

ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL FREDERICO GUILHERME SCHMIDT

TÉCNICO EM ELETROTÉCNICA

PROJETO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO TÉCNICO



**AURA - PURIFICADOR E UMIDIFICADOR DE AR AUTOMÁTICO
SUSTENTÁVEL PARA SAÚDE RESPIRATÓRIA**

**ARTUR AZEREDO
FELIPE CANTINI
YURI SCHMIDT**

SÃO LEOPOLDO

2025

ARTUR AZEREDO

FELIPE CANTINI

YURI SCHMIDT

**AURA - PURIFICADOR E UMIDIFICADOR DE AR AUTOMÁTICO
SUSTENTÁVEL PARA SAÚDE RESPIRATÓRIA**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso Técnico apresentado ao Curso de Eletrotécnica da Escola Técnica Estadual Frederico Guilherme Schmidt como requisito para aprovação nas disciplinas do curso sob orientação do professor Thiago Schmidt e coorientação do professor Marcelo de Souza.

SÃO LEOPOLDO

2025

RESUMO

O projeto AURA foi desenvolvido com o objetivo de auxiliar pessoas portadoras de doenças respiratórias crônicas, como asma, rinite e sinusite, por meio da melhoria da qualidade do ar em ambientes residenciais. Essas condições são agravadas pela presença de alérgenos no ar, como fungos e ácaros, que atuam como agentes desencadeadores de crises. O dispositivo proposto integra um sistema de purificação e umidificação automática, utilizando sensores para monitorar a umidade do ambiente e acionar um nebulizador piezoelétrico sempre que o valor cair abaixo de 40%. A purificação do ar é realizada através de um conjunto filtrante composto por pré-filtro, filtro HEPA e filtro de carvão ativado, seguido de uma etapa de desinfecção com radiação UV-C, que inativa microorganismos retidos nos filtros. O protótipo foi construído com materiais recicláveis e biodegradáveis, priorizando o baixo custo e a sustentabilidade ambiental. Os testes demonstraram eficiência na renovação do ar e na redução de contaminantes, comprovando a viabilidade técnica do projeto como uma alternativa acessível e funcional para a melhoria da qualidade do ar em ambientes internos.

Palavras-chave: ar; alérgenos; purificar; umidificar; doenças respiratórias.

ABSTRACT

The AURA project was developed with the purpose of assisting individuals suffering from chronic respiratory diseases such as asthma, rhinitis, and sinusitis by improving indoor air quality. These conditions are often aggravated by airborne allergens such as fungi and dust mites, which act as triggers for respiratory crises. The proposed device integrates an automatic purification and humidification system that uses sensors to monitor ambient humidity and activate a piezoelectric nebulizer whenever the level falls below 40%. Air purification is achieved through a filtering assembly composed of a pre-filter, a HEPA filter, and an activated carbon layer, followed by a UV-C radiation chamber that inactivates microorganisms retained in the filters. The prototype was built using recyclable and biodegradable materials, emphasizing low cost and environmental sustainability. Experimental tests demonstrated effective air renewal and contaminant reduction, confirming the technical feasibility of the project as an accessible and functional alternative for improving indoor air quality.

Keywords: air; allergens; purification; humidification; respiratory diseases.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Cooler Blower BFB1012VH	22
Figura 2 - Cooler Master Sickleflow 120	23
Figura 3 - Filtro Morento HY 4866	24
Figura 4 - Lâmpada UV-C 8W	25
Figura 5 - Reator Bivolt 8W	26
Figura 6 - Sensor de Umidade DHT22	26
Figura 7 - Arduino Uno	27
Figura 8 - Nebulizador Piezoelétrico	28
Figura 9 - Módulo Relé 4 Canais	29
Figura 10 - Fonte 12V 2,5A	30
Figura 11 - Interruptor LED	31
Figura 12 - Fusível de Vidro	31
Figura 13 - Chave Seletora de Tensão	32
Figura 14 - Esquema Elétrico	42
Figura 15 - Fluxograma de Programação	43
Figura 16 - Protótipo AURA	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estado da Arte	16
Tabela 2 – Cronograma 2024	44
Tabela 3 – Cronograma 2025	45
Tabela 4 – Recursos	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

OMS	Organização Mundial da Saúde
ASBAI	Associação Brasileira de Alergia e Imunologia
IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente
UV-C	Ultravioleta-C
HEPA	High-Efficiency Particulate Air (Ar Particulado de Alta Eficiência)
UFOPA	Universidade Federal do Oeste do Pará
UVGI	Ultraviolet Germicidal Irradiation (Irradiação Germicida Ultravioleta)
ABRELPE	Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
LED	Light Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz)
EN	European Norm (Normas Europeias)
ISO	International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização)
FDA	Food and Drug Administration (Administração de Alimentos e Medicamentos)
EPA	Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental)
MDF	Medium Density Fiberboard (Painel de Fibra de Média Densidade)
CADR	Clean Air Delivery Rate (Taxa de Entrega de Ar Limpo)
ACH	Air Changes per Hour (Trocas de Ar por Hora)
CFM	Cubic Feet per Minute (Pés Cúbicos por Minuto)

LISTA DE SÍMBOLOS

V - Volt	11
μm – Micrômetro	11
cm – Centímetro	11
m – Metro	11
L - Litro	11
°C - Grau Celsius	29
A - Amper	31
Pa - Pascal	34
dB - Decibéis	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 TEMA E SUA DELIMITAÇÃO	12
1.2 PROBLEMA	12
1.3 OBJETIVOS	12
1.3.1 Objetivo Geral	12
1.3.2 Objetivos Específicos	12
1.4 JUSTIFICATIVA	14
2 ESTADO DA ARTE	16
2.1 DESENVOLVIMENTO DE UM PURIFICADOR DE AR COM RADIAÇÃO UVC E FILTRO HEPA NO CONTEXTO DE COVID-19	16
2.2 DESCONTAMINAÇÃO QUÍMICO-MICROBIOLÓGICA EM AMBIENTES HOSPITALARES POR MEIO DE PURIFICADOR IÔNICO	17
2.3 DESENVOLVIMENTO DE UM PURIFICADOR DE AR BASEADO NA TECNOLOGIA DE IRRADIAÇÃO ULTRAVIOLETA GERMICIDA	17
2.4 AURA - PURIFICADOR E UMIDIFICADOR DE AR AUTOMÁTICO SUSTENTÁVEL PARA SAÚDE RESPIRATÓRIA	17
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1 QUALIDADE DO AR E SAÚDE RESPIRATÓRIA	19
3.2 TECNOLOGIAS DE PURIFICAÇÃO E UMIDIFICAÇÃO DO AR	19
3.3 SUSTENTABILIDADE E USO DE MATERIAIS RECICLÁVEIS	20
3.4 CUSTO-BENEFÍCIO NO MERCADO	21
3.5 COMPONENTES DO PROTÓTIPO	21
3.5.1 Cooler Blower BFB1012VH 12V	21
3.5.2 Cooler Master Sickleflow 120 12V	22
3.5.3 Filtro 3 em 1 MORENTO HY 4866	23
3.5.4 Lâmpada UV-C 8W	24
3.5.5 Reator Bivolt 8W	25
3.5.6 Módulo Sensor de Umidade do Ar Am2302	26
3.5.7 Arduino Uno ATmega328P	27
3.5.8 Nebulizador Piezoelétrico	28

3.5.9 Módulo Relé 4 Canais 5V-----	29
3.5.10 Fonte 12V 2,5A-----	30
3.5.11 Interruptor LED-----	30
3.5.12 Fusível de Vidro-----	31
3.5.13 Chave Seletora de Tensão-----	32
4 METODOLOGIA-----	33
4.1 TIPO DE PESQUISA-----	35
4.2 FUNÇÃO DOS COMPONENTES-----	36
4.2.1 Cooler Blower BFB1012VH 12V-----	36
4.2.2 Cooler Master Sickleflow 120 12V-----	36
4.2.3 Filtro 3 em 1 Morento HY 4866-----	37
4.2.4 Lâmpada UV-C 8W-----	37
4.2.5 Reator Bivolt 8W-----	38
4.2.6 Módulo Sensor de Umidade do Ar Am2302-----	38
4.2.7 Arduino Uno ATmega328P-----	38
4.2.8 Nebulizador Piezoelétrico-----	39
4.2.9 Módulo Relé 4 Canais 5V-----	39
4.2.10 Fonte 12V 2,5A-----	40
4.2.11 Interruptor LED-----	40
4.2.12 Fusível de Vidro-----	40
4.2.13 Chave Seletora de Tensão-----	40
4.3 MONTAGEM DO PROTÓTIPO-----	41
4.4 ESQUEMA ELÉTRICO-----	42
4.4.1 Explicação de Funcionamento-----	42
4.5 FLUXOGRAMA DE PROGRAMAÇÃO-----	43
5 CRONOGRAMAS-----	44
6 RECURSOS-----	46
7 RESULTADOS-----	47
7.1 VAZÃO DE AR, ACH E CADR-----	48
7.2 DESINFECÇÃO POR RADIAÇÃO UV-C-----	49
7.3 UMIDIFICAÇÃO AUTOMÁTICA-----	49
7.4 DESEMPENHO GERAL DO SISTEMA-----	50

8 CONCLUSÃO	51
9 ANEXOS	52
9.1 PROGRAMAÇÃO	52
REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

A qualidade do ar que respiramos exerce impacto direto sobre a saúde, o bem-estar e a produtividade, sendo os principais fatores influentes a presença de alérgenos e o nível de umidade relativa do ar. Segundo o Ministério da Saúde (2022), indivíduos portadores de doenças respiratórias crônicas, como asma, bronquite e rinite alérgica, são os mais afetados pela má qualidade do ar. Essas condições podem ser agravadas pela presença de alérgenos, como ácaros, fungos e mofo, e pelo baixo nível de umidade do ambiente, configurando um desafio diário para milhões de pessoas em todo o mundo.

