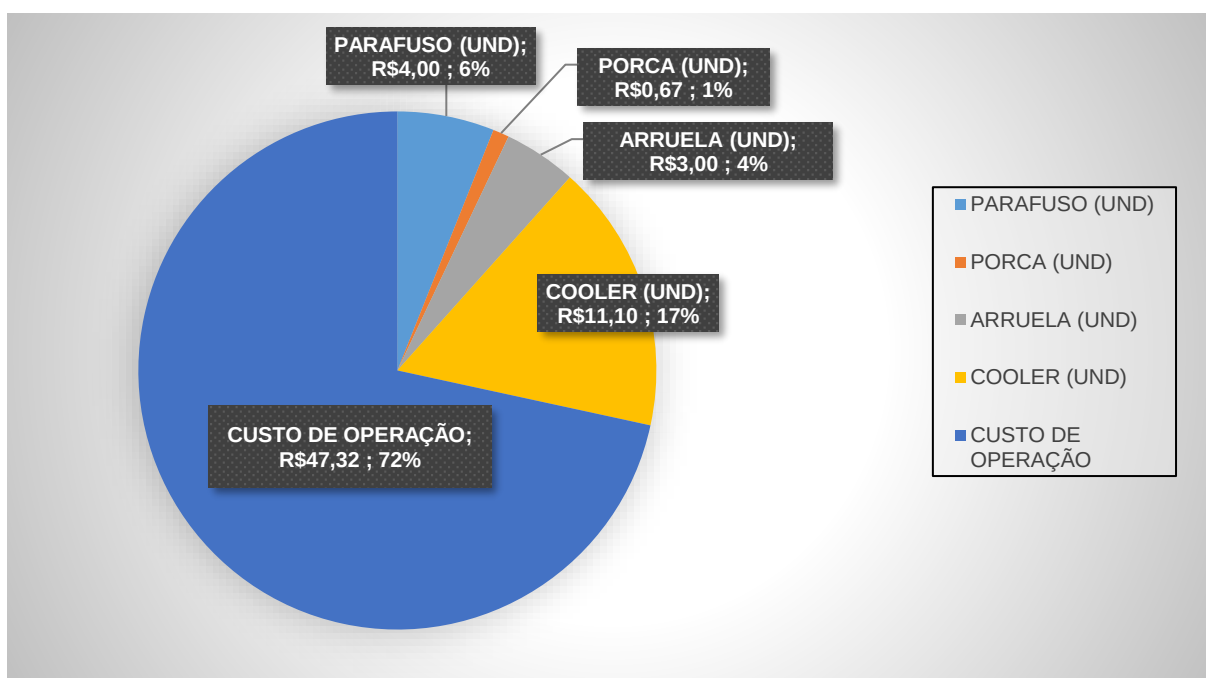
Tabela 3 – Custos do projeto

ITEM	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
PARAFUSO (UND)	04	R\$ 1,00	R\$ 4,00
PORCA (UND)	04	R\$ 0,17	R\$ 0,67
ARRUELA (UND)	04	R\$ 0,75	R\$ 3,00
COOLER (UND)	01	R\$ 11,10	R\$ 11,10
CUSTO DE OPERAÇÃO	01	R\$ 47,32	R\$ 47,32
TOTAL:			R\$ 66,09
LEGENDA =		UND = UNIDADE	

Fonte: Própria.

Analisando a Tabela 3, podemos concluir que o custo com a operação de impressão 3D é o principal fator no nosso projeto, representando aproximadamente 72% do valor total. Em seguida, vem o cooler, escolhido como rotor do protótipo, com 17% do custo do projeto, enquanto os outros 11% correspondem aos gastos com o acabamento e a fixação do protótipo, a Figura 34 ilustra a porcentagem no custo de cada componente no projeto.

