

Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG
Curso de Engenharia Mecânica

MATEUS RODRIGUES SOUZA
WEVERTON MARQUES SILVESTRE

**SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA POR
CONDENSAÇÃO PARA APLICAÇÃO EM PROTÓTIPO DE IRRIGAÇÃO POR
GOTEJAMENTO**

Publicação N° VII

Goianésia - GO
2023

FICHA CATALOGRÁFICA

SOUZA, MATEUS RODRIGUES; SILVESTRE, WEVERTON MARQUES

Estudo Simulação de Desempenho de Sistema de Captação de Água por Condensação para Aplicação em Protótipo de Irrigação por Gotejamento 2023 vii, 24P, 297 mm (ENM/FACEG, Bacharel, Engenharia Mecânica, 2023).

ARTIGO – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Mecânica.

- | | |
|---------------------|--------------------|
| 1. Sustentável | 2. Arduino |
| 3. Escassez hídrica | 4. Climáticas |
| 5. Simulação | |
| I. ENM/FACEG | II. Título (Série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOUZA, M. R.; MARQUES M. S. Estudo Simulação de Desempenho de Sistema de Captação de Água por Condensação para Aplicação em Protótipo de Irrigação por Gotejamento, Publicação VII 2023/2 Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, Goianésia, GO, 24p. 2023.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Mateus Rodrigues Souza, Weverton Marques Silvestre

TÍTULO DO TRABALHO DO ARTIGO: Estudo Simulação de Desempenho de Sistema de Captação de Água por Condensação para Aplicação em Protótipo de Irrigação por Gotejamento

GRAU: Bacharel em Engenharia Mecânica ANO: 2023

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.


 Mateus Rodrigues Souza
 Goianésia - Goiás – Brasil


 Weverton Marques Silvestre
 Goianésia - Goiás – Brasil

**MATEUS RODRIGUES SOUZA
WEVERTON MARQUES SILVESTRE**

**SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA POR
CONDENSAÇÃO PARA APLICAÇÃO EM PROTÓTIPO DE IRRIGAÇÃO POR
GOTEJAMENTO**

Publicação Nº VII

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, EM FORMA DE ARTIGO,
SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA FACEG**

Aprovados por:



**Ivandro José de Freitas Rocha, Me. (FACEG)
(ORIENTADOR)**



**Marinés Chiquinquirá Carvajal Bravo Gomes, Dra. (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**Ariane Mártins Caponi Lima, Me. (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**Goianésia - GO
2023**

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA POR CONDENSAÇÃO PARA APLICAÇÕES EM IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

Mateus Rodrigues Souza¹
Weverton Marques Silvestre²
Me. Ivandro José de Freitas Rocha³

RESUMO

A crescente demanda global por água doce, impulsionada pela irrigação agrícola, destaca a necessidade de métodos sustentáveis de captação. O sistema *WaterSeer*, uma inovação da VICI Labs, extrai água do ar em regiões áridas, apresentando potencial solução para escassez hídrica. Alimentado por energia eólica, o *WaterSeer* se destaca pela sustentabilidade e método de extração de água por condensação. A incorporação ao processo de irrigação por gotejamento promete avanços significativos na agricultura. O estudo buscou avaliar a eficiência dessa integração, analisando a capacidade de captação, adaptação da água ao gotejamento e impactos econômicos e ambientais. As análises foram conduzidas na Faculdade Evangélica de Goianésia, utilizando a análise do desempenho do protótipo *WaterSeer*. Realizou-se o dimensionamento com auxílio de software e projetos em 3D, além do cálculo diário do rendimento do protótipo simulado, incluindo o desenvolvimento de um sistema de irrigação por gotejamento automatizado. A pesquisa contribui para entender a eficácia do *WaterSeer* e sua aplicação sustentável em condições locais, destacando seu potencial para otimizar a gestão hídrica em regiões propensas à escassez de água. A análise do protótipo revelou uma produção diária de 38 litros, influenciada pelas variações climáticas sazonais, destacando eficácia máxima em janeiro (55 litros/dia). O sistema demonstrou atender às demandas de irrigação, preservando a umidade eficientemente. A abordagem conservacionista do *WaterSeer*, reduzindo desperdícios, promoveu irrigação eficiente, evidenciada nos resultados. Desafios quanto aos custos de fabricação, especialmente relacionados à impressão 3D em larga escala, foram identificados, demandando inovações para viabilidade econômica. O estudo destaca o potencial do *WaterSeer* como solução promissora, enfatizando a necessidade de ajustes contínuos para aplicabilidade prática e sustentabilidade.

Palavras-chave: Sustentável. Arduino. Escassez hídrica. Climáticas. Simulação.

¹ Discente do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Evangélica de Goianésia (FACEG). E-mail: mateusrs1508@gmail.com

² Discente do curso de Engenharia Civil da Faculdade Evangélica de Goianésia (FACEG). E-mail: wevertonvertonsilvestre100@hotmail.com

³ Me., professor do curso da Faculdade Evangélica de Goianésia. E-mail: ivandro.rocha@faceg.edu.br

1 INTRODUÇÃO

O uso responsável e sustentável da água é um tema importante nos debates atuais. A irrigação é um dos principais fatores que contribuem para o crescente consumo de água doce no mundo, impulsionado pela demanda cada vez maior por alimentos. Isso ocorre porque a agricultura representa aproximadamente 70% do consumo global de água doce (FAO, 2014). O aumento desse consumo levanta dúvidas sobre a disponibilidade futura de água, especialmente em locais naturalmente mais secos, onde a escassez hídrica está se tornando ainda mais prevalente (AMBIENTAIS, 2018).

É fundamental buscar métodos de extração de água, especialmente em locais áridos. A extração superficial e subterrânea são as formas mais comuns que frequentemente causam problemas ambientais significativos, como a diminuição do lençol freático, afetando tanto o abastecimento humano quanto os ecossistemas aquáticos (UNESCO, 2021). Nesse contexto, técnicas inovadoras, como a extração de água da atmosfera, é uma alternativa viável para regiões carentes de recursos tradicionais. O sistema *WaterSeer* é um excelente exemplo de um dispositivo projetado para extrair água da umidade do ar em locais áridos onde não há um alto volume de água potável disponível (DISTASIO, 2016).

O *WaterSeer*, desenvolvido pelos VICI Labs, é uma solução inovadora para a captação de água em ambientes áridos. Sendo composto por um reservatório subterrâneo e uma torre responsável pela coleta de ar (CORRAIDE, 2018). Durante esse processo, o ar condensa e se transforma em água potável. A sustentabilidade do dispositivo é notável, pois é alimentado principalmente por energia eólica (DISTASIO, 2016). Um futuro mais sustentável em relação à disponibilidade de água em locais onde a escassez hídrica é mais provável, sendo uma alternativa promissora.

A crescente escassez de recursos hídricos, particularmente em regiões semiáridas como o nordeste brasileiro, exige soluções inovadoras (AMBIENTAIS, 2018). A utilização de um sistema de coleta de água por condensação sustentável pode ser um passo importante para resolver esse problema, especialmente se fornecer uma fonte confiável de água para sistemas de irrigação por gotejamento, o que representa um avanço significativo para a agricultura local. Além disso, a adoção de tecnologias sustentáveis, como a coleta por condensação, é uma alternativa importante para reduzir a dependência de fontes não renováveis e reduzir os efeitos ambientais causados pela exploração de águas superficiais e subterrâneas (JARIMI, 2020).

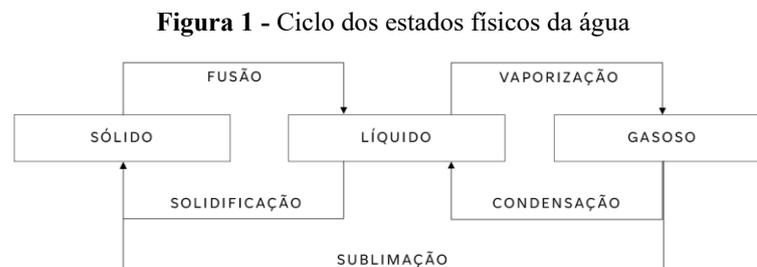
A pesquisa visa analisar a eficiência da integração do sistema *WaterSeer* ao processo de irrigação por gotejamento, otimizando a gestão hídrica em regiões suscetíveis à escassez de água. Sendo avaliado a capacidade de captação do sistema e adequação da água coletada ao processo de irrigação por gotejamento e as características climáticas locais. Além disso, busca-se realizar uma avaliação abrangente dos aspectos econômicos e ambientais do sistema implementado, incluindo análise de custos, benefícios ambientais e possíveis economias de água (GETIE, 2020).