Neste contexto, a criação de um dispositivo automatizado de purificação e umidificação do ar, desenvolvido a partir de materiais recicláveis e biodegradáveis, surge como uma solução sustentável e de baixo custo. O dispositivo visa melhorar a qualidade do ar em ambientes internos e promover práticas ecológicas por meio do reaproveitamento de recursos, reduzindo resíduos e incentivando a sustentabilidade no desenvolvimento tecnológico.

O dispositivo, denominado AURA, foi projetado para oferecer alívio significativo a pessoas com doenças respiratórias crônicas, integrando funções de purificação e umidificação automatizada. A purificação do ar ocorre por meio de sucção promovida pelo cooler BFB1012VH 12V, que direciona o ar através de um conjunto de filtros composto por pré-filtro de algodão, carvão ativado anti-odor e HEPA H13, capaz de reter 99,95% das partículas de 0,3 μm . Os alérgenos retidos são inativados por radiação UV-C, com irradiância média de 1,32 mW/cm^2 . O ar purificado é devolvido ao ambiente pelo cooler Master SickleFlow 120, resultando em uma vazão efetiva (CADR) de 300 m^3/h , o que garante aproximadamente 11 trocas de ar por hora em um cômodo de 27 m^3 , reduzindo 90% das partículas em cerca de 12 minutos.

A umidificação automatizada é controlada pelo sensor DHT22, que aciona o driver piezoelétrico (vazão de 40 mL/h) quando a umidade relativa cai abaixo de 40%, promovendo o aumento gradual da umidade. Em um cômodo de 27 m^3 , estima-se que um aumento de 10% na umidade relativa ocorre em aproximadamente 4 horas, contribuindo para o conforto respiratório e prevenindo o ressecamento das vias aéreas.

Além da eficácia técnica, o projeto reforça a importância da sustentabilidade, ao utilizar materiais recicláveis e biodegradáveis em sua construção, mostrando que soluções tecnológicas acessíveis podem ser desenvolvidas sem comprometer o meio ambiente (International Solid Waste Association, 2020).

Portanto, este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento do dispositivo AURA, detalhando seus parâmetros técnicos, desempenho de purificação e umidificação, e os benefícios clínicos e ecológicos associados. Ao oferecer uma solução automatizada, eficiente e sustentável, o projeto contribui para a melhoria da qualidade do ar interno, promovendo bem-estar para pessoas com doenças respiratórias e incentivando práticas ambientalmente responsáveis.

1.1 TEMA E SUA DELIMITAÇÃO

Dispositivo de purificação e umidificação do ar automatizado para auxiliar pessoas portadoras de doenças respiratórias crônicas.

1.2 PROBLEMA

É possível criar um dispositivo de baixo custo e com materiais recicláveis capaz de purificar e umidificar o ar do ambiente, com um sistema de umidificação automatizado?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um dispositivo purificador e umidificador de ar, a base de materiais sustentáveis, capaz de realizar as ações de umidificação automaticamente por meio de sensor de umidade do ar ambiente, tornando o ambiente residencial livre de alérgenos para ajudar pessoas portadoras de doenças respiratórias crônicas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estabelecer através de pesquisas a qualidade do ar ideal, incluindo níveis de purificação e umidificação, que o dispositivo irá efetuar para melhorar a qualidade de vida dos usuários com doenças respiratórias.
- Construir o dispositivo com materiais de baixo custo, tornando-o uma alternativa mais barata no mercado, resultando em custo-benefício.

- Utilizar materiais reciclados e/ou recicláveis na sua construção, sendo um projeto alinhado com as pautas ecológicas e sustentáveis.

1.4 JUSTIFICATIVA

A presença de alérgenos e microrganismos suspensos no ar representa um desafio significativo à saúde pública, especialmente para pessoas com doenças respiratórias crônicas, como asma, bronquite e rinite alérgica. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2016), cerca de 339 milhões de pessoas no mundo são afetadas por essas condições, e no Brasil, aproximadamente 10% da população convive com algum tipo de enfermidade respiratória, conforme dados da Associação Brasileira de Alergia e Imunologia (ASBAI, 2023). A má qualidade do ar é um dos principais fatores agravantes desses quadros clínicos, elevando o risco de hospitalizações e os custos associados ao tratamento dessas doenças.

Diante desse cenário, o desenvolvimento de um dispositivo purificador e umidificador de ar automatizado, utilizando materiais recicláveis e biodegradáveis, visa oferecer uma solução de baixo custo e alta eficiência para ambientes internos. O projeto propõe a purificação do ar por meio de um sistema de ventilação forçada, utilizando duas ventoinhas: Cooler Blower BFB1012VH 12V para captação (38 CFM, $\approx 64,8 \text{ m}^3/\text{h}$) e Cooler Master SickleFlow 120 para exaustão (62 CFM, $\approx 105,6 \text{ m}^3/\text{h}$), que direcionam o ar através de um filtro 3 em 1 (pré-filtro de algodão + carvão ativado + HEPA H13), capaz de reter 99,95% das partículas de $0,3 \mu\text{m}$. Os microrganismos retidos no filtro são inativados por uma lâmpada UV-C de 8W, com irradiância média de $1,32 \text{ mW}/\text{cm}^2$, garantindo a desinfecção do fluxo de ar.

O dispositivo apresenta uma vazão efetiva (CADR) de $300 \text{ m}^3/\text{h}$, promovendo cerca de 11 trocas de ar por hora em um cômodo residencial de 27 m^3 e reduzindo 90% das partículas em aproximadamente 12 minutos, o que evidencia a eficiência do sistema de purificação.

O controle da umidade do ar é realizado de forma automática por meio de um sensor DHT22 conectado a um microcontrolador Arduino Uno R3. Quando o nível de umidade relativa atinge valores iguais ou inferiores a 40% — patamar mínimo recomendado pela OMS (2019) —, o sistema aciona um módulo relé que ativa o nebulizador piezoelétrico, com vazão de $40 \text{ mL}/\text{h}$ e potência de 2W, restabelecendo gradualmente os níveis ideais de umidade. Em um cômodo de 27 m^3 , apresenta o aumento de 5% na umidade relativa do ar em um intervalo de 2 horas, contribuindo para o conforto respiratório e prevenindo sintomas associados ao ar seco.

Comparado a dispositivos similares disponíveis no mercado, que podem ultrapassar mil reais, o projeto se destaca por seu custo significativamente mais acessível, sem comprometer a eficácia. A utilização de componentes biodegradáveis e materiais recicláveis

reduz o custo de produção e amplia o acesso à tecnologia por camadas mais vulneráveis da população.

Além disso, a construção sustentável do dispositivo contribui para a economia circular, reduzindo a quantidade de resíduos sólidos em aterros, diminuindo a demanda por matérias-primas e colaborando para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (IEMA, 2020).

Portanto, este projeto combina eficiência tecnológica, acessibilidade econômica e responsabilidade ambiental, apresentando uma solução viável e relevante para promover qualidade de vida, bem-estar e sustentabilidade, ao mesmo tempo em que auxilia pessoas com doenças respiratórias crônicas.

2 ESTADO DA ARTE

Tabela 1 - Estado da Arte

Pesquisa	Autoria	Ano de publicação
DESENVOLVIMENTO DE UM PURIFICADOR DE AR COM RADIAÇÃO UVC E FILTRO HEPA NO CONTEXTO DE COVID-19	Julio Min Fei Zhang, Alyssa El Chihimi de Andrade, Felipe Augusto Moraes Machado, Larissa Bornia Ghilardi, Barbara Medeiros Almeida, Beatriz Vilas Boas Pugliese Falararo, Gustavo Alves Machado, Ana Paula Mendes Emygdio, Guilherme Martins Pereira	2022
DESCONTAMINAÇÃO QUÍMICO-MICROBIOLÓGICA EM AMBIENTES HOSPITALARES POR MEIO DE PURIFICADOR IÔNICO	Celina de Arruda Camargo, Cecília Mattos Ubson, Adnei Melges de Andrade, Rudolph Uri Hutsler, Rubens Franci de Vasconcelos, Daisy Baptista Stape	1972
DESENVOLVIMENTO DE UM PURIFICADOR DE AR BASEADO NA TECNOLOGIA DE IRRADIAÇÃO ULTRAVIOLETA GERMICIDA	Gabriele dos Santos Bezerra	2022

Fonte: Os autores (2024)

2.1 DESENVOLVIMENTO DE UM PURIFICADOR DE AR COM RADIAÇÃO UVC E FILTRO HEPA NO CONTEXTO DE COVID-19

Este estudo aborda um purificador de ar que combina radiação ultravioleta-C (UV-C) e um filtro HEPA para descontaminar ambientes com pouca ventilação. Foram avaliados parâmetros como irradiância da lâmpada, vazão de ar, concentração de ozônio e eficácia na eliminação de micro-organismos. O equipamento mostrou potencial para inativar até 80% do Sars-CoV-2 e uma alta eficácia na redução de bactérias e fungos em testes microbiológicos.