Figura 34 – O filamento se destaca como o principal custo na fabricação do protótipo

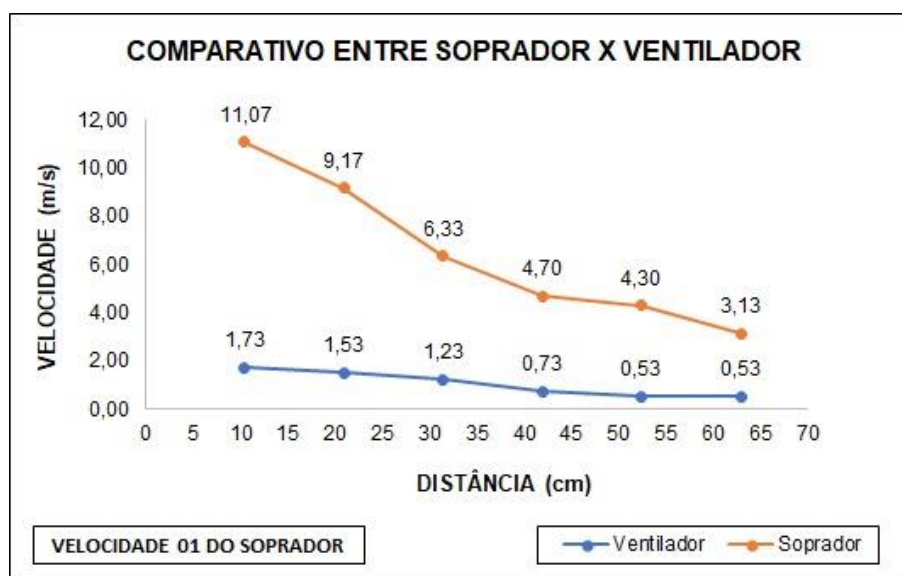


Fonte: Própria.

4.2 ÊNFASE NA RELAÇÃO ENTRE A VELOCIDADE MÉDIA E DISTÂNCIA

Para iniciar, no Gráfico 1 realizou-se uma comparação entre os dados obtidos nos testes com o soprador acoplado ao ventilador e o soprador apontado diretamente utilizando a velocidade 01 do soprador, com ênfase na relação entre a velocidade média e a distância. É possível perceber na distância de 10,5 cm que a velocidade do soprador é 6,4 vezes maior que a velocidade do ventilador. Essa diferença era esperada devido à perda de carga. Além disso, é possível notar que a redução da velocidade do ventilador do ponto L1 até o L6 (redução de 69,36%) é mais gradual em comparação com a do soprador (redução de 71,72%), provavelmente porque com a velocidade mais alta, as forças viscosas relacionadas com o atrito interno do fluido são maiores.

Gráfico 1 – Análise comparativa entre o Soprador e o Soprador Acoplado ao Ventilador com foco na velocidade em relação à distância na velocidade 01



Fonte: Própria.

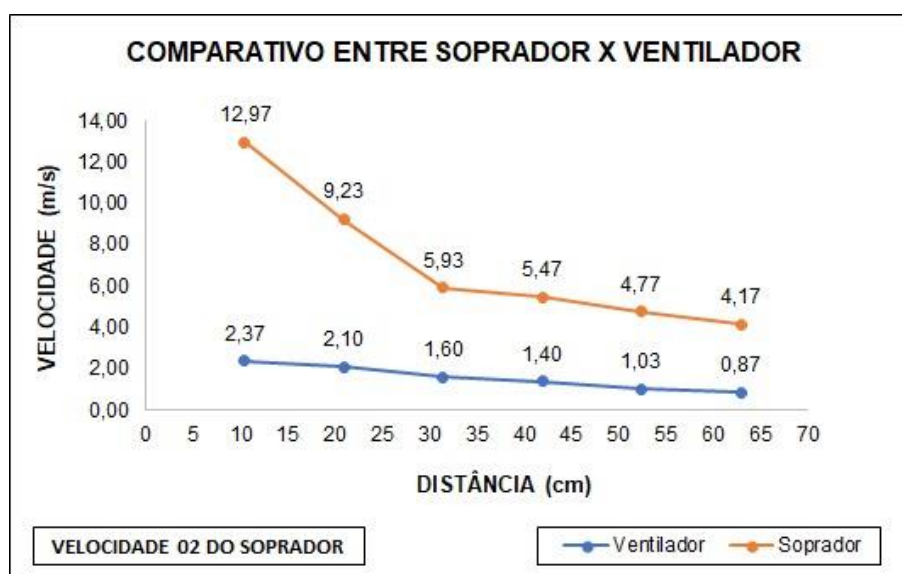
No Gráfico 2, na distância de 10,5 cm a velocidade do soprador é cerca de 5,5 vezes maior que a velocidade do ventilador acoplado, ou seja, essa distância entre eles diminuiu, observa-se também uma queda mais pronunciada nas três primeiras distâncias para o soprador na velocidade 02, em comparação com a velocidade 01. A redução da velocidade do ponto L1 até o L6 foi de 67,84% para o soprador e 63,29% para o ventilador. Notavelmente, essas reduções são menores do que as observadas