O artigo proposto busca promover práticas agrícolas mais sustentáveis, integrando a produção de alimentos a uma gestão eficiente dos recursos hídricos. A análise do desempenho do *WaterSeer* revelará a sinergia entre um dispositivo de extração de água por condensação e um sistema de irrigação por gotejamento, destacando a viabilidade do uso sustentável da água na agricultura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A condensação é um processo físico em que uma substância gasosa se transforma em líquida quando a temperatura ambiente cai abaixo da temperatura de saturação. Esse fenômeno ocorre devido à perda de energia, transferindo calor do vapor para o ambiente, seguindo o princípio termodinâmico de transferência de energia de pontos mais quentes para mais frios até o equilíbrio térmico (POZZOBON, 2015). Choques térmicos, onde a temperatura de saturação da superfície é inferior à do vapor, também podem causar condensação, resultando em rápida perda de energia e transformação do vapor em líquido (POZZOBON, 2015). Esse processo é comumente utilizado em aplicações práticas, como em sistemas de ar-condicionado, onde o ar quente entra em contato com a serpentina do condensador, fazendo o vapor de água condensar e liberar calor para o ambiente, resfriando-o (SILVA, 2019).

A água na superfície terrestre pode existir em três estados: sólido, líquido e gasoso. O ciclo de mudanças, ilustrado na Figura 1, representa a transformação molecular necessária para a ocorrência da condensação. Essa etapa envolve a transição de moléculas inicialmente livres e desconectadas para uma configuração mais restrita, ainda permitindo movimento fluido (CASTRO, 2016).



Fonte: Castro (2016).

O processo de condensação ocorre de maneira específica dentro de tubo sendo ele um componente subterrâneo que melhora a condensação do ar em água, aproveitando a diferença de temperatura entre a atmosfera externa e o solo. Esse diferencial cria um fluxo, direcionando o ar de cima para baixo ao longo do canal. Ao entrar em contato com a parte superior fria da torre, o ar quente é resfriado e adquire maior densidade (CORRAIDE, 2018).

Outro fator a ser considerado são as condições climáticas locais, é crucial realizar uma análise abrangente dos fatores que impactam o funcionamento do projeto WaterSeer, especialmente em regiões mais secas. A temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento estão entre os elementos considerados (CORRAIDE, 2018). Essa compreensão profunda é essencial para a eficácia do sistema, permitindo adaptações e otimizações necessárias para um rendimento ideal do protótipo.

A temperatura influencia significativamente o processo de condensação, afetando a capacidade do ar de reter umidade. Em locais mais frios, a diminuição dessa capacidade facilita a transformação da umidade gasosa em estado líquido, resultando em uma condensação mais eficaz. Por conseguinte, climas mais frios favorecem uma maior coleta de água por dispositivos como o WaterSeer (CORRAIDE, 2018; POZZOBON, 2015).

A umidade relativa, medida que indica a quantidade de vapor de água no ar em relação à máxima possível, é crucial na análise meteorológica e afeta a formação de gotículas de condensação (SOUZA, 2021). Ambientes com umidade relativa mais elevada favorecem a eficiência do processo de condensação, aumentando a quantidade de água recolhida pelo sistema (DISTASIO, 2016).

2.1 ENERGIA E MOVIMENTO EÓLICO

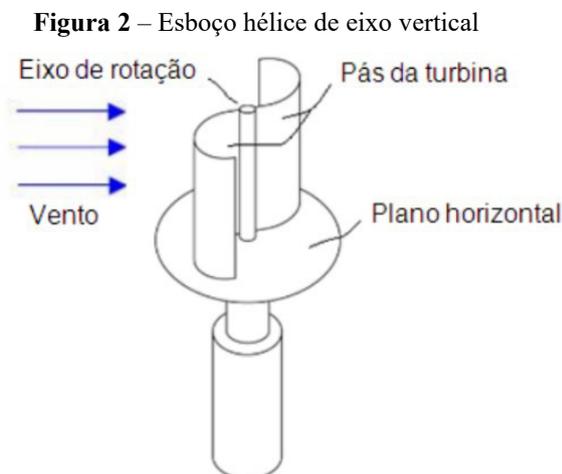
A interação complexa entre a radiação solar e o movimento da Terra origina a valiosa e renovável energia eólica. O vento, desencadeado pelo sol, aquece a superfície terrestre de maneira inconsistente, sendo capturado pelos aerogeradores para gerar energia limpa e sustentável. Dessa forma, o vento desempenha a geração de energia eólica a partir de recursos naturais inesgotáveis (FONTE e PURIFICAÇÃO, 2012).

Para a circulação forçada de ar, são comumente utilizados ventiladores axiais, máquinas rotativas que movimentam gases. Esses ventiladores, empregados para deslocar grandes massas de ar com pressões estáticas relativamente baixas, apresentam diversos modelos e funções. Geralmente equipados com pelo menos um motor de eixo e quantidades variáveis de hélices, esses dispositivos criam o movimento necessário para suas funções específicas. O desempenho e a eficiência do ventilador axial são influenciados pela armação e pela posição das hélices. Apesar de comuns em ambientes domésticos, esses ventiladores podem ser utilizados em qualquer local onde o objetivo seja a movimentação de ar dentro do ambiente (SILVA, SOUSA, et al., 2017).

Para analisar o rendimento de uma fonte de energia eólica, sendo necessário examinar a estrutura física do componente principal, a hélice. As turbinas utilizam dois métodos: hélice de eixo vertical e horizontal. As hélices eólicas de eixo vertical destacam-se pela capacidade de atuar em áreas remotas e pela operação independente da direção do vento, garantindo um rendimento fixo. Essa característica simplifica o processo de fabricação, eliminando a necessidade de um terceiro componente para ajustar o ângulo de direção do movimento (FONTE e PURIFICAÇÃO, 2012).

As hélices de eixo vertical têm o eixo de rotação perpendicular ao solo e podem ser equipadas com pás retas ou curvas, permitindo a captura de ar em todas as direções (GETIE, 2020). Existem diversos tipos de hélices em modelos de turbinas eólicas, incluindo as movidas a propulsão a arrasto e de sustentação, classificadas de acordo com a força predominante na movimentação (FONTE e PURIFICAÇÃO, 2012).

O modelo frequentemente usado no sistema *WaterSeer* é uma hélice que opera com base no princípio de arrasto. Nesse modelo, o vento impulsiona as pás, provocando a rotação do rotor à medida que o vento flui sobre elas, gerando força de arrasto (FONTE e PURIFICAÇÃO, 2012).



Fonte: Fonte e Purificação (2012).

No componente de hélice do protótipo *WaterSeer*, o modelo utilizado para hélice é uma hélice eólica tipo Savonius (GETIE, 2020). Possui funcionamento por meio de arrasto, possuindo as pás côncavas que atuam no processo de captação do vento. Tem vantagens em relação à ausência dos aerofólios, o que torna de fácil construção e baixo custo, evitando assim uma manutenção mais complexa, a sua estrutura conforme demonstrada na Figura 2, permite a conexão mútua das duas pás, que reduz a turbulência e atrito, desempenhando assim um alto torque de partida em velocidades baixas e altas. Entretanto, como desvantagem, o movimento a hélice é resumindo somente ao meio de entrada do vento (FONTE e PURIFICAÇÃO, 2012).

Forma da hélice de Savonius assimila a forma “S”, possui boas características de partida e opera a velocidades relativamente baixas, além disso, o seu fluxo de rotação possui um elevado torque estático (FONTE e PURIFICAÇÃO, 2012). A hélice pode ser construída com 2 ou 3 pás dependendo da necessidade a qual está sendo aplicada, com formato de semicírculo com sua curvatura oposta (GETIE, 2020).

Outro fator de dinâmica do vento trata-se do processo de ventilação onde ocorre o conceito de entrada de ar do exterior para o interior de um ambiente ou vice-versa, visando renovar o ar desse ambiente. O fluxo de ar trabalha em dois sentidos, podendo ser natural ou forçado, onde respectivamente, não tem algum componente atuante que force o ar a mudar o sentido e direção e no outro há presença de ventiladores alteram e manipulam de maneira controlada o fluxo de ar (ROCHA, 2021). Para o protótipo *WaterSeer* com o intuito de aumentar o rendimento, o processo de coleta de ar envolve o princípio de ar forçado (GETIE, 2020).

2.2 IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

A irrigação é um método realizado com intuito manter o controle da quantidade de água aplicada na área de cultivo agrícola, tendo em vista a diminuição de perdas na hora da colheita. Essa prática tem aumentado nas áreas de plantações devido ao seu resultado positivo sobre o aumento da produção e rentabilidade. Atualmente presente nos meios de irrigação existe as seguintes maneiras: inundação, sulcos, convencional, gotejamento (ALMEIDA, FREIRE e CRUZ, 2015), o sistema de gotejamento pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 – Sistema de irrigação por gotejamento.