2.2 DESCONTAMINAÇÃO QUÍMICO-MICROBIOLÓGICA EM AMBIENTES HOSPITALARES POR MEIO DE PURIFICADOR IÔNICO

Apresenta um purificador de ar que utiliza filtragem eletrostática, testado em ambientes hospitalares com volumes de 32 m³ e 90 m³. As contagens de colônias em placas de cultura, expostas ao ar tratado pelo aparelho durante intervalos de 15 a 75 minutos, mostraram uma redução significativa no número de colônias em comparação ao ar não tratado. A eficiência do aparelho foi próxima de 100% na contagem comparativa de colônias antes e depois da purificação. O estudo também discute as implicações da contaminação bacteriana em ambientes hospitalares e as perspectivas desse método de purificação.

2.3 DESENVOLVIMENTO DE UM PURIFICADOR DE AR BASEADO NA TECNOLOGIA DE IRRADIAÇÃO ULTRAVIOLETA GERMICIDA

A pandemia de COVID-19 levou à suspensão das atividades presenciais na UFOPA, devido à alta taxa de transmissão do vírus, especialmente em ambientes fechados. Com a possível retomada dessas atividades, especialmente na região amazônica, onde as condições climáticas tornam difícil manter janelas abertas, foi desenvolvido um purificador de ar baseado em tecnologia ultravioleta germicida (UVGI). O objetivo é reduzir os riscos de contágio em ambientes fechados. Foram produzidos dois protótipos, com baixo custo, sendo distribuídos 85 purificadores até junho de 2022 para uso na universidade.

2.4 AURA - PURIFICADOR E UMIDIFICADOR DE AR AUTOMÁTICO SUSTENTÁVEL PARA SAÚDE RESPIRATÓRIA

O AURA é um dispositivo purificador e umidificador de ar automatizado, desenvolvido com o objetivo de auxiliar pessoas com doenças respiratórias crônicas, como asma, rinite e sinusite. Sua função principal é melhorar a qualidade do ar em ambientes internos, removendo alérgenos e partículas nocivas, além de manter a umidade relativa do ar em níveis ideais para a saúde respiratória. Voltado especialmente para uso residencial, o AURA é uma alternativa de baixo custo, construída a partir de materiais recicláveis e biodegradáveis, tornando-o acessível à população de baixa renda, que frequentemente não possui condições de adquirir equipamentos comerciais mais caros.

A umidificação do ar ocorre de forma automatizada por meio de um sensor de umidade DHT22, conectado a um microcontrolador Arduino Uno R3. Quando a umidade relativa atinge valores iguais ou inferiores a 40%, limite mínimo recomendado pela

Organização Mundial da Saúde, o sistema ativa um módulo relé que aciona o nebulizador piezoelétrico, com vazão de 40 mL/h e potência de 2W, liberando vapor de água até que a umidade ambiente retorne a níveis saudáveis. Em um cômodo residencial de 27 m³, obtém-se um acréscimo de 5% na umidade relativa do ar em 2 horas, garantindo conforto respiratório e prevenindo sintomas associados ao ar seco.

O processo de purificação do ar é realizado em múltiplas etapas. O ar é inicialmente captado por uma ventoinha tipo blower (Cooler BFB1012VH 12V, 38 CFM $\approx$ 64,8 m³/h), que o direciona através de um conjunto de filtros 3 em 1, composto por pré-filtro de algodão, filtro HEPA H13 e carvão ativado. O pré-filtro retém partículas maiores e protege os demais elementos; o HEPA H13 retém partículas finas e alérgenos com eficiência de 99,95% para partículas de 0,3 μ m; e o carvão ativado, posicionado por último, atua na absorção de odores e gases residuais. Após a filtragem física, o ar passa por uma etapa de desinfecção realizada por uma lâmpada UV-C de 8W, com irradiância média de 1,32 mW/cm², capaz de inativar microrganismos como bactérias, fungos e vírus capturados nos filtros. O ar purificado é então expelido de volta ao ambiente por uma segunda ventoinha (Cooler Master SickleFlow 120, 62 CFM $\approx$ 105,6 m³/h), garantindo um CADR efetivo de 300 m³/h, o que proporciona cerca de 11 trocas de ar por hora em um cômodo de 27 m³ e redução de 90% das partículas em aproximadamente 12 minutos.

Em comparação com dispositivos similares disponíveis no mercado, que muitas vezes possuem custo elevado, o AURA apresenta diferenciais significativos: integração das funções de purificação e umidificação em um único equipamento, controle automatizado e estrutura sustentável, utilizando materiais recicláveis e biodegradáveis. Essa abordagem alia acessibilidade, eficiência e consciência ambiental, atendendo diretamente às necessidades de pessoas com condições respiratórias em contextos socioeconômicos mais vulneráveis.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 QUALIDADE DO AR E SAÚDE RESPIRATÓRIA

A qualidade do ar é um fator determinante na prevalência e no agravamento de doenças respiratórias crônicas, como asma e rinite alérgica, entre outras condições associadas à exposição a alérgenos (OMS, 2021). Esses agentes, como ácaros, pólen, esporos de mofo e pelos de animais, flutuam no ar e, ao serem inalados, podem desencadear reações alérgicas ou agravar sintomas em indivíduos com tais condições. A exposição prolongada a esses alérgenos tende a intensificar a inflamação crônica das vias respiratórias, o que pode exacerbar os sintomas e aumentar o risco de complicações.

Além da purificação, a umidificação adequada do ar desempenha um papel essencial na manutenção da saúde respiratória. Condições de umidade fora dos níveis ideais estipulados pela OMS (2019), que são de 40% a 70%, podem impactar negativamente o sistema respiratório. A baixa umidade de 40%, por exemplo, pode causar o ressecamento das mucosas nas vias aéreas, reduzindo as defesas naturais contra patógenos e aumentando a suscetibilidade a infecções respiratórias. Esse ressecamento também contribui para o agravamento de doenças respiratórias alérgicas, como a rinite, ao provocar irritação das vias aéreas, especialmente em ambientes com baixa umidade (Unimed, 2023).

3.2 TECNOLOGIAS DE PURIFICAÇÃO E UMIDIFICAÇÃO DO AR

A purificação do ar em ambientes internos é fundamental para reduzir os efeitos prejudiciais de partículas e microrganismos. O ar pode ser limpo por meio de filtros HEPA (High Efficiency Particulate Air) e luz ultravioleta (UV-C). Filtros HEPA são capazes de reter partículas com diâmetro igual ou superior a $0,3\ \mu\text{m}$, incluindo vírus, bactérias e alérgenos. A luz UV-C atua inativando microrganismos ao destruir seu material genético, sendo amplamente utilizada em hospitais e residências para esterilização do ar.

No dispositivo AURA, a purificação ocorre em múltiplas etapas. O ar é captado pelo cooler BFB1012VH 12 V ($38\ \text{CFM} \approx 64,8\ \text{m}^3/\text{h}$) e direcionado por um conjunto de filtros pré-filtro de algodão, HEPA H13 e carvão ativado, onde o HEPA retém 99,95% das partículas de $0,3\ \mu\text{m}$ e o carvão ativado remove odores e gases residuais. Em seguida, o ar passa pela lâmpada UV-C de 8W, com irradiância média de $1,32\ \text{mW}/\text{cm}^2$, que inativa microrganismos capturados nos filtros. O ar purificado é então expelido pelo Cooler Master SickleFlow 120 ($62\ \text{CFM} \approx 105,6\ \text{m}^3/\text{h}$), garantindo um CADR de $300\ \text{m}^3/\text{h}$, aproximadamente 11 trocas de ar

por hora em um cômodo de 27 m³, com redução de 90% das partículas em cerca de 12 minutos.

A umidificação automatizada do ar é realizada por um sensor DHT22, conectado a um microcontrolador Arduino Uno R3. Quando a umidade relativa cai abaixo de 40%, o sensor aciona o nebulizador piezoelétrico, com vazão de 40 mL/h, transformando água em névoa ultrafina. Em um cômodo de 27 m³ usado como base, garante-se um aumento de 5% na umidade relativa do ar em 2 horas, proporcionando conforto respiratório e prevenindo irritação das vias aéreas.

3.3 SUSTENTABILIDADE E USO DE MATERIAIS RECICLÁVEIS

A utilização de materiais recicláveis, reciclados e biodegradáveis na fabricação de dispositivos é uma prática fundamental para promover a sustentabilidade e reduzir o impacto ambiental. Ao optar por materiais recicláveis e reciclados, reduz-se a necessidade de extração de matérias-primas virgens, diminuindo o consumo de recursos naturais e a geração de resíduos. Já o uso de materiais biodegradáveis contribui para minimizar os impactos ao final do ciclo de vida dos produtos, pois esses materiais se decompõem naturalmente, retornando ao meio ambiente sem causar poluição ou acúmulo de resíduos de difícil degradação. Além disso, de acordo com a Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2020), o uso de materiais reciclados e biodegradáveis fortalece o conceito de economia circular, no qual produtos e materiais são continuamente reaproveitados ou reintegrados ao meio ambiente de forma segura, reduzindo a quantidade de resíduos descartados em aterros e as emissões de gases de efeito estufa associadas aos processos de decomposição e fabricação de novos materiais.