na velocidade 01 do soprador. Além disso, a 3ª distância do soprador foi a única em que a velocidade foi inferior em comparação ao teste anterior. Quanto ao ventilador, houve um leve aumento da velocidade em todas as distâncias, mantendo o mesmo comportamento de queda mais gradual, similar ao observado no teste com a velocidade 01.

A.S.H.R.A.E. (1997) define que, para as regiões mais quentes da América do Norte, a temperatura ideal situa-se em 25°C, podendo variar entre 23 e 27°C, sendo este valor aplicável a uma velocidade do ar de 0,5 m/s. Analisando os resultados do ventilador acoplado às duas velocidades do soprador, observamos que é possível atingir velocidades do ar superiores a 0,5 m/s em distâncias de até 60 cm.

Conforme a ABNT NBR 16401-2 (2008), que aborda o conforto térmico, para grupos homogêneos de pessoas vestindo roupas típicas da estação e envolvidos em atividades sedentárias ou leves, a faixa ideal de velocidade do ar do ambiente situa-se entre 1 m/s e 1,2 m/s. Com base nessa informação, é possível afirmar que, em distâncias de até 30 cm nas duas situações de velocidade do soprador, é viável atingir e até mesmo exceder essa velocidade recomendada.

Gráfico 2 – Análise comparativa entre o Soprador e o Soprador Acoplado ao Ventilador com foco na velocidade em relação à distância na velocidade 02



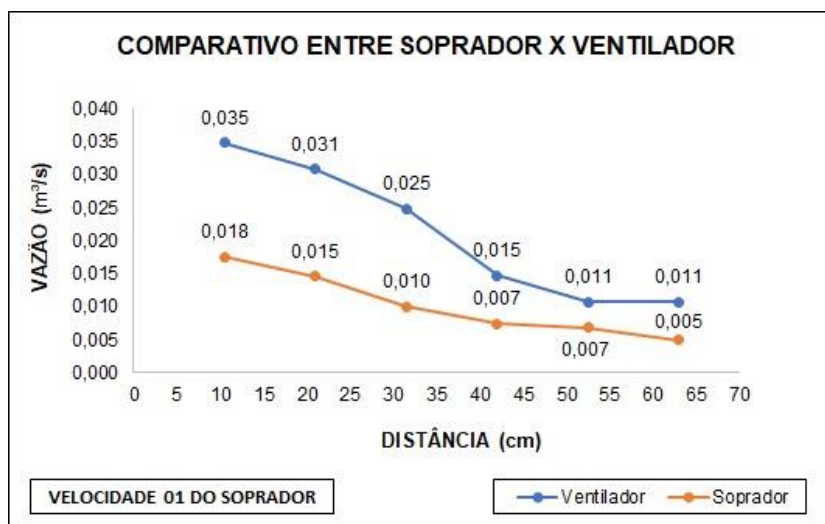
Fonte: Própria.

4.3 ÊNFASE NA RELAÇÃO ENTRE A VAZÃO E DISTÂNCIA

Neste tópico, serão apresentados os dados analisados com ênfase na relação entre vazão e distância, levando em consideração as duas velocidades do soprador, que foi utilizado como rotor para o teste, da mesma forma que nos experimentos anteriores.