Fonte: Almeida, Freire e Cruz (2015).

A irrigação por gotejamento, trata do sistema de irrigação com o foco em baixa intensidade e aplicando uma grande frequência. Seu fluxo de água ocorre por meio de tubos, sua aplicação decorre de plantação que não tem a necessidade de replantio, sendo considerado um método de elevado custo, entretanto de alta eficiência. Suas características derivam de um processo de micro aspersão, sendo considerada uma irrigação com ponto focal (ALMEIDA, FREIRE e CRUZ, 2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

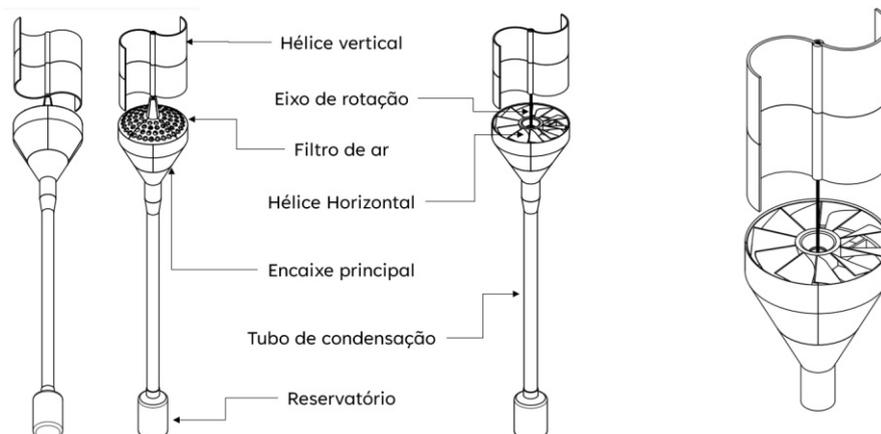
A montagem e construção do sistema de irrigação automático foram realizadas no laboratório da Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia-GO, que proporcionou o espaço necessário para o trabalho e oferece o suporte com equipamentos e instrumentação. Para a análise, foi utilizado com base *WaterSeer* modulado conforme o artigo Getie (2020). Este equipamento servirá como a principal fonte para a avaliação do sistema de coleta de água por condensação, visando validar o rendimento na região de Goianésia GO. Dado que o *WaterSeer* já demonstrou eficácia em regiões áridas, o foco agora é determinar o rendimento por meio de simulações e desenvolver um sistema de irrigação inteligente por gotejamento com acionamento automático.

3.1 DIMENSIONAMENTO E ESTRUTURA DO PROJETO

O dimensionamento utilizou como projeto base o *WaterSeer*, que permite a análise do rendimento dos componentes, permitindo saber a quantidade de água gerada por dia, assim foi utilizado o software Fusion 360 para adequação em 3D permitindo a atribuição de cinemática do projeto, na Figura 4 apresenta os componentes a serem modelados no software, seu dimensionamento, para melhor entendimento foram separados em componentes dinâmicos e de suporte.

A apresentação e objetivo final do dimensionamento deve ser conforme a Figura 4, que traz o modelo desenvolvido no software 3D, as dimensões do projeto foram baseadas conforme artigo Getie (2020), que produziu e testou o protótipo na região do país da Etiópia, apresentando o desempenho na forma prática de projeto.

Figura 4 – Desenho estrutural projeto

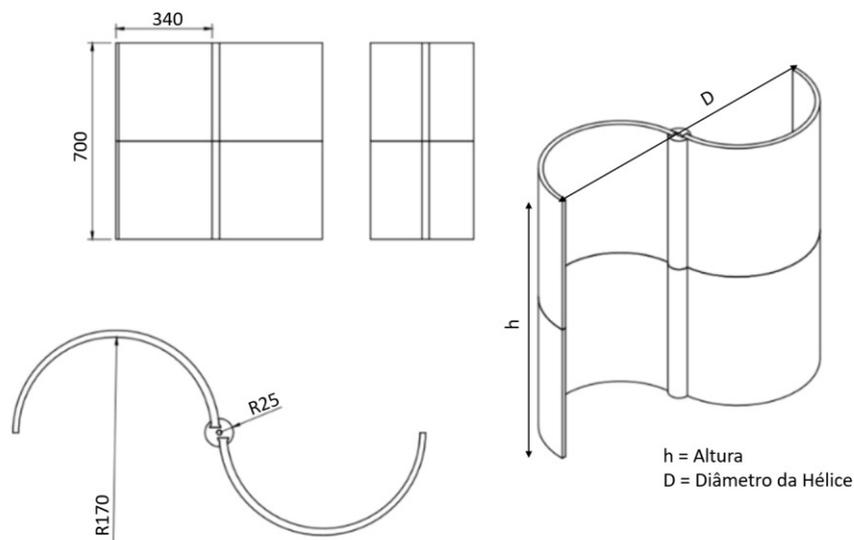


Fonte: O Autor (2023).

O projeto visa a análise e dimensionamento das partes essenciais para o correto funcionamento, abrangendo tanto componentes dinâmicos quanto componentes de suporte. Esses elementos desempenham papéis específicos, sendo detalhados a seguir:

- **Hélice Tipo Savonius:** O movimento do ventilador de tubo axial é acionado pelo impulsor *Savonius*, que tem o formato em "S". O eixo vertical central do projeto tem dimensões de 1100 mm de comprimento e 10 mm de diâmetro, enquanto as pás têm altura de 700 mm de altura, conforme parâmetros indicados na Figura 5. Cada pá mede 340 mm de largura e possui curvatura semicircular. A eficiência do sistema de coleta de ar do projeto *WaterSeer* é diretamente influenciada pela velocidade de giro da hélice Savonius. Essa hélice desempenha um papel crucial na captação do vento.

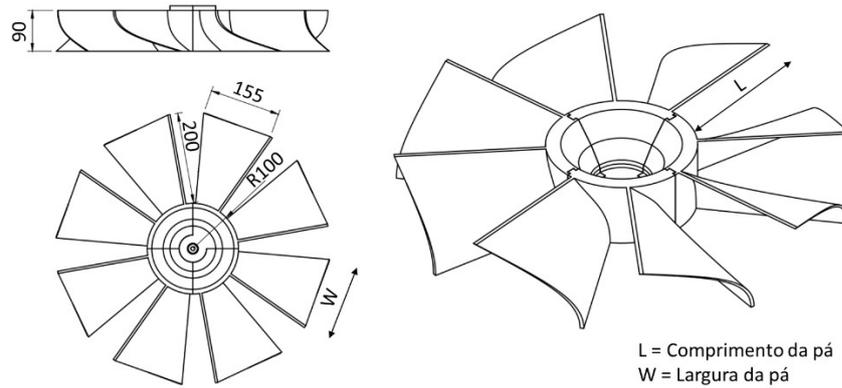
Figura 5 – Projeto estrutural hélice tipo *Savonius*.



Fonte: O Autor (2023).

- **Ventilador tubo axial:** O ventilador de tubo axial é responsável pela criação de um fluxo de ar forçado. É importante avaliar as dimensões dos componentes da hélice para o dimensionamento. Neste caso, o cubo possui um eixo circular de 200 mm de diâmetro e as pás com um comprimento de 200 mm, as hélices são acopladas com ângulo de 45° com uma largura de 155 mm, gerando um total de 8 pás. A Figura 6 mostra o detalhamento para o desenvolvimento 3D.

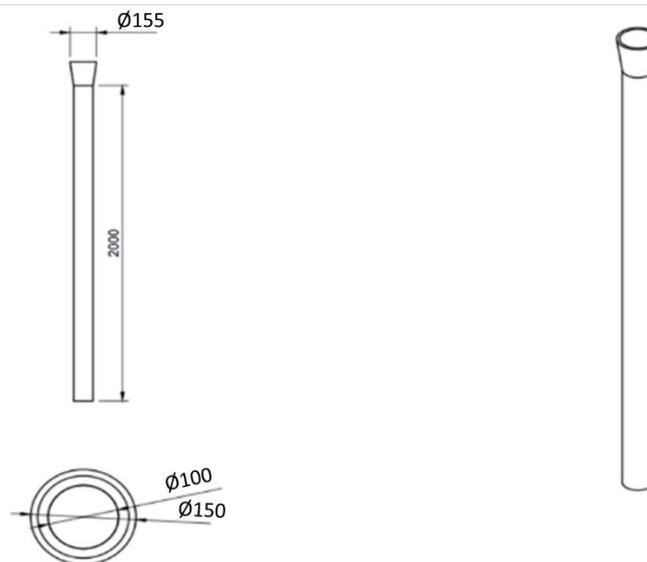
Figura 6 – Projeto estrutural ventilador de tubo axial.