Do ponto de vista da inovação, o desenvolvimento de dispositivos com materiais recicláveis, reciclados e biodegradáveis incentiva a criação de novos processos produtivos e tecnologias de reciclagem e compostagem. Essa prática estimula uma mentalidade de design ecológico, em que os dispositivos são concebidos para serem desmontados, reaproveitados e descartados de maneira ambientalmente responsável. Essa abordagem não apenas melhora a eficiência dos ciclos produtivos, mas também aumenta o valor agregado dos produtos, destacando as empresas que adotam práticas sustentáveis e demonstram compromisso com o meio ambiente.

Além dos benefícios ambientais e econômicos, o uso de materiais recicláveis, reciclados e biodegradáveis em dispositivos promove uma conscientização global sobre a importância de reduzir o desperdício e o consumo de recursos naturais. Essa prática está

alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), contribuindo para um futuro mais equilibrado e responsável. Assim, dispositivos sustentáveis não apenas diminuem o impacto ambiental, mas também representam um compromisso com a preservação ambiental e com o desenvolvimento de soluções inovadoras e eficientes para as próximas gerações.

3.4 CUSTO-BENEFÍCIO NO MERCADO

O projeto enfatiza o compromisso com a acessibilidade, focando no desenvolvimento de um dispositivo voltado especialmente para pessoas de baixa renda. Para tornar o projeto financeiramente viável e acessível, foram cuidadosamente escolhidos materiais de baixo custo e alta durabilidade, permitindo uma produção econômica sem comprometer a qualidade. Essa abordagem, centrada na eficiência de custo, resulta em um dispositivo que não só oferece um excelente custo-benefício, mas também se destaca em comparação com alternativas presentes no mercado, que são consideravelmente mais caras e inacessíveis para a maior parte da população brasileira.

3.5 COMPONENTES DO PROTÓTIPO

3.5.1 Cooler Blower BFB1012VH 12V

O Cooler Blower BFB1012VH 12V é uma ventoinha do tipo centrífuga, projetada para fornecer alto fluxo de ar aliado a elevada pressão estática, sendo especialmente indicada para aplicações que exigem eficiência na movimentação de ar em espaços restritos ou através de filtros. Sua operação ocorre com tensão de 12V, possuindo rolamento de esferas, o que assegura durabilidade e funcionamento contínuo mesmo em condições de uso intenso.

O formato de blower permite direcionar o ar de forma concentrada, proporcionando ventilação mais eficaz em comparação com ventoinhas axiais convencionais. A ventoinha apresenta vazão nominal de 38 CFM ($\approx 64,8 \text{ m}^3/\text{h}$), sendo capaz de impulsionar o ar através do sistema de filtragem do protótipo com eficiência. Sua estrutura robusta e capacidade de operar em altas rotações tornam o componente confiável para integração em sistemas de purificação e ventilação, garantindo desempenho consistente em diferentes condições operacionais.

Figura 1 - Cooler Blower BFB1012VH



Fonte: IndiaMART (2025)

3.5.2 Cooler Master Sickleflow 120 12V

O Cooler Master SickleFlow 120 12V é uma ventoinha axial projetada para mover grandes volumes de ar de maneira eficiente e silenciosa, sendo adequada para aplicações em que o espaço permite dispersão ampla do fluxo. Opera com tensão de 12V, apresentando pás aerodinâmicas em formato de foice, que proporcionam fluxo constante e baixo nível de ruído.

O rolamento, geralmente do tipo sleeve ou rifle, oferece equilíbrio entre desempenho e durabilidade, enquanto o quadro robusto garante estabilidade, resistência a vibrações e fácil integração em diferentes sistemas. Esta ventoinha possui vazão nominal de 62 CFM ($\approx 105,6 \text{ m}^3/\text{h}$), sendo ideal para expelir o ar purificado pelo protótipo de volta ao ambiente. É amplamente utilizada em refrigeração de eletrônicos, ventilação residencial e sistemas que exigem arrefecimento eficiente sem consumo excessivo de energia.

Figura 2 - Cooler Master Sickleflow 120



Fonte: Cooler Master (2025)

3.5.3 Filtro 3 em 1 MORENTO HY 4866

O Filtro 3 em 1 Morento HY 4866 é um elemento de reposição multiestágio, projetado para purificadores domésticos, combinando três tecnologias integradas para maximizar a eficiência na filtragem do ar:

- Pré-filtro de algodão eletrostático: retém partículas maiores, como poeira, cabelos e pelos, protegendo as camadas subsequentes e prolongando a vida útil do conjunto.
- Filtro HEPA H13: retém 99,95% das partículas com diâmetro $\geq 0,3 \mu\text{m}$, incluindo alérgenos como pólen, ácaros e esporos de fungos, sendo essencial para a purificação do ar.
- Carvão ativado em favo de mel (honeycomb): adsorve gases, compostos orgânicos voláteis e odores residuais, complementando a ação do HEPA e estendendo a eficiência do filtro.

O filtro apresenta queda de pressão de 250 Pa e CADR de 300 m³/h, garantindo trocas de ar rápidas e eficientes. A vida útil estimada é de aproximadamente 2.200 horas de uso contínuo, com recomendação de substituição a cada seis meses.

A disposição em múltiplas camadas permite ação integrada e complementar: o pré-filtro captura os maiores contaminantes, o HEPA retém microalérgenos e o carvão ativado neutraliza odores e poluentes químicos, resultando em ambientes internos mais limpos e saudáveis, com maior conforto respiratório para os usuários do protótipo.

Figura 3 - Filtro Morento HY 4866



Fonte: Amazon (2025)

3.5.4 Lâmpada UV-C 8W

A lâmpada UV-C 8W é um dispositivo desinfetante que emite radiação ultravioleta na faixa UV-C (200 a 280 nm), eficaz para inativar microrganismos como bactérias, vírus e fungos. A radiação UV-C danifica o DNA ou RNA dos patógenos, impedindo sua replicação e tornando-os inofensivos.

A lâmpada apresenta irradiância média de $1,32 \text{ mW/cm}^2$, associada à sua potência de 8W, garantindo alta eficiência na destruição de microrganismos em aplicações diversas.

Essas lâmpadas são amplamente utilizadas em sistemas de purificação de ar, água e superfícies, sendo aplicáveis em ambientes que exigem altos padrões de higiene, como hospitais, laboratórios e instalações de processamento de alimentos.

Figura 4 - Lâmpada UV-C 8W



Fonte: Mercado Livre (2025)

3.5.5 Reator Bivolt 8W

O reator eletrônico bivolt para lâmpadas UV-C de 8W é um dispositivo responsável por fornecer a tensão e corrente adequadas para o funcionamento correto das lâmpadas ultravioleta. Projetado para operar em redes elétricas de 110V ou 220V, o reator realiza o controle automático da alimentação, garantindo a estabilidade elétrica e a eficiência luminosa da lâmpada.

Esse componente é essencial para preservar a vida útil da lâmpada e assegurar que a intensidade da radiação UV-C permaneça constante durante o uso. Além disso, apresenta baixo consumo de energia, dimensões compactas e proteção contra variações de tensão, características que o tornam adequado para sistemas de purificação, esterilização e desinfecção em diferentes aplicações.

Figura 5 - Reator Bivolt 8W

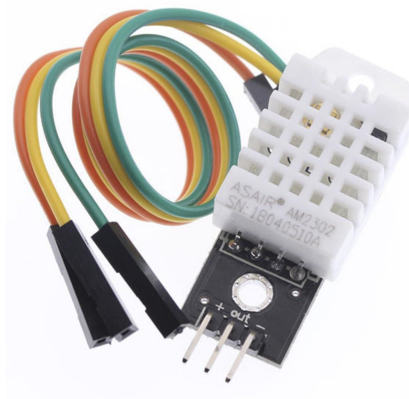


Fonte: Mercado Livre (2025)

3.5.6 Módulo Sensor de Umidade do Ar DHT22

O Módulo Sensor de Umidade do Ar DHT22, também conhecido como AM2302, é um sensor digital utilizado para medir a umidade relativa e a temperatura do ambiente com boa precisão e estabilidade. Ele possui um sensor capacitivo de umidade e um termistor para medir a temperatura, enviando os dados em formato digital para microcontroladores via um único fio de comunicação. O AM2302 é conhecido pela sua faixa de medição ampla, cobrindo umidade de 0 a 100% e temperatura de -40°C a 80°C , com resolução típica de 0,1% para umidade e $0,1^{\circ}\text{C}$ para temperatura. Por sua facilidade de uso, interface simples e precisão, o módulo é amplamente empregado em sistemas de monitoramento ambiental, automação residencial, meteorologia amadora e projetos eletrônicos em geral.

Figura 6 - Sensor de Umidade DHT22

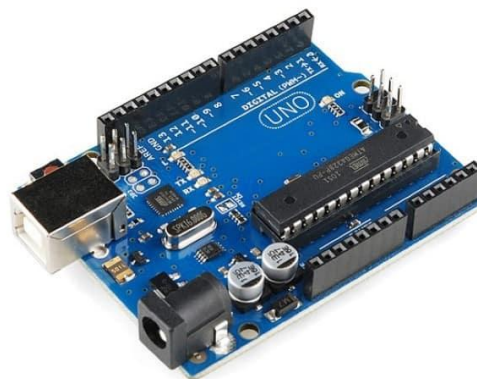


Fonte: Amazon (2025)

3.5.7 Arduino Uno ATmega328P

O Arduino Uno ATmega328P é uma placa de prototipagem eletrônica amplamente utilizada em projetos de automação, controle e aprendizado de programação embarcada. Baseada no microcontrolador ATmega328P, ela oferece 14 portas digitais (das quais 6 podem ser usadas como saídas PWM), 6 entradas analógicas, além de conexões para comunicação serial, SPI e I2C. A placa opera com uma tensão de 5V e pode ser alimentada por uma fonte externa ou via USB. Sua programação é feita através da IDE do Arduino, utilizando uma linguagem baseada em C/C++, o que a torna acessível tanto para iniciantes quanto para usuários avançados. Graças à sua versatilidade, compatibilidade com sensores e módulos diversos, e vasta comunidade de suporte, o Arduino Uno é uma das placas mais populares do mercado para desenvolvimento de protótipos eletrônicos.