Devido a área do ventilador ser maior que a do soprador era esperado que a vazão fosse maior no ventilador acoplado, pois ele vai induzir um maior fluxo de ar, apesar da menor velocidade ele movimenta uma quantidade maior de ar. Nesse primeiro caso, ilustrado no Gráfico 3, foi observado que a vazão do ventilador é 1,94 vezes maior que a do soprador no ponto L1 entre as duas vazões. Além disso, é possível notar uma mesma vazão nos pontos L5 e L6 do ensaio com o ventilador. Já quando utilizando o soprador, a mesma situação se repetiu, mas agora nos pontos L4 e L5.

Gráfico 3 – Análise comparativa entre o Soprador e o Soprador Acoplado ao Ventilador com foco na vazão em relação à distância na velocidade 01

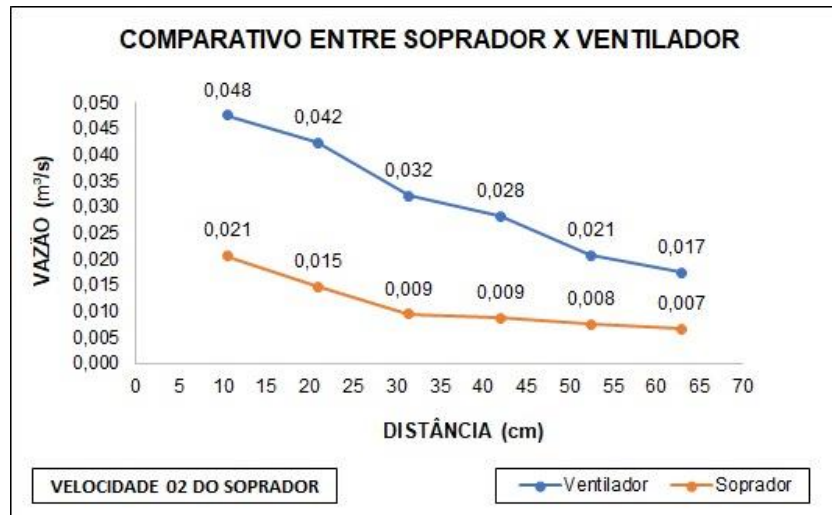


Fonte: Própria.

Ao analisar o Gráfico 4 em comparação com o Gráfico 3, observamos sutis diferenças em seus padrões. Nota-se um leve aumento nas vazões no Gráfico 04, com exceção do ponto L3 do ensaio com o soprador, onde a vazão na velocidade 02 é menor do que na velocidade 01. Além disso, é observado que no ventilador não há

mais distâncias com a mesma vazão, enquanto no soprador isso ocorre antes que na situação anterior, agora nos pontos L3 e L4.

Gráfico 4 – Análise comparativa entre o Soprador e o Soprador acoplado ao Ventilador com foco na vazão em relação à distância na velocidade 02



Fonte: Própria.

4.4 TESTE DO FENÔMENO DE INDUÇÃO DO VENTO

Através da coleta das velocidades em todas as regiões do ventilador foi possível medir a velocidade do ar na parte traseira do ventilador, que registrou 1,17 m/s. Essa observação confirma a presença do fenômeno de indução de vento, como mostrado na Tabela 4.

Foi notado, no entanto, que as velocidades obtidas ao redor do anel não eram uniformes, possivelmente devido a variações na abertura e no ângulo. É importante mencionar que um acabamento mais refinado poderia ter contribuído para resultados mais consistentes e melhores.