Fonte: O Autor (2023).

- Tubo de condensação:** O protótipo incorpora um tubo de condensação, que viabiliza o resfriamento natural do ar utilizando a temperatura do solo. Para esta finalidade, foi empregado um tubo de PVC com 2 metros de comprimento e um diâmetro de 100 mm. A Figura 7 apresenta detalhadamente o desenho desse componente, incluindo suas dimensões exatas.

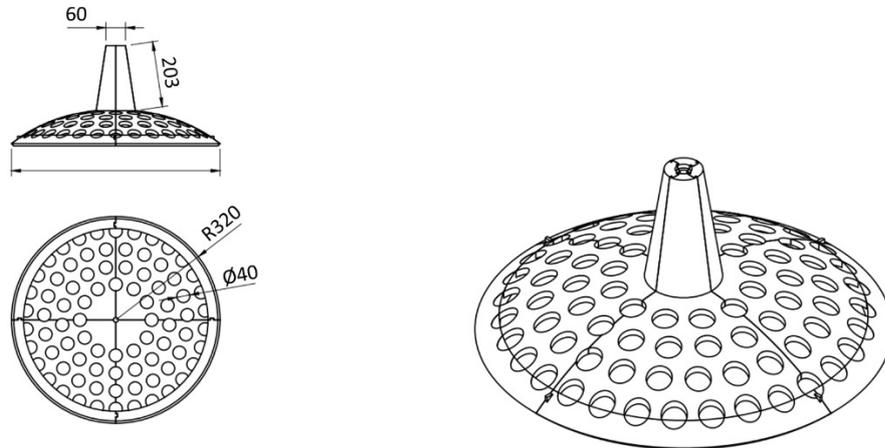
Figura 7 – Projeto dimensional tubo de condensação.



Fonte: O Autor (2023).

- Filtro de ar:** O filtro de ar, integrado ao encaixe principal, responsável por assegurar a pureza do ar que adentra o sistema. Sua função primordial é salvaguardar o fluxo de ar de impurezas físicas, prevenindo assim a entrada de contaminantes que poderiam comprometer a eficácia do sistema e, conseqüentemente, impactar a entrada de água, sendo possível visualizar seu projeto na Figura 8.

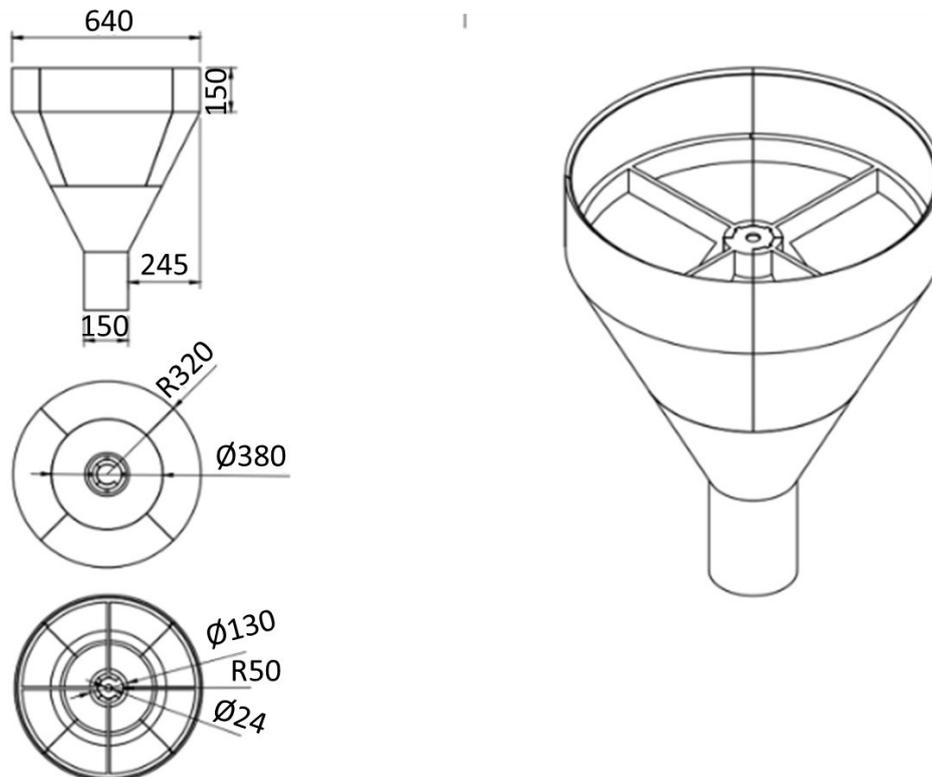
Figura 8 – Projeto dimensional filtro de ar.



Fonte: O Autor (2023).

- Encaixe principal (Tubo de condensação - Filtro de ar):** Sua função primordial é de natureza estrutural, que promove o encaixe do tubo de condensação com a estrutura superior. Essa abordagem de fabricação, combinada com a escolha do material, não apenas ressalta a precisão na construção do componente, mas também realça sua importância fundamental para a integridade e estabilidade do sistema como um todo, podendo ser visto o projeto na Figura 9.

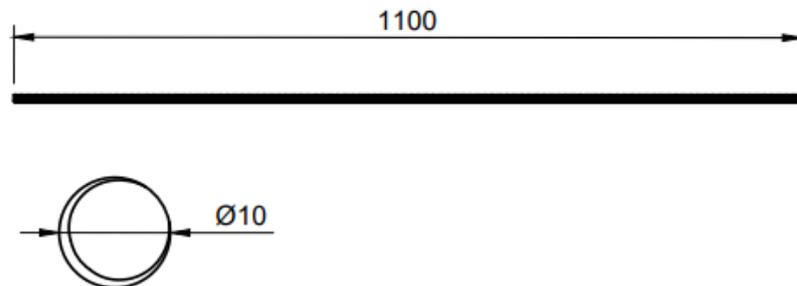
Figura 9 – Projeto dimensional encaixe principal.



Fonte: O Autor (2023).

- **Eixo de rotação (Hélice vertical para horizontal):** O eixo de rotação é responsável pela ligação estrutural e funcional entre a hélice do tipo Savonius e o eixo principal da hélice do ventilador de tubo axial. Sua presença é essencial para facilitar a transição suave do movimento gerado pela hélice vertical para o movimento horizontal necessário ao funcionamento do sistema detalhado na Figura 10. Que assegura uma transferência eficiente e estável de energia ao longo do eixo, garantindo assim o funcionamento coordenado das hélices.

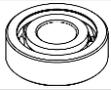
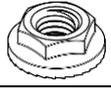
Figura 10 – Projeto dimensional eixo de rotação.



Fonte: O Autor (2023).

Realizado o dimensionamento do protótipo, a montagem do equipamento demanda a incorporação de componentes complementares. Para efetuar essa integração, são necessários materiais mecânicos conforme detalhado no Quadro 1. Este apresenta os elementos necessários para o funcionamento do equipamento, permitindo a integração harmoniosa das peças destinadas à captação e operação do sistema.

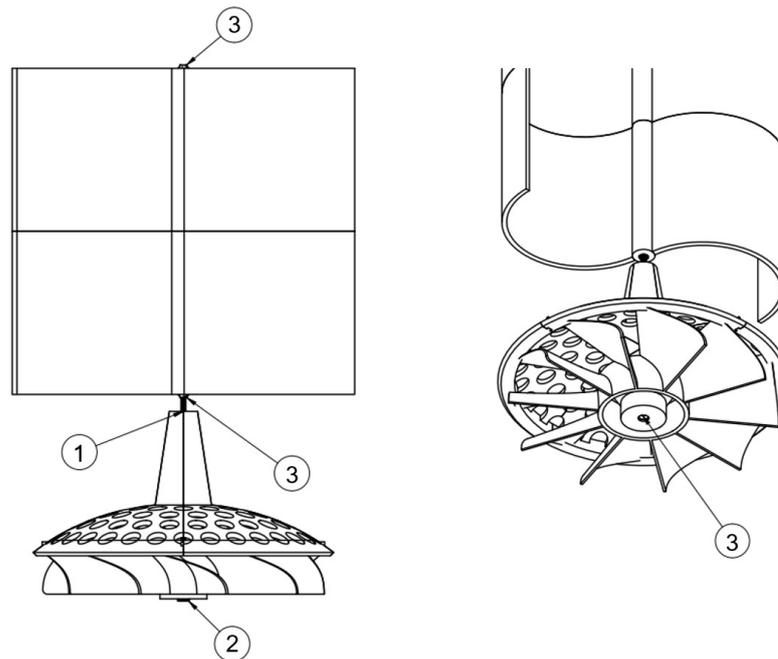
Quadro 1 – Materiais de ligação e complemento

Nº	Componente de suporte	Quantidade	Imagem
1	Rolamento Esferas 10x20x8mm	1	
2	Rolamento Axial Esferas 10x24x9mm	1	
3	Porca Sextavada Flangeada Serrilhada 10mm	3	

Fonte: O Autor (2023).