Figura 7 - Arduino Uno



Fonte: Mercado Livre (2025)

3.5.8 Nebulizador Piezoelétrico

O nebulizador piezoelétrico é um dispositivo que utiliza um transdutor piezoelétrico para converter energia elétrica em vibrações mecânicas de alta frequência, promovendo a atomização ultrassônica da água. Essas vibrações são aplicadas à superfície do líquido, gerando uma névoa fina de microgotículas sem a necessidade de aquecimento.

Com potência nominal de 2W e vazão média de 40 mL/h, o nebulizador é capaz de operar de forma contínua e silenciosa, produzindo partículas de névoa com diâmetro inferior a 5 μm , ideais para aumentar a umidade relativa do ar de maneira uniforme. O dispositivo trabalha eficientemente em temperatura da água em torno de 20 °C, apresentando baixo consumo energético e alta durabilidade.

Essa tecnologia é amplamente empregada em sistemas de umidificação ambiental, equipamentos médicos, aplicações cosméticas e processos industriais, destacando-se por sua segurança, eficiência e operação sem partes móveis ou calor, o que reduz riscos e simplifica a manutenção.

Figura 8 - Nebulizador Piezoelétrico

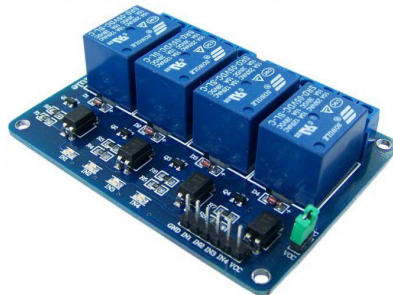


Fonte: Usinainfo (2025)

3.5.9 Módulo Relé 4 Canais 5V

O módulo relé 4 canais de 5V é um componente eletrônico utilizado para controlar dispositivos elétricos de maior potência a partir de sinais de baixa tensão, típicos de microcontroladores como o Arduino. Cada relé atua como um interruptor eletromecânico, permitindo abrir ou fechar circuitos elétricos de corrente alternada ou contínua de forma isolada. O módulo opera com uma tensão de acionamento de 5V, oferecendo isolamento entre o circuito de controle e a carga, garantindo segurança e proteção aos componentes eletrônicos. Cada canal suporta tensões de entrada de 110V a 220V, tornando-o adequado para controlar aparelhos domésticos e industriais. É amplamente utilizado em projetos de automação residencial, industrial e prototipagem eletrônica para controlar lâmpadas, motores, ventiladores e outros equipamentos.

Figura 9 - Módulo Relé 4 Canais



Fonte: MarkerHero (2025)

3.5.10 Fonte 12V 2,5A

Uma fonte de 12V é um dispositivo utilizado para fornecer uma tensão constante de 12 volts para alimentar diversos aparelhos e circuitos eletrônicos. Essas fontes podem ser de diferentes tipos e formatos, como adaptadores de tomada ou módulos de fonte chaveada. Fontes de 12V são comumente usadas em sistemas de automação, controle de motores, projetos com Arduino, LEDs e em dispositivos de telecomunicações, fornecendo uma alimentação segura e estável.

Figura 10 - Fonte 12V 2,5A



Fonte: Mercado Livre (2025)

3.5.11 Interruptor LED

Os interruptores com LED são componentes eletrônicos simples utilizados para controlar o fluxo de energia em dispositivos eletrônicos e eletrodomésticos, ao mesmo tempo em que indicam visualmente o status de funcionamento do equipamento. Esses interruptores funcionam como um botão liga/desliga, permitindo abrir ou fechar um circuito elétrico. O LED incorporado ao interruptor acende quando o circuito está ativo, fornecendo um indicativo visual claro para o usuário. Eles são geralmente compactos, fáceis de instalar e disponíveis em diversas configurações, como interruptores de pressão, basculantes ou deslizantes. Seu uso é comum em eletrodomésticos, equipamentos de informática, dispositivos automotivos e projetos eletrônicos, facilitando o controle e a operação segura dos aparelhos.

Figura 11 - Interruptor LED



Fonte: Amazon (2025)

3.5.12 Fusível de Vidro

Os fusíveis de vidro são componentes de proteção amplamente utilizados em circuitos elétricos para evitar danos causados por sobrecorrente. Compostos por um tubo cilíndrico de vidro transparente com terminais metálicos nas extremidades, esses fusíveis contêm um filamento condutor em seu interior que se rompe quando a corrente elétrica ultrapassa o limite especificado, interrompendo o circuito e prevenindo falhas maiores ou riscos de incêndio. Sua estrutura transparente permite a inspeção visual rápida para verificar se o fusível está queimado. Com tamanhos compactos e diferentes faixas de corrente e tensão, os fusíveis de vidro são comuns em equipamentos eletrônicos, eletrodomésticos, carregadores e sistemas de alimentação, sendo uma solução simples e eficaz para a segurança de dispositivos elétricos.

Figura 12 - Fusível de Vidro



Fonte: Eletorastro (2025)

3.5.13 Chave Seletora de Tensão

A chave seletora de tensão 110/220V é um componente eletromecânico utilizado para alternar manualmente entre duas faixas de tensão de alimentação elétrica, geralmente 110V e 220V. Ela é comum em aparelhos eletrônicos e eletrodomésticos bivolt, permitindo que o usuário selecione a tensão adequada conforme a rede elétrica disponível, evitando danos ao equipamento. O mecanismo da chave geralmente é simples, com uma posição deslizante ou rotativa que redireciona os contatos internos para o circuito correspondente. Seu uso é importante em dispositivos portáteis, fontes de alimentação e sistemas eletrônicos que precisam operar em diferentes regiões com padrões distintos de tensão elétrica. Além disso, sua estrutura robusta garante segurança durante a mudança de tensão, desde que a chave seja ajustada com o aparelho desligado.

Figura 13 - Chave Seletora de Tensão



Fonte: Shopee (2025)

4 METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento do projeto baseou-se em uma pesquisa quantitativa exploratória e descritiva, fundamentada em revisão bibliográfica e em testes experimentais realizados no protótipo funcional. Foram consultadas fontes acadêmicas e técnicas confiáveis para embasar as etapas de dimensionamento, seleção de componentes e análise de eficiência do dispositivo. Todo o processo de concepção e execução do projeto foi guiado por critérios de viabilidade técnica, baixo custo e sustentabilidade ambiental.

O dispositivo AURA foi projetado para atuar simultaneamente como purificador e umidificador de ar automatizado, priorizando a eficiência na remoção de alérgenos e no controle da umidade relativa do ar ambiente. O princípio de funcionamento baseou-se na sucção do ar ambiente, filtragem em múltiplos estágios, desinfecção por radiação UV-C e restituição do ar limpo ao cômodo.

O processo de purificação inicia-se pela sucção do ar realizada pela ventoinha centrífuga Cooler Blower BFB1012VH 12V, com vazão nominal de 38 CFM ($\approx 64,8 \text{ m}^3/\text{h}$) e pressão estática de até 250 Pa, capaz de vencer a perda de carga do conjunto filtrante. O ar foi conduzido ao filtro 3 em 1 Morento HY4866, composto por pré-filtro de algodão, filtro HEPA H13 e camada final de carvão ativado. O HEPA H13 apresenta eficiência de 99,95% na retenção de partículas de $0,3\mu\text{m}$, atuando como principal barreira contra alérgenos e microrganismos em suspensão. A perda de carga do filtro ($\approx 250 \text{ Pa}$) é compatível com a pressão de operação do blower, garantindo fluxo estável e purificação efetiva.

Após a filtragem física, o ar passa pela câmara de desinfecção UV-C, de dimensões $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}$, onde é irradiado por uma lâmpada germicida UV-C de 8W, com irradiância média de $1,32 \text{ mW}/\text{cm}^2$, posicionada a 10 cm de distância do filtro. Para aumentar a vida útil da lâmpada e evitar uso desnecessário do componente, ela é acionada em ciclos programados de 15 minutos ligada e 45 minutos desligada. Essa etapa promove a inativação de grande parte dos microrganismos retidos nos filtros, seguindo os parâmetros recomendados pela norma ISO 15714:2019 e referências da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021). A radiação UV-C aplicada garante a neutralização biológica dos contaminantes, permitindo a devolução de ar purificado ao ambiente.

O ar purificado é então expelido por uma segunda ventoinha axial Cooler Master Sickleflow 120 12V, com vazão nominal de 62 CFM ($\approx 105,6 \text{ m}^3/\text{h}$). O conjunto filtrante e as ventoinhas fornecem um CADR de $300 \text{ m}^3/\text{h}$, possibilitando aproximadamente 11 trocas de ar por hora em um cômodo de 27 m^3 , o que assegura rápida redução de partículas suspensas.