Tabela 4 - Coleta das velocidades em todas as regiões do ventilador acoplado ao soprador

POSIÇÃO	LEITURA (m/s) COM A VELOCIDADE 01 DO SOPRADOR	LEITURA (m/s) COM A VELOCIDADE 02 DO SOPRADOR
SUPERIOR	4,10	4,07
INFERIOR	2,13	1,08
ESQUERDA	2,13	2,23
DIREITA	1,03	1,07
FRENTE	2,20	2,17
ATRÁS	1,17	1,40

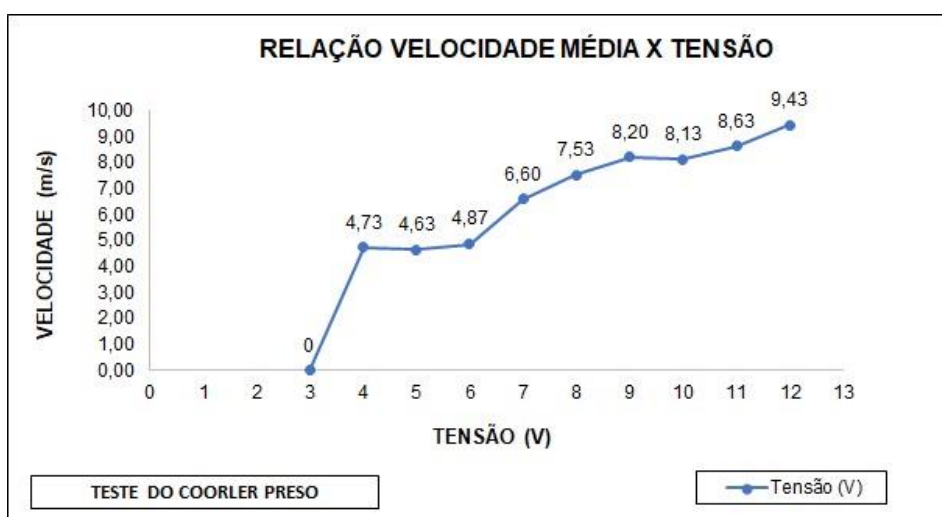
Fonte: Própria.

Ao comparar as duas velocidades do soprador é possível concluir que as velocidades nas áreas superior, central e inferior foram maiores na velocidade 01 em comparação com a velocidade 02 do soprador.

4.5 RESULTADOS OBTIDOS COM O COOLER DE FORMA INDEPENDENTE

No Gráfico 5, pode-se observar claramente a correlação entre a tensão e a velocidade média. À medida que a tensão aumenta, a velocidade média também aumenta, alcançando um pico de 9,43 m/s quando a tensão atinge 12 volts.

Gráfico 5 – Análise da relação velocidade média x tensão com o cooler operando de forma independente



Fonte: Própria.

4.6 RESULTADOS OBTIDOS COM O COOLER FIXADO À BASE

O objetivo do teste com o cooler fixado à base é capturar os resultados da velocidade do ar enquanto ele operava na sua voltagem máxima de 12V. Isso permitiu avaliar a velocidade de saída imediatamente após o ar passar pelo cooler, resultando em uma média de 17,83 m/s na saída do cooler montado na base como pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5 – Velocidade média na saída imediatamente após o ar passar pelo cooler

TENSÃO	VELOCIDADE (1)	VELOCIDADE (2)	VELOCIDADE (3)	VELOCIDADE MÉDIA
12 V	19 m/s	17 m/s	17,5 m/s	17,83 m/s

Fonte: Própria.

Ao comparar os resultados do Gráfico 5 e Tabela 5 da velocidade do vento gerada pelo cooler quando operando de forma independente com a velocidade na saída do cooler montado na base, é possível observar um aumento percentual significativo de 89,07% na velocidade do ar saindo do cooler montado. Isso indica um ganho considerável na velocidade. No entanto, mesmo com esse aumento, a velocidade não foi suficiente para superar a perda de carga e viabilizar a realização dos testes com o cooler no ventilador montado.

5 CONCLUSÃO

A baixa potência do rotor escolhido e a presença de perda de carga significativa indicam a necessidade de um rotor mais potente para gerar uma altura manométrica que atenda a demanda do projeto. Além disso, observou-se que o acabamento geral da impressão e a presença de defeitos de fabricação influenciaram negativamente no desempenho do ventilador.