O processo de montagem e fixação dos componentes pode ser visualizado na Figura 11, onde a disposição estratégica de cada elemento de complemento é indicada. Essa configuração possibilita o eficiente funcionamento do projeto, garantindo a adequada movimentação dos componentes.

Figura 11 – Pontos de fixação elementos de complemento.

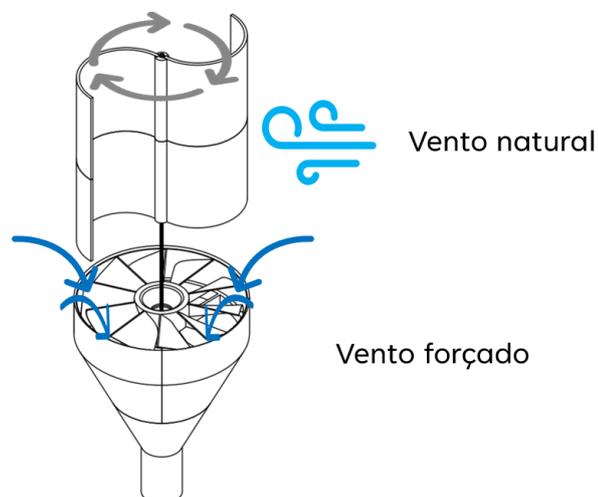


Fonte: O Autor (2023).

3.2 ANÁLISE PROJETADA DE RENDIMENTO DO PROTÓTIPO

O funcionamento do protótipo *WaterSeer* inicia-se com a ação da hélice Savonius, um componente de eixo vertical composto por duas pás curvas opostas. Impulsionado pelo vento natural, o movimento rotativo da hélice gera uma sucção de ar, direcionando-o para o interior do tubo de condensação. Essa interação é fundamental para o início do processo de captação de umidade atmosférica, aproveitando a energia eólica para criar um fluxo direcionado de ar, que pode ser descrito na Figura 12.

Figura 12 – Fluxo de ar do protótipo.



Fonte: O Autor (2023).

A análise do processo de condensação, ilustrado na Figura 13. O ar impulsionado pela hélice Savonius é canalizado para o tubo de condensação, onde, estrategicamente, ocorre a redução da temperatura ambiente. Esse ambiente propício resulta na condensação da umidade presente no ar, transformando-a em gotículas de água. O tubo subterrâneo, aprimorando a eficácia do processo e a coleta de água. Todo esse fenômeno é direcionado para o reservatório no interior do solo, completando um ciclo essencial para o sucesso do *WaterSeer*.

Figura 13 – Processo de condensação do ar.



Fonte: O Autor (2023).

Essa fase do processo, por sua vez, é essencial para recriar o funcionamento eficiente do protótipo *WaterSeer*. Os componentes finalizados refletem não apenas a análise calculada do desempenho, mas também a compreensão da área varrida pela hélice Savonius como um parâmetro na captação eficiente de vento. Essa área representa a superfície efetiva com a qual a hélice interage para extrair a energia cinética do vento. A utilização da fórmula da área de varredura da hélice savonius, conforme a Equação 1 (GETIE, 2020), oferece uma base sólida para o cálculo dessa área, uma vez que a hélice tem uma forma circular. Dessa forma, a integração harmoniosa desses componentes contribui para o funcionamento eficiente e sinérgico do *WaterSeer*, representando um avanço significativo na captação sustentável de água.

$$A_{Savonius} = D \times h \quad (1)$$

A área de varredura do ventilador axial refere-se à superfície total que as pás abrangem durante seu movimento rotativo (SILVA, SOUSA, *et al.*, 2017). Essa área é determinada pela Equação 2.

$$A_{Axial} = n \times L \times W \quad (2)$$

A fórmula encapsula a importância da extensão das pás na captura eficaz do ar ambiente. O número de pás influencia diretamente a quantidade de ar movido definido pelo valor n , enquanto o comprimento, bem como o comprimento da pá definida pelo valor L e a largura, definida pelo valor de W . A velocidade do vento efetiva é uma métrica vital no contexto da captação de energia eólica no projeto *WaterSeer*. Esta velocidade não é apenas a simples leitura da velocidade do vento, mas uma medida ajustada que leva em consideração fatores como a altura acima do solo em que a hélice Savonius opera, considerando que a velocidade média do vento na cidade de Goianésia-GO de acordo com o site do tempo que utiliza a métrica de dados

coletados entre os anos de 1991 a 2021, sendo a região com a média de: 11km/h (CLIMATEDATA, 2021), sendo utilizado na equação 3.

$$V_{Efetiva} = Velocidade\ do\ Vento \times \left(\frac{A_{Savonius}}{A_{Axial}} \right) \quad (3)$$

A eficiência do movimento da hélice axial é essencial para o desempenho global do sistema. A métrica chave para avaliar o deslocamento de ar pela hélice axial é a vazão de ar movido por unidade de tempo, expresso em litros por hora (GETIE, 2020). Essa quantidade está diretamente relacionada à área de varredura da hélice axial e à velocidade tangencial alcançada. A fórmula para calcular a vazão volumétrica é descrita na equação:

$$V_{Ar\ movido} = A_{Axial} \times V_{Efetiva} \quad (4)$$

Após a identificação do vazão de ar movido. Ao considerar a região de implementação do *WaterSeer*, é vital compreender a relação entre a temperatura ambiente e a pressão de vapor de saturação. A fórmula de cálculo dessa pressão, geralmente referida como a pressão de saturação, leva em conta a temperatura e é expressa pela equação de *Clausius-Clapeyron*, presente no artigo Vences (2014), que menciona sobre a relação de temperatura (C°), sendo definido pela Equação 5.

$$P_{Sat} = 611Pa \times 10^{\left(\frac{7,5 \times T}{T + 273}\right)} \quad (5)$$

A capacidade do ar de conter vapor d'água aumenta com o aumento da temperatura, e, por conseguinte, a pressão de vapor de saturação também aumenta. Esse fenômeno é fundamental para a eficiência do *WaterSeer*, pois, durante o processo de condensação, o ar umidificado é resfriado dentro do tubo de condensação. Quando atinge a temperatura de saturação, a água é condensada, dessa maneira, as condições climáticas da região de Goianésia GO, contém a temperatura média de 24 °C entre mínima e máxima por ano. Atribuindo o valor da umidade relativa média da região que equivale a 61% (CLIMATEDATA, 2021), o valor da pressão de saturação real equivale a:

$$P_{Real} = P_{Sat} \times UR \quad (6)$$

A água condensada é gerada através do resfriamento controlado do ar umidificado dentro do tubo de condensação. Este fenômeno é impulsionado pela habilidade do *WaterSeer* em manipular variáveis climáticas, como temperatura, umidade relativa e pressão de vapor de saturação. A temperatura mais baixa no interior do tubo de condensação é alcançada quando o ar umidificado atinge a temperatura de saturação. Neste ponto crítico, a água presente no ar é transformada do estado gasoso para o líquido, formando gotículas que são então coletadas para posterior uso.

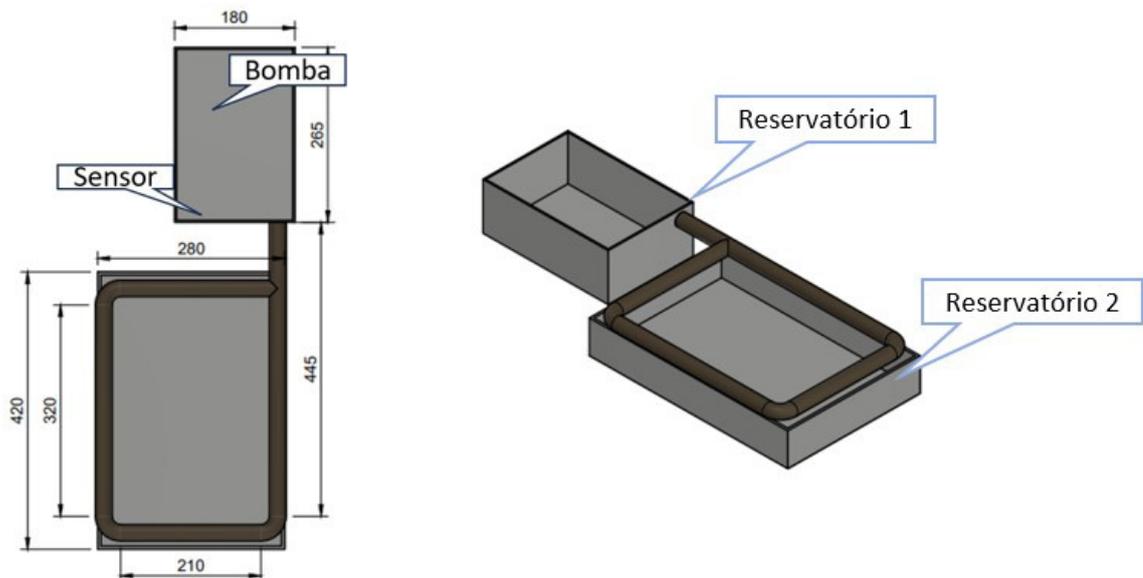
De acordo com o artigo do Getie (2020), destaca-se a eficiência notável do protótipo *WaterSeer*, atingindo inicialmente uma marca de 50%. A fórmula que fundamenta o cálculo da quantidade de água condensada é expressa da seguinte maneira:

$$Q_{Condensado} = V_{Ar\ movido} \times Eficiência \times \frac{P_{Real}}{P_{Sat}} \quad (7)$$