A função de umidificação é controlada de maneira automatizada através do sensor de umidade DHT22, acoplado a um Arduino Uno R3. O sistema monitora continuamente a umidade relativa do ar e, ao detectar valores iguais ou inferiores a 40 %, aciona via módulo relé um nebulizador piezoelétrico de 40 mL/h e potência de 2W, responsável por gerar névoa fria a partir da água no reservatório de 420 mL. Considerando essa taxa de atomização, o reservatório garante autonomia de aproximadamente 10 horas de operação contínua, restabelecendo gradualmente os níveis ideais de umidade (entre 45 % e 60 %).

Durante o desenvolvimento e os testes do protótipo, foram avaliados os seguintes parâmetros de desempenho:

- Eficiência de filtragem do conjunto HEPA H13 e carvão ativado;
- Taxa de renovação de ar (CADR) em função da vazão combinada das ventoinhas;
- Controle automatizado da lâmpada UV-C em ciclos de 15 minutos ligada e 45 minutos desligada;
- Controle automático da umidade com limite inferior de 40 %;
- Segurança elétrica e térmica do sistema, incluindo isolamento e proteção por fusível.

Os resultados demonstraram que o dispositivo atendeu às metas do projeto, apresentando elevada eficiência de purificação, controle automatizado estável e baixo consumo energético, dentro dos parâmetros de segurança e sustentabilidade propostos.

4.1 TIPO DE PESQUISA

A pesquisa realizada neste projeto envolveu três abordagens complementares da pesquisa qualitativa, todas aplicadas de forma sequencial durante o desenvolvimento do dispositivo AURA, visando compreender, implementar e avaliar soluções para doenças respiratórias crônicas.

- Pesquisa qualitativa exploratória: Esta etapa foi empregada no início do projeto para ampliar o conhecimento sobre o tema e coletar informações preliminares. Foram analisados projetos existentes, revisadas publicações acadêmicas e estudados problemas relacionados à qualidade do ar e doenças respiratórias crônicas. Essa abordagem permitiu identificar lacunas, estabelecer os objetivos do projeto e definir o escopo do protótipo, focando na melhoria da saúde e qualidade de vida dos usuários.
- Pesquisa qualitativa descritiva: Após a fase exploratória, a abordagem descritiva foi utilizada para detalhar características específicas do fenômeno em estudo, como os efeitos da umidade relativa e a presença de alérgenos no ar. Nessa fase, foram levantadas informações técnicas sobre filtros HEPA, sistemas de ventilação, lâmpadas UV-C e nebulizadores piezoelétricos, permitindo compreender as necessidades do dispositivo e embasar as decisões de projeto de forma precisa.
- Pesquisa qualitativa explicativa: Na etapa final, essa abordagem foi aplicada para analisar relações de causa e efeito entre os parâmetros do protótipo e os resultados obtidos. Permitindo entender como a combinação de filtragem, radiação UV-C e umidificação automática impactava a qualidade do ar e a eficiência do dispositivo. Essa análise orientou ajustes no funcionamento do protótipo e consolidou as conclusões sobre sua eficácia.

Dessa forma, a pesquisa foi conduzida de maneira estruturada, seguindo a sequência exploratória, descritiva e explicativa, o que garantiu a fundamentação teórica, a adequação técnica do protótipo e a validação dos resultados obtidos.

4.2 FUNÇÃO DOS COMPONENTES

4.2.1 Cooler Blower BFB1012VH 12V

O Cooler Blower BFB1012VH 12V é uma ventoinha centrífuga utilizada para realizar a sucção do ar externo para dentro do sistema de purificação. Com vazão nominal de 38 CFM ($\approx 64,8 \text{ m}^3/\text{h}$) e pressão estática de até 250 Pa, sua estrutura permite direcionar o fluxo de ar de maneira concentrada e constante, garantindo que o ar passe eficientemente pelos filtros e pela câmara de desinfecção UV-C.

A capacidade do blower de vencer a perda de carga do filtro 3 em 1 (pré-filtro de algodão, HEPA H13 e carvão ativado) assegura fluxo estável e contínuo de ar, contribuindo para a eficiência do purificador e mantendo o ciclo de renovação de ar constante dentro do ambiente. Essa característica torna o componente ideal para aplicações em ambientes internos que exigem movimentação de ar controlada e pressurizada, essencial para a efetividade da filtragem e desinfecção do ar.

4.2.2 Cooler Master Sickleflow 120 12V

O Cooler Master SickleFlow 120 12V é uma ventoinha axial posicionada na saída do sistema, responsável por expulsar o ar purificado e umidificado de volta ao ambiente. Com vazão nominal de 62 CFM ($\approx 105,6 \text{ m}^3/\text{h}$), ela assegura um fluxo contínuo, favorecendo a distribuição uniforme do ar tratado e auxiliando na ventilação interna do dispositivo.

Seu funcionamento silencioso e a construção robusta permitem operação prolongada, sendo adequada para uso residencial. A ventoinha axial, ao combinar alto volume de ar com baixa resistência ao fluxo, complementa a ventoinha centrífuga de entrada, garantindo ciclos eficientes de captação e devolução do ar, contribuindo diretamente para o alcance do CADR efetivo de $300 \text{ m}^3/\text{h}$ e para a manutenção da qualidade do ar no cômodo.

4.2.3 Filtro 3 em 1 Morento HY 4866

O Filtro 3 em 1 Morento HY 4866 é composto por três camadas integradas para maximizar a purificação do ar:

1. Pré-filtro de algodão eletrostático – retém partículas maiores, como poeira, cabelos e pelos, prolongando a vida útil das camadas subsequentes;
2. Filtro HEPA H13 – captura até 99,95% das partículas com 0,3 μm , incluindo ácaros, pólen e micro-organismos, sendo a principal barreira física contra contaminantes microscópicos;
3. Carvão ativado em favo de mel – adsorve odores e compostos orgânicos voláteis, complementando a filtragem física com tratamento químico do ar.

O filtro suporta uma vazão máxima de 300 m^3/h , com perda de carga de aproximadamente 250 Pa, permitindo que a ventoinha centrífuga BFB1012VH mantenha fluxo constante de ar mesmo com a resistência do conjunto filtrante. Sua construção multiestágio garante retenção eficaz de partículas e gases, sendo essencial para o alcance do CADR do sistema e para a qualidade do ar devolvido ao ambiente.

4.2.4 Lâmpada UV-C 8W

A lâmpada germicida UV-C 8W emite radiação ultravioleta na faixa de 200 a 280 nm, com irradiância média de 1,32 mW/cm^2 a uma distância de 10 cm. Esta faixa espectral é eficaz na inativação de microrganismos, pois causa danos ao DNA e RNA, impedindo a replicação dos patógenos.

Instalada dentro da câmara de desinfecção de 30 $\times$ 30 $\times$ 30 cm, a lâmpada é projetada para atuar sobre o ar que atravessa o filtro HEPA, garantindo uma etapa adicional de purificação biológica em ciclos de 15 minutos ligada e 45 desligada. A irradiância e o tempo de exposição são dimensionados para assegurar eficiência, respeitando a norma ISO 15714:2019, sem comprometer a vida útil do componente.

4.2.5 Reator Bivolt 8W

O reator bivolt 8W é um componente eletrônico responsável por fornecer tensão e corrente estabilizadas à lâmpada UV-C, garantindo seu funcionamento seguro e eficiente. Ele regula automaticamente a alimentação para a lâmpada operar com a potência nominal de 8 W, preservando a intensidade da radiação emitida e prolongando a vida útil do equipamento.

Projetado para operação em 110 V ou 220 V, o reator possui compatibilidade com redes elétricas distintas, sendo integrado ao protótipo com uma chave seletora de tensão. Essa característica assegura flexibilidade na instalação, mantendo estabilidade elétrica e segurança operacional do sistema de purificação.

4.2.6 Módulo Sensor de Umidade do Ar DHT22

O DHT22 (AM2302) é um sensor digital de umidade relativa e temperatura, utilizado para monitorar continuamente as condições ambientais do cômodo. Ele possui faixa de medição de 0 a 100% de umidade relativa e temperatura de -40°C a 80°C, com resolução típica de 0,1% para umidade e 0,1°C para temperatura.

O sensor comunica os dados de forma digital a um microcontrolador, permitindo controle automatizado do sistema de umidificação. Ele é capaz de detectar rapidamente quedas de umidade abaixo de 40%, ativando o nebulizador piezoelétrico de forma precisa e contínua. Sua alta estabilidade, precisão e confiabilidade o tornam adequado para sistemas residenciais de climatização e purificação do ar.

4.2.7 Arduino Uno ATmega328P

O Arduino Uno ATmega328P atua como unidade de controle central do protótipo, processando dados digitais do sensor de umidade DHT22 (AM2302) e comandando os atuadores do sistema.

Quando a umidade relativa do ambiente cai abaixo de 40%, o Arduino aciona o módulo relé 4 canais 5V, ligando o nebulizador piezoelétrico para dispersão de microgotículas de água. Além disso, um segundo canal do relé é programado para controlar a lâmpada UV-C, operando em ciclos de 15 minutos ligada e 45 minutos desligada, garantindo eficiência biológica do dispositivo sem sobrecarregar a lâmpada, prolongando sua vida útil.

O Arduino fornece resposta rápida e contínua, garantindo que tanto a umidificação quanto a purificação biológica sejam realizadas de forma automatizada e precisa. Sua

versatilidade e compatibilidade com múltiplos sensores e atuadores tornam o microcontrolador ideal para integração de sistemas residenciais de monitoramento ambiental e controle de climatização.