Utilizando o soprador de 2000 W, foi comprovado o fenômeno de indução evidenciado pelo aumento da velocidade do ar da parte traseira para a parte frontal devido ao arrasto viscoso. Além disso, ele foi capaz de gerar uma velocidade do vento satisfatória em distâncias próximas, tornando-o adequado para utilização em ambientes como em cima de uma mesa de escritório, por exemplo.

Foi observado também algumas constatações significativas durante a análise como a uma distância de 10,5 cm, a velocidade do soprador é 6,4 e 5,5 vezes maior que a velocidade do ventilador acoplado ao soprador nas velocidades 01 e 02 devido à perda de carga. A vazão do ventilador acoplado é 1,94 vezes maior do que a do soprador no ponto L1, devido à área do ventilador ser maior do que a do soprador. Que quando o cooler opera isoladamente, ele atinge um pico de velocidade de 9,43 m/s quando a voltagem atinge 12 volts. E quando o cooler está montado na base, alcança uma média de 17,83 m/s na saída com 12 volts, representando um aumento percentual significativo de 89,07%. E que apesar desse aumento de velocidade, não foi possível superar a perda de carga e, conseqüentemente, não viabilizou a realização dos testes com o cooler no ventilador montado.

O custo total do projeto foi relativamente baixo, com um investimento de aproximadamente R\$ 66,09 para a construção e acabamento da estrutura, com o custo de impressão em 3D sendo responsável por 72% desse valor, além de R\$ 11,10 destinados ao rotor. Vale ressaltar que a opção por um rotor de melhor qualidade poderia elevar um pouco os custos do projeto, mas isso é de extrema importância para garantir o funcionamento eficaz do ventilador.

Este projeto não alcançou o resultado esperado, apesar de seguir rigorosamente todas as etapas projetadas, desde o planejamento inicial até o desenho no INVENTOR, a impressão em 3D das peças, o acabamento, a montagem e, por fim, os testes realizados.

6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Uma alternativa promissora para projetos futuros seria além de escolher um rotor de maior potência, realizar simulações computacionais, considerar a utilização de materiais de impressão diferentes, juntamente com uma impressora de maior qualidade e tamanho. Isso pode contribuir significativamente para melhorar a qualidade geral do projeto.

7 REFERÊNCIAS

Americanas. **Ventilador de mesa ultra-silencioso com íons negativos e sem lâminas de ar.** Disponível em : https://www.americanas.com.br/produto/7399179443/ventilador-de-mesa-ultra-silencioso-com-ions-negativos-e-sem-laminas-de-ar?opn=YSMESP&epar=bp_pl_px_go_pmax_clima_3p_outros_geral_2&WT.srch=1&offerId=64778bde579fbc8d913e8ca5&gclid=CjwKCAjwh8mIBhB_EiwAsztdBMgN61cajALLiX8ZrTR-vlwNV23po44gk3glnY6HbBB13Aft8QCC9hoC37UQAvD_BwE Acesso em: 15 de jul. de 2023.

ASHRAE. **Handbook of fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 1977.** Disponível em: <https://www.worldcat.org/pt/title/ashrae-handbook-product-directory-1977-fundamentals-an-instrument-of-service-prepared-for-the-profession-containing-a-technical-data-section-of-reference-material-pertaining-to-systems-for-heating-refrigerating-ventilating-and-air-conditioning/oclc/3904780>. Acesso em: 03 de set. de 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-2: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários Parte 2: Parâmetros de conforto térmico.** Rio de Janeiro, p. 3. 2008. Disponível em: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM374/NBR_16401-2_2008.pdf. Acesso em: 09 jul. 2023.

BLADELESS FAN CLUB. **Bladeless fans and their flows.** [Vídeo online]. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=VLD8E2UraXw>. Acesso em: 30 jun. 2023.

ÇENGEL, YUNUS A. 2006. **Mecânica dos Fluidos, Fundações e Aplicações.** Mc. Graw Hill. Acesso em: 03 de set. de 2023.