3.3 SISTEMA DE GOTEJAMENTO AUTOMATICO

O sistema *WaterSeer* aplicado no protótipo tem a função de coletar e distribuir água para uma área específica do terreno por meio de um sistema de irrigação por gotejamento. É necessário instalar um sistema hídrico utilizando uma mangueira. Essa mangueira será conectada no reservatório. O fluxo de água é direcionado para o sistema de irrigação por gotejamento, que consiste em uma estrutura hídrica composta por tubos de PVC. Dessa maneira, como se trata da simulação, será construído um reservatório de simulação onde esses tubos serão montados de acordo com as dimensões e direcionamento indicados na Figura 14.

Figura 14 – Distribuição sistema de irrigação por gotejamento.



Fonte: O Autor (2023).

A construção do modelo demonstrado na Figura 14, sendo necessário fazer a montagem da estrutura e os componentes do sistema de irrigação. Para a montagem são necessários os seguintes componentes descritos no Quadro 2.

Quadro 2 – Tabela de Materiais PVC.

Nº	Componente de suporte	Diâmetro	Quantidade/cm
1	Cano PVC - Soldável	25mm	825 cm
2	Joelho PVC – Soldável	25mm	3 Unidades
3	Tee PVC - Soldável	25mm	1 Unidades

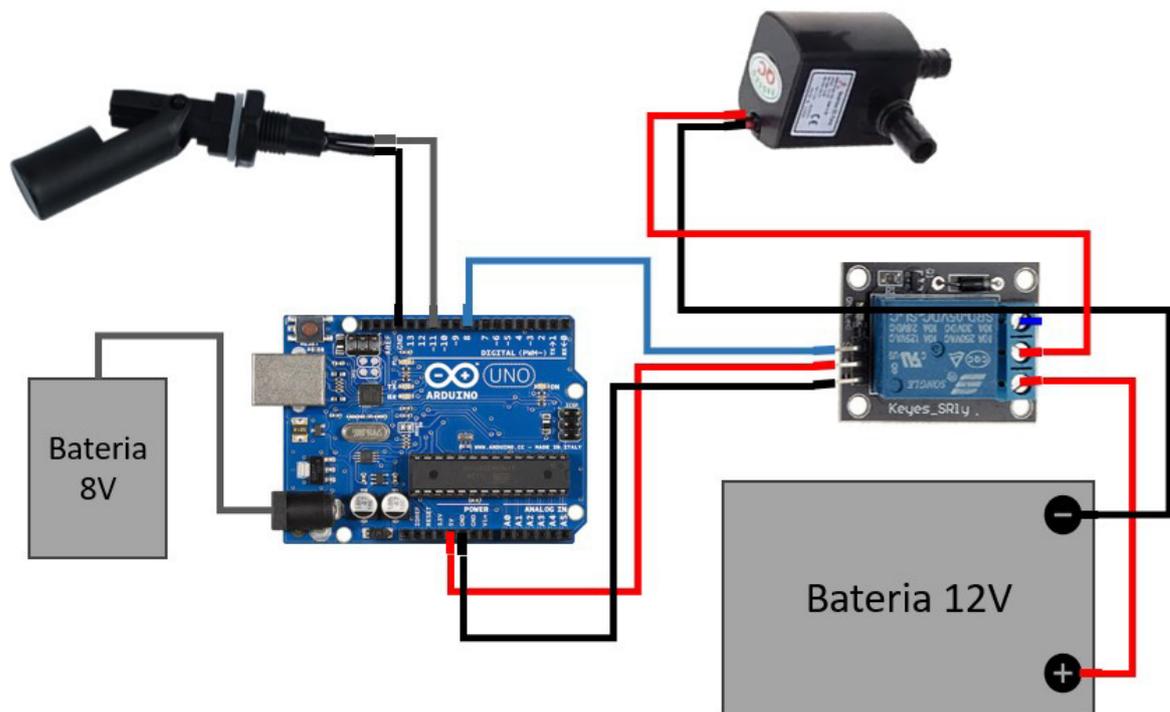
Fonte: O Autor (2023).

De início foi separado os componentes do tubo, para garantir uma vedação eficaz e aplicar cola de PVC nos conectores. O formato final mostrado na Figura 14 em seguida para determinam as coordenadas da montagem. Ao final, é realizado o acoplamento na saída da bomba d'água, possibilitando a irrigação.

No conjunto de componentes, destacam-se não apenas os elementos em PVC, mas também a presença de dois reservatórios distintos. O primeiro deles é destinado à armazenagem de água com capacidade de 1,5 litros, enquanto o segundo cumpre a função específica de simular as condições do terreno de irrigação, podendo ser visto na Figura 14.

Após realizar a montagem da estrutura de PVC, inicia-se a parte de estruturação eletrônica do projeto, ela envolve os componentes que farão a conexão com a parte elétrica para funcionamento e a possibilidade de automação do protótipo. Inicialmente, para evitar possíveis falhas e garantir a adequada alimentação da fonte de energia, é necessário elaborar um diagrama de distribuição elétrica demonstrado na Figura 15, que permite visualizar o funcionamento da parte elétrica, além de evitar possíveis danos aos dispositivos.

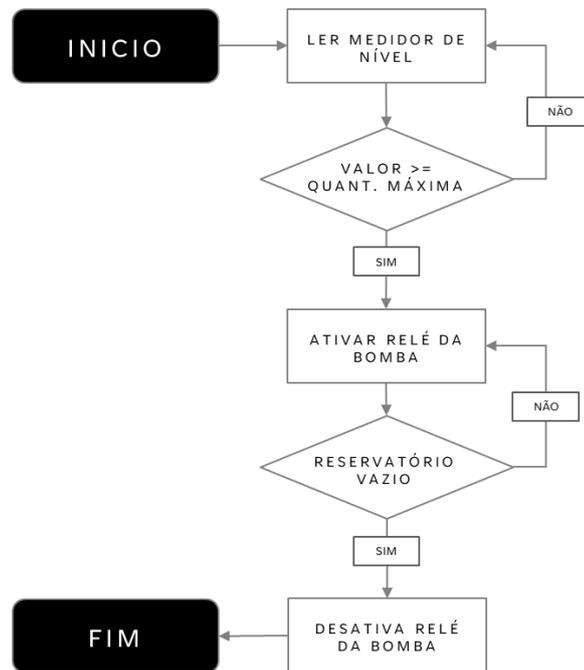
Figura 15 – Diagrama de distribuição elétrica.



Fonte: O Autor (2023).

Na automação do sistema, faz-se necessário a elaboração da lógica inicial, algoritmo, para desenvolvimento do código de programação Arduino. O fluxo do algoritmo destaca o gatilho inicial sendo desenvolvido pelo sensor de nível, esse que possui a função de gerar uma ação quando chegar no limite de nível de água do reservatório que permite o acionamento da bomba d'água e direcionamento para o sistema de irrigação por tempo suficiente para a evacuação de toda a água.

Figura 16 – Fluxograma de funcionamento automação.



Fonte: O Autor (2023).

Assim é feita a adequação do algoritmo para linguagem Ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), utilizada no microcontrolador Arduino. Configurada o software é direcionado aos conectores e montagem do hardware, utilizando o diagrama mostrado na Figura 16, assim feita a pinagem de modo que os componentes como: Sensor de nível e bomba d'água, possam ser ativados através de comandos configurados no componente Arduino.

A construção do protótipo foi fundamentada no diagrama de montagem, que detalha a disposição e integração dos componentes. Esse esquema não apenas delineou a estrutura física do projeto, mas também delineou a conexão e automação do sistema por meio da plataforma Arduino.