4.2.8 Nebulizador Piezoelétrico

O nebulizador piezoelétrico é responsável pela umidificação do ar ambiente, atuando de forma independente do sistema de purificação. Ele utiliza um transdutor piezoelétrico para converter energia elétrica em vibrações ultrassônicas de alta frequência, que atomizam a água em microgotículas com diâmetro geralmente inferior a 5 μm , produzindo uma névoa fina e uniforme.

O dispositivo possui vazão de 40 mL/h e consumo elétrico de 2 W, permitindo umidificação contínua sem aquecimento da água, operação silenciosa e baixa demanda energética. Posicionado externamente ao protótipo, o nebulizador dispersa diretamente a névoa no ambiente, mantendo a umidade relativa dentro dos padrões ideais (40–70%) recomendados pela OMS.

Seu funcionamento é controlado automaticamente pelo Arduino Uno ATmega328P, que aciona o nebulizador sempre que a umidade detectada pelo sensor DHT22 (AM2302) estiver abaixo de 40%, garantindo operação eficiente, contínua e adaptada às condições reais do ar.

4.2.9 Módulo Relé 4 Canais 5V

O módulo relé 4 canais 5V é um componente eletrônico utilizado para controlar cargas de maior potência a partir de sinais de baixa tensão fornecidos pelo Arduino. Cada relé funciona como um interruptor eletromecânico, isolando o circuito de controle da carga elétrica e garantindo segurança operacional.

No protótipo, o módulo possui dois canais ativos:

- Canal 1: aciona o nebulizador piezoelétrico, permitindo a dispersão de névoa de água no ambiente sempre que a umidade relativa detectada pelo sensor DHT22 (AM2302) estiver abaixo de 40%.
- Canal 2: controla a lâmpada UV-C, operando em ciclos de 15 minutos ligada e 45 minutos desligada, evitando uso contínuo e prolongando a vida útil do componente.

Os demais canais do relé permanecem disponíveis para futuras expansões do sistema. A utilização do módulo garante controle automatizado, seguro e confiável sobre os atuadores do protótipo, integrando eficiência e proteção elétrica.

4.2.10 Fonte 12V 2,5A

A fonte 12V 2,5A é responsável por fornecer a alimentação elétrica necessária para o funcionamento das ventoinhas e do Arduino Uno no projeto. Ela converte a tensão da rede elétrica (110V ou 220V) para 12 volts em corrente contínua (DC), garantindo uma alimentação estável e segura para os componentes conectados.

4.2.11 Interruptor LED

Instalado externamente no dispositivo, o interruptor com LED embutido permite ligar e desligar todo o sistema manualmente. A presença do LED indica visualmente o estado de funcionamento do equipamento, oferecendo praticidade e segurança ao usuário durante o uso do protótipo.

4.2.12 Fusível de Vidro

O fusível de vidro é um componente de proteção elétrica, instalado na linha de alimentação do sistema. Ele interrompe o circuito automaticamente em caso de sobrecorrente ou curto-circuito, protegendo os demais componentes contra danos elétricos e aumentando a segurança operacional do protótipo.

4.2.13 Chave Seletora de Tensão

A chave seletora permite ao usuário escolher entre 110V ou 220V como tensão de entrada para o reator da lâmpada UV-C. Isso torna o protótipo compatível com diferentes padrões de rede elétrica, possibilitando seu uso em qualquer região sem necessidade de adaptadores ou transformadores externos.

4.3 MONTAGEM DO PROTÓTIPO

A construção do protótipo foi realizada utilizando plaquetas de MDF com dimensões de 30×40 cm, apoiadas sobre uma base de 30×30 cm, garantindo estabilidade estrutural e suporte aos componentes internos. O MDF foi escolhido por ser um material biodegradável, reforçando a sustentabilidade do projeto. A carcaça foi projetada em dois andares para otimizar o espaço e organizar os sistemas do dispositivo.

O primeiro andar, com altura de 10 cm, foi destinado à acomodação dos componentes do circuito base, incluindo o Arduino Uno, o módulo relé, a fonte de alimentação e demais elementos elétricos. O lado esquerdo da carcaça é deslizante, permitindo visualização e manutenção do circuito de forma prática e segura. Já o segundo andar, com altura de 30 cm, foi reservado para o conjunto de purificação, contendo o filtro 3 em 1 Morento HY 4866 e a lâmpada UV-C, fixados sobre suportes específicos que garantem alinhamento adequado e estabilidade durante a operação.

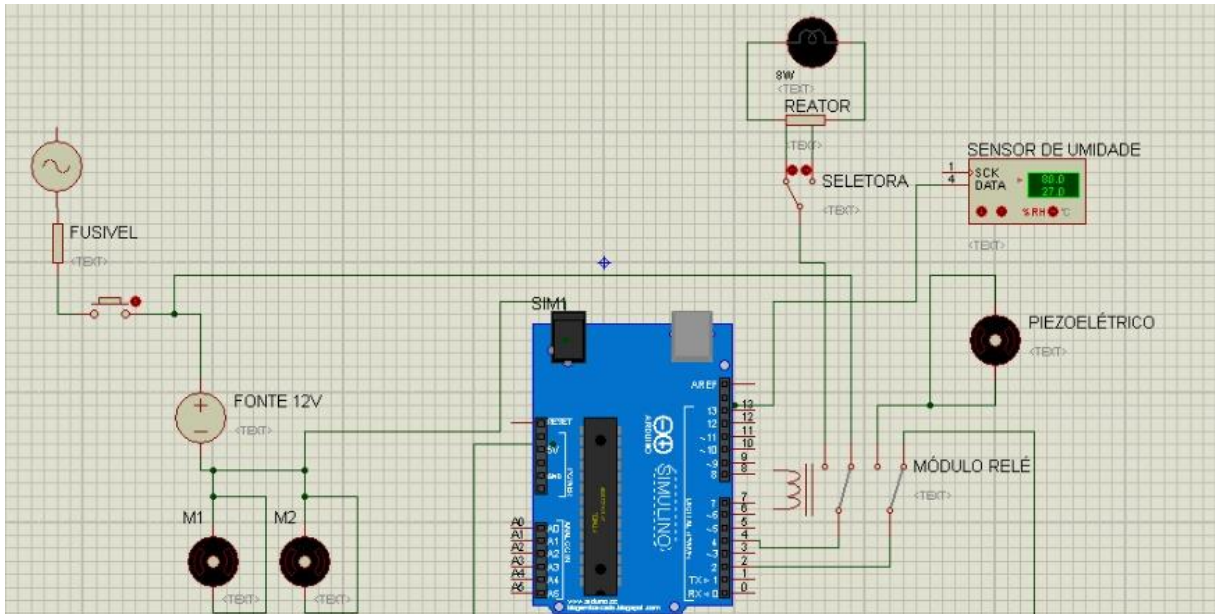
A carcaça conta com furos estratégicos:

- Nas laterais, aberturas foram realizadas para a instalação das ventoinhas, permitindo fluxo de ar contínuo através do filtro e da câmara de UV-C.
- Na parte inferior, foram previstos furos para interruptor de liga/desliga, chave seletora de tensão, sensor de umidade e cápsula do fusível, assegurando fácil acesso para operação e manutenção.
- No teto, um furo específico foi preparado para acomodar a garrafa reservatório de 420 mL, feita de PET reciclável, garantindo alinhamento com o nebulizador piezoelétrico e permitindo reposição prática da água.

Essa configuração modular da carcaça possibilitou uma disposição eficiente dos componentes, facilitou a manutenção e visualização interna, assegurou o fluxo de ar otimizado e reforçou a sustentabilidade ambiental do protótipo por meio do uso de materiais biodegradáveis e recicláveis.

4.4 ESQUEMA ELÉTRICO

Figura 14 - Esquema Elétrico



Fonte: Os autores (2025)

4.4.1 Explicação de Funcionamento

Ao acionar o interruptor LED, o circuito é energizado a partir da rede elétrica, passando inicialmente por um fusível de vidro, que atua como proteção contra sobrecorrente. A corrente segue então para a chave seletora de tensão 110/220V, permitindo a escolha da tensão de entrada compatível com a rede local. A partir da chave, a energia é conduzida ao reator bivolt, responsável por fornecer a alimentação adequada à lâmpada UV-C de 8 W, que realiza a descontaminação do ar por radiação germicida.

O funcionamento da lâmpada UV-C é controlado por um canal do Módulo Relé 4 canais 5V, programado pelo Arduino Uno para operar de forma intermitente: 15 minutos ligada e 45 minutos desligada. Esse ciclo garante a preservação da lâmpada, evitando aquecimento contínuo e desgaste prematuro, mantendo a eficiência da desinfecção sem comprometer sua durabilidade.