Durbin, Jill, 2011. **Inventing the 21st Century': An Exhibition at the British Library.** World Patent Information, Elsevier, vol. 33(2), pag 190-191, junho. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0172219011000044>. Acesso em: 15 de jul. de 2023.

GASPAR, L. M. R.; BRAGA, M. H.; BARRETO, M. R.; CONCEIÇÃO, E. A.; BARROS, P. M. **Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana n.4.** 2017. pp. 32-38. Disponível em https://www.fsma.edu.br/RESA/Edicao4/FSMA_RESAS_2016_2_04.pdf. Acesso em: 06 set. 2023.

JAFARI, M.; AFSHIN, H.; FARHANIEH, B.; BOZORGASAREH, H. **Numerical Aerodynamic Evaluation and Noise Investigation of a Bladeless Fan.** 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/265554248_Numerical_Aerodynamic_Evaluation_and_Noise_Investigation_of_a_Bladeless_Fan. Acesso em: 15 de jul. de 2023.

JAFARI, M.; AFSHIN, H.; FARHANIEH, B.; BOZORGASAREH, H. **Experimental and Numerical Investigation of a 60cm Diameter Bladeless Fan.** 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/299583470_Experimental_and_Numerical_Investigation_of_a_60cm_Diameter_Bladeless_Fan. Acesso em: 15 de jul. de 2023.

KLINGER, CAROLINE; LEIDENS, NATALY; NUNES, ISAAC D. S. **Construção De Módulo De Reynolds Para Visualização Dos Regimes De Escoamento Aplicado Ao Ensino De Mecânica Dos Fluidos.** 2017. Disponível em: https://san.uri.br/sites/anaais/ciecitec/2017/resumos/poster/trabalho_2756.pdf. Acesso em: 06 set. 2023.

LOVATTO, MARCO LEONARDELLI. **Como funciona o ventilador Dyson.** Blog de Simulação Computacional em Engenharia, Disponível em: <https://uxcfid.com/2017/05/31/como-funciona-o-ventilador-dyson/>. Acesso em: 30 jun. 2023.

Magazine Luiza. **Ventilador sem Hélices - Neovent**. Disponível em: <https://www.magazineluiza.com.br/ventilador-sem-helices-neovent/p/204451600/ar/arvm/>. Acesso em: 15 de jul. de 2023.

Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H. **Fundamentos da Mecânica dos Fluidos**. 4ª edição. Editora Edgard Blucher. Acesso em: 06 set. 2023.

Oliveira, Aline. **Adolescente sofre acidente com hélice de ventilador e precisa de cirurgia**. Correio do Estado. 2018. Disponível em: <https://correiodoestado.com.br/cidades/adolescente-sofre-acidente-com-helice-de-ventilador-e-precisa-de-cirurgia/343919/> Acesso em: 15 de jul. de 2023.

Pereira, Jorge Emanuel. **Óleos de baixa viscosidade**. Disponível em: <https://blog.texoleo.eu/oleos-baixa-viscosidade/>. Acesso em: 09 set. 2023.

P.D. Gammack, F. Nicolas, K.J. Simmonds. **Bladeless Fan, in: Patent Application Publication**. US 2009/0060710A1. United States, 2009. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/7a/2a/a5/bf6e222c423ea8/US8308445.pdf>. Acesso em: 15 de jul. de 2023.

R. W. Fox, A. T. McDonald e P. J. Pritchard, **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 8ª. Edição. LTC Editora. 2014. Acesso em: 06 set. 2023.

SHOPEE. **Product**. Disponível em: https://shopee.com.br/product/833372271/21054810812?d_id=c55f3&utm_content=3FsqWdQYYi1e8jaE1aRhLGNUoSw1. Acesso em: 03 de set. de 2023.

SO3D. **Impressora 3D Pro GTMAX3D Core A2**. Disponível em: <https://so3d.com.br/loja3d/impressora-3d-pro-gtmax3d-core-a2/>. Acesso em: 03 de set. de 2023.