Seguido para a construção do código sendo o mesmo projetado para controlar de maneira automática a bomba d'água com base no nível acumulado no reservatório 1. Dessa maneira, utilizando o sensor de nível e o relé conectado ao Arduino que irá ativar a bomba durante o período de 30 segundos, tempo necessário para esvaziar o reservatório quando ele atingir a capacidade, dessa maneira é declarado as configurações dos pinos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

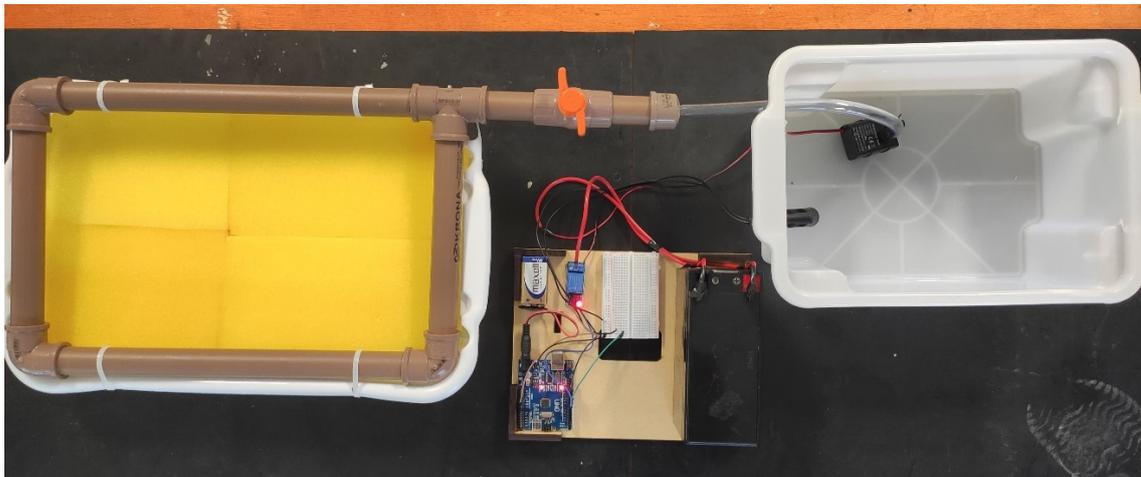
A análise do desempenho do protótipo WaterSeer em fornecer a quantidade necessária de água para o sistema de irrigação levou em conta as médias padrão de temperatura na região de Goianésia. Foram realizados cálculos detalhados relacionados ao rendimento, considerando os dimensionamentos de cada componente dinâmico elaborado. Os resultados obtidos estão apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Resultado calculados alcançados.

Equação	Descrição de cálculo	Resultado
1	Área varrida hélice savonius	476cm ²
2	Área de varredura do ventilador	2480 cm ²
3	Velocidade Efetiva do vento	2,1km/h
4	Vazão de ar movido	5236 cm ³ /h
5	Pressão de vapor de saturação	2489,1 Pa
6	Pressão de vapor de saturação Real	1518,35 Pa
7	Vazão de água condensada	1,597 L/h

Fonte: Autor (2023).

A representação gráfica da implementação e execução do protótipo está detalhada na Figura 17, a qual ilustra cada etapa do processo. O sensor de nível de água é destacado, desempenhando a função crucial de acionar a bomba, responsável por transferir a água do reservatório principal para os tubos de PVC. Nesse contexto, foram estrategicamente colocadas esponjas no reservatório secundário, simulando as características de um solo real.

Figura 17 – Protótipo finalizado

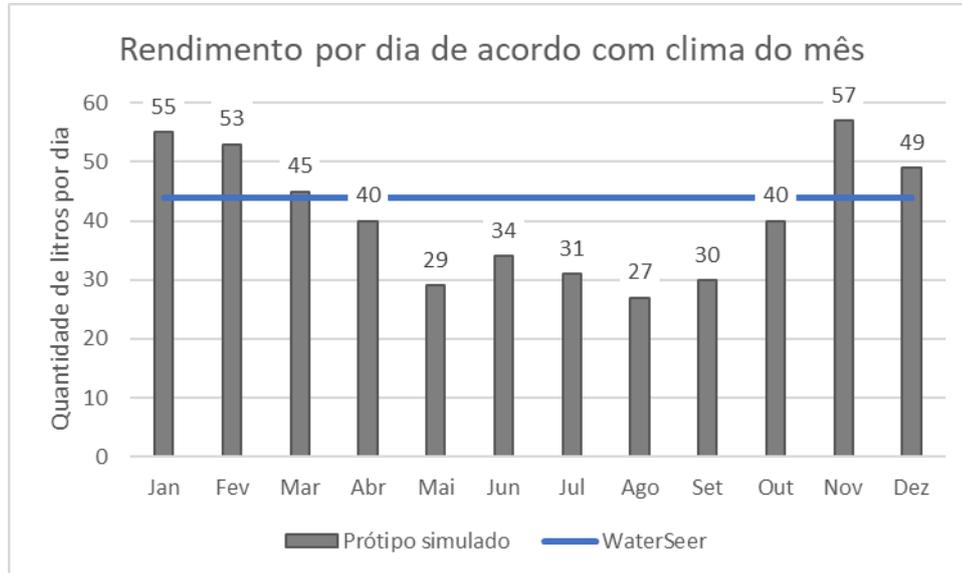
Fonte: Autor (2023).

Além disso, foram realizados furos nos tubos de PVC, delineando o funcionamento do sistema de irrigação, que opera de maneira semelhante a um método de gotejamento. Essa representação visual oferece uma visão abrangente e esclarecedora de cada elemento do protótipo, proporcionando uma compreensão clara do seu funcionamento e das interações entre os componentes.

Assim o rendimento do protótipo *WaterSeer*, considerando as dimensões projetadas, alcançou um desempenho de 1,6 litros a cada hora de operação. Essa eficiência se traduz em um fornecimento diário de 38 litros de água, vital para sustentar o sistema de irrigação, em comparação com o *WaterSeer* original, que apresenta um rendimento de 44 litros, a análise anual, conforme ilustrada no Gráfico 1, destaca o rendimento por dia com base nas

características de cada mês e clima ao longo do ano com as médias parametrizadas entre o ano de 1991 a 2021, proporcionando uma visão abrangente do desempenho do sistema.

Gráfico 1 – Gráfico de rendimento mensal

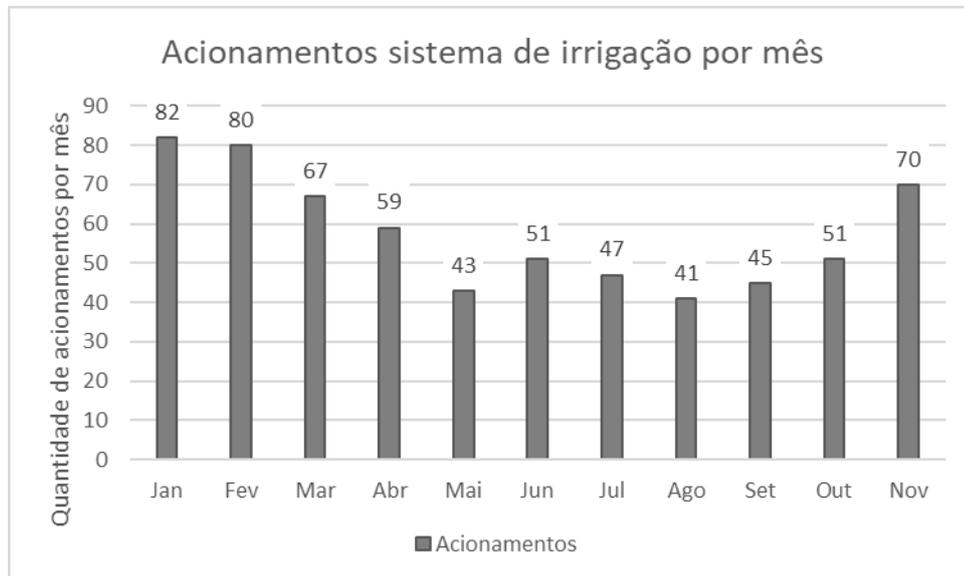


Fonte: Autor (2023).

Em relação à eficiência do sistema, vale ressaltar que a produção de água do protótipo *WaterSeer* está diretamente atrelada às variações climáticas sazonais. O Gráfico 1 proporciona uma visualização detalhada desse impacto, destacando as flutuações mensais e permitindo uma análise aprofundada da influência das estações na produção hídrica levando em conta um máximo de rendimento no mês de janeiro com 55 litros por dia. Essa variabilidade sazonal salienta a necessidade de adaptações e ajustes específicos para otimizar o desempenho do sistema ao longo do ano, promovendo uma irrigação mais precisa e eficaz.

O reservatório simulado, suportando até 20 litros, permitiu revelar a frequência de acionamentos e irrigações, conforme evidenciado no Gráfico 2. Esses dados demonstram o atendimento eficaz à demanda do local, mantendo a umidade da área irrigada de maneira eficiente. À conservação de água, é notável que o protótipo *WaterSeer* demonstra uma abordagem eficaz ao evitar desperdícios e direcionar a água de maneira precisa para as plantas.

A análise dos resultados apresentados no Gráfico 2 destaca a capacidade do sistema em atender às demandas de irrigação, garantindo um uso otimizado da água. Essa eficiência contribui não apenas para a economia de recursos hídricos, mas também para a sustentabilidade do sistema em médio e longo prazo, alinhando-se aos princípios fundamentais da conservação ambiental.

Gráfico 2 – Gráfico de rendimento mensal

Fonte: Autor (2023).

No que diz respeito à produção do projeto, há duas condições distintas. A primeira refere-se ao desenvolvimento do protótipo, que foi executado com base em dimensionamento e no uso do Fusion 360 para elaborar os desenhos. A construção desse protótipo exigiria o uso de impressão 3D, considerando o tamanho, limitado a um equipamento de impressão com capacidade de 50x50 cm. Assim, torna-se desafiador estimar o custo total de construção. A segunda condição relaciona-se ao que efetivamente foi construído do projeto. O quadro 4 detalha os gastos, abrangendo tanto a estrutura quanto os materiais eletrônicos utilizados.

Quadro 4 – Gastos de elaboração do protótipo

Nº	Componente de suporte	Qtd.	Valor (R\$)
1	Placa Uno Smd Com Cabo Usb (compatível Com Arduino)	1	49,00
2	Mini Bomba D'água Imersível E Submersível 12v 4,8w, 12v	1	43,93
3	Modulo Rele 1 Canal Led Indicador Para Arduino Pi Pic 5v/10a	1	15,40
4	Sensor De Nível De Água Interruptor De Bóia E Mini Bóia	1	22,26
5	Protoboard Breadboard 400 Pontos Furos Pinos	1	14,32
6	Pilha Alcalina 9v	1	11,00
7	Bateria Selada 12 V	1	68,05
8	Tubos e conexões de PVC	Variados	20,00
9	Blocos de espuma	4	16,00
TOTAL			259,96

Fonte: O Autor (2023).

Dessa maneira, observa-se a influência direta da temperatura na região para o bom rendimento do protótipo *WaterSeer*. Entretanto, isso destaca a necessidade de uma estrutura de grande porte com componentes capazes de proporcionar um movimento fluido, garantindo um rendimento hídrico suficiente para atender às necessidades de irrigação de um determinado território. Essas considerações ressaltam a importância de uma abordagem robusta e eficiente para enfrentar os desafios específicos da região e otimizar o desempenho do sistema.

5 CONCLUSOES

Diante da complexidade na implementação do protótipo *WaterSeer*, concluímos que este sistema de irrigação automático enfrenta desafios e apresenta potenciais consideráveis. A análise aprofundada do desempenho revela que as variações climáticas sazonais, especialmente as flutuações de temperatura, desempenham um papel vital na eficiência do sistema. Compreender essas nuances é crucial para otimizar a adaptação do *WaterSeer* às condições específicas de Goianésia.

Ao avaliar a eficácia do protótipo na distribuição de água para as plantas, evidenciamos uma capacidade notável de atender às demandas de irrigação, com uma média diária de 38 litros. A eficácia máxima observada em janeiro, atingindo 55 litros por dia, destaca a capacidade dinâmica do *WaterSeer* em responder às condições sazonais. Esses resultados reforçam a eficiência do sistema em diferentes contextos ambientais.

Os desafios relacionados à produção, especialmente os custos associados à impressão 3D em larga escala, destacam-se como pontos críticos. Atualmente, o protótipo é de alto custo para fabricação, demandando uma análise aprofundada sobre alternativas que possam reduzir os custos sem comprometer a eficácia e a sustentabilidade do *WaterSeer*.

As análises econômicas e ambientais do sistema abrangeram o custo de implementação e manutenção, benefícios ambientais e possíveis economias de água. Identificamos que os custos de fabricação, em especial o uso de tecnologias inovadoras como a impressão 3D em larga escala, representam um desafio significativo, afetando a viabilidade prática e econômica do *WaterSeer* em larga escala.

O protótipo do *WaterSeer* destaca-se como uma iniciativa promissora na irrigação sustentável, oferecendo uma solução inovadora para a crescente demanda por métodos eficazes. Contudo, reconhecemos a importância de contínuos refinamentos e adaptações. Este trabalho não apenas contribui para o conhecimento na área, mas também destaca oportunidades de aprimoramento e pesquisa futura para a efetiva implementação do *WaterSeer* como uma alternativa viável na agricultura sustentável.

Este trabalho não apenas alcançou os objetivos propostos, mas também abriu caminho para perspectivas futuras. A busca por soluções sustentáveis e eficientes na gestão hídrica é um campo em constante evolução, e o *WaterSeer*, apesar dos desafios identificados, destaca-se como uma alternativa promissora. Contudo, é imperativo continuar refinando e adaptando o sistema, considerando as nuances práticas e as demandas específicas de diferentes ambientes agrícolas. O compromisso com a inovação e o aprimoramento contínuo é crucial para posicionar o *WaterSeer* como uma solução realista e aplicável na agricultura sustentável.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. M. D.; FREIRE, L.; CRUZ, R. P. D. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO. *Biblioteca Virtual - AGPTEA, São Paulo, 2015. 12-21.*
- AMBIENTAIS, L. Resenha do Livro "Um século de secas no semiárido brasileiro". *Letras Ambientais*, p. 5-6, 2018.
- CASTRO, A. C. D. ESTADOS FÍSICOS DA ÁGUA. *Ensino Ciências*, 04 ago. 2016. 01-02, 11.
- CORRAIDE, L. C. Captação de água da atmosfera – análise do potencial brasileiro e desenvolvimento de protótipos. *LOCUS UFV*, 2018. 19.
- DISTASIO, C. Wind-powered WaterSeer produces 11 gallons of clean drinking water from the air. *Inhabitat*, 15 out. 2016. Disponível em: <<https://inhabitat.com/wind-powered-water-seer-produces-11-gallons-of-clean-drinking-water-from-the-air/>>.
- FAO. The Water-Energy-Food Nexus. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2014.
- FONTE, R. B. D.; PURIFICAÇÃO, L. S. D. ESTUDO DE TURBINAS EÓLICAS VERTICAIS COM EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO DE UMA TURBINA EÓLICA DARRIEUS PARA APLICAÇÃO EM EDIFÍCIOS. **Universidade Federal do Espírito Santo**, Vitória, 2012. 13.
- GETIE, A. Development and Performance Study of WaterSeer Machine for Rural Ethiopia. *Dspace*, 22 jun. 2020. 1-99.
- GUIMARÃES, F. Projeto de Aquaponia ft. Leandro do Aquaponia MS | Arduino. **Youtube**, 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=1gSO4jCAuIk&t=621s&ab_channel=BrincandocomIdeias>. Acesso em: nov. 2023.
- JARIMI, H. Review of sustainable methods for atmospheric water harvesting. **International Journal Of Low-Carbon Technologies**, p. 1;273, 2020.
- POZZOBON, J. C. RECUPERAÇÃO DE ÁGUA EM TORRES DE RESFRIAMENTO. **Repositório Institucional UFSC**, Março 2015. 36-56.
- SILVA, G. C. C. E. et al. ESTUDO DO MOVIMENTO DA PÁ DE UM VENTILADOR AXIAL PROPULSOR. *TAI-2017-2*, Arcos - MG, 29 nov. 2017. 19-22.
- SILVA, J. B. D. ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA DA ÁGUA DE CONDENSAÇÃO PROVENIENTE DOS APARELHOS DE AR CONDICIONADO: ESTUDO DE CASO EM UM COLÉGIO DO AGRESTE PERNAMBUCANO. **Repositório UFPE**, 2019. 22.
- SOUZA, D. Estimativa de vazão da água condensada proveniente de aparelhos condicionadores de ar. **RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT**, 05 Outubro 2021. 5.
- UNESCO. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento de Recursos Hídricos: Soluções para a Água. **UNESDOC DIGITAL LIBRARY**, 2021. 2-8-10.
- VENCES, K. RESUMO DE TERMODINÂMICA DA ATMOSFERA. **Slideplayer**, 2014. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/1695369/>>. Acesso em: nov. 2023.