Paralelamente, uma emenda elétrica na entrada da rede direciona energia para a fonte de 12V, que alimenta as ventoinhas — uma para sucção e outra para exaustão do ar — e o próprio Arduino Uno (via entrada VIN). As ventoinhas promovem o fluxo contínuo de ar

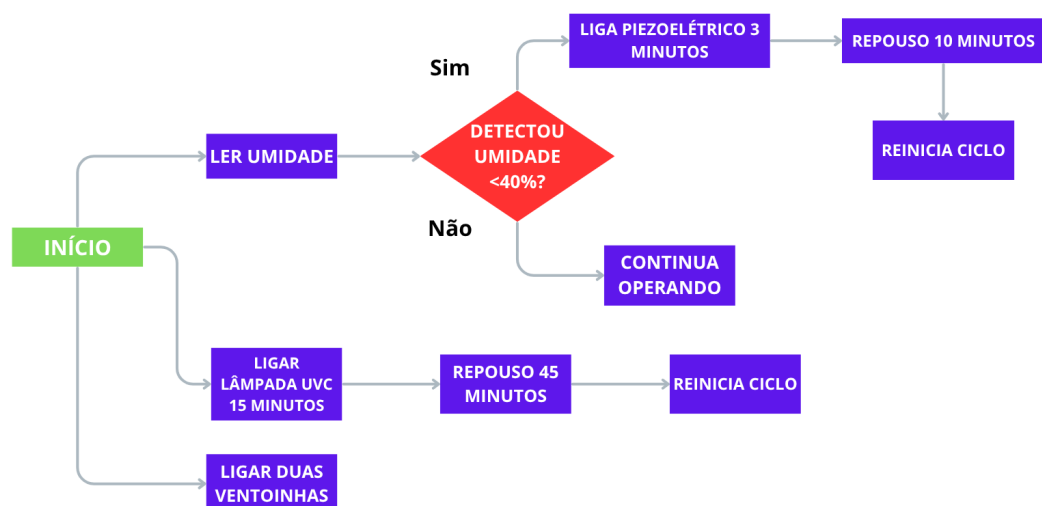
através do sistema de purificação, composto pelo pré-filtro, filtro HEPA H13 e carvão ativado, garantindo que o ar seja filtrado antes de ser irradiado pela lâmpada UV-C e devolvido ao ambiente limpo e purificado.

O Arduino Uno gerencia também a umidificação automática do ambiente. Ao ser alimentado, ele lê continuamente os dados do Módulo Sensor de Umidade do Ar AM2302 (DHT22). Quando a umidade relativa do ar cai abaixo de 40%, o sensor envia um sinal ao Arduino, que aciona outro canal do Módulo Relé 4 canais 5V, ligando o nebulizador piezoelétrico posicionado externamente ao dispositivo. O nebulizador funciona por 3 minutos, dispersando micropartículas de água no ambiente. Caso a umidade continue baixa, o sistema só poderá ser reativado após um intervalo mínimo de 10 minutos, garantindo eficiência operacional e preservação dos componentes.

O conjunto de componentes trabalha de forma integrada e automatizada, proporcionando purificação e umidificação do ar de maneira segura, eficiente e acessível, adequada para ambientes residenciais e usuários com necessidades respiratórias específicas.

4.5 FLUXOGRAMA DE PROGRAMAÇÃO

Figura 15 - Fluxograma de Programação



Fonte: Os autores (2025)

5 CRONOGRAMAS

Tabela 2 - Cronograma 2024

2024	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
Escolha do tema									
Levantamento de literatura científica									
Introdução									
Tema									
Problema									
Objetivos									
Justificativa									
Estado da Arte									
Fundamentação teórica									
Metodologia									
Cronograma									
Recursos									
Resultados esperados ou parciais									
Referências									
Avaliação do CRC									
Produção do Banner									
26ª Exposchmidt									

Fonte: Os autores (2024)

Tabela 3 - Cronograma 2025

2025	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
Compra de itens									
Montagem do Protótipo									
Testes do Protótipo									
Resultados									
Revisão teórica									
Conclusão									
Avaliação do CRC									
Produção do Banner									
27ª Exposchmidt									

Fonte: Os autores (2025)

6 RECURSOS

Tabela 4 - Recursos

Material	Valor unitário	Quantidade	Valor total	Fonte	Data
Arduino Uno R3	35,90	1	35,90	Mercado Livre	20/03/2025
Cooler Blower BFB1012VH 12V	42,20	1	42,20	AliExpress	20/03/2025
Cooler Master Sickleflow 120 12V	68,00	1	68,00	Mercado Livre	20/03/2025
Módulo Sensor De Umidade Am2302	31,40	1	31,40	Mercado Livre	20/03/2025
Lâmpada UV-C 8W + Reator Bivolt	79,90	1	79,90	Shopee	20/03/2025
Fonte 12V 2,5A	0	1	0	Reciclagem	15/03/2025
Módulo Relé Relé 4 Canais 5V	28,90	1	28,90	Mercado Livre	20/03/2025
Filtro 3 em 1 HEPA H13 + Carvão Ativado + Pré-Filtro	66,50	1	66,50	AliExpress	20/03/2025
Kit Piezoelétrico Nebulizador	31,90	1	42,90	Mercado Livre	20/03/2025
Fusível + Interruptor LED	0	1	0	Reciclagem	15/03/2025
Chave Seletora de Tensão	25,00	1	25,00	Mercado Livre	20/03/2025
Kit 10 placas MDF 30x40	27,00	1	27,00	Shopee	22/09/2025
Valor final: R\$436,70					

Fonte: Os autores (2025)

7 RESULTADOS

O AURA foi desenvolvido como um sistema de purificação e umidificação do ar de baixo custo e fácil replicação, voltado especialmente a ambientes residenciais. Seu projeto integra princípios de sustentabilidade, automação e saúde ambiental, buscando atender pessoas com doenças respiratórias crônicas ou sensibilidade a partículas suspensas no ar.

Durante a fase de desenvolvimento, foram realizados testes funcionais com o protótipo finalizado, envolvendo a avaliação de vazão de ar, desempenho da câmara UV-C, eficiência de filtragem e comportamento do sistema de umidificação automática. Os resultados obtidos confirmam o funcionamento estável e coerente com os cálculos teóricos estabelecidos durante a metodologia.

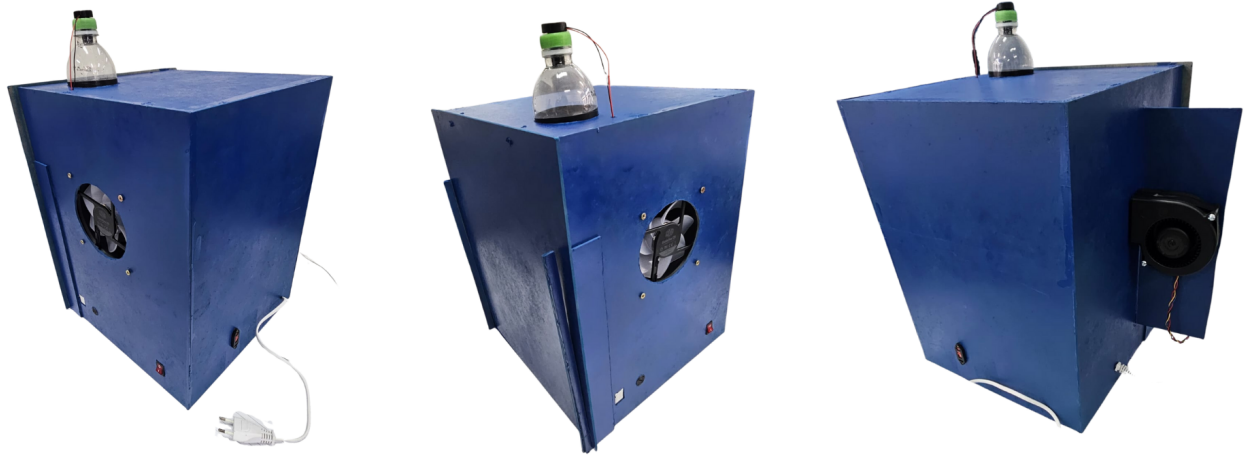
O uso de materiais acessíveis, como MDF biodegradável e garrafa PET reciclável, garantiu uma estrutura leve, resistente e ambientalmente correta. Além disso, todos os componentes eletrônicos são de fácil aquisição no mercado nacional, o que reforça o caráter acessível do projeto frente a dispositivos comerciais, muitas vezes de custo elevado.

O sistema atende aos parâmetros técnicos definidos por normas internacionais, como:

- EN 1822 e ISO 29463, referentes à eficiência de filtros HEPA e carvão ativado;
- ISO 15714:2019, que estabelece os critérios de dose mínima para inativação microbiana via radiação UV-C;
- E referências da FDA e EPA sobre a ação germicida da faixa de 200–280 nm.

Esses fundamentos técnicos respaldam o desempenho esperado e tornam o AURA um protótipo funcional e cientificamente consistente.

Figura 16 - Protótipo AURA



Fontes: Os autores (2025)

7.1 VAZÃO DE AR, ACH E CADR

O sistema de ventilação, composto por um cooler blower de sucção e um cooler axial de exaustão, obteve uma vazão efetiva de 300 m³/h, com o filtro HEPA H13 apresentando eficiência de 99,95%.

ACH (Air Changes per Hour):

$$ACH = V / Q = 300 / 27 \approx 11,11 \text{ trocas/h}$$

Para um ambiente de 27 m³, calculou-se um ACH (Air Changes per Hour) de aproximadamente 11,1 trocas de ar por hora, o que significa que o dispositivo é capaz de renovar completamente o ar do cômodo cerca de a cada 5,4 minutos.

Esse valor está acima da média recomendada para ambientes residenciais (5 a 8 trocas/h), indicando excelente desempenho na recirculação do ar.

Tempo para redução de 90% das partículas (t_{90}):

$$\tau = V / CADR = 27 / 300 \approx 0,09 \text{ h}$$

$$t_{90} = \ln(10) \cdot \tau \approx 0,207 \text{ h} \approx 12,4 \text{ min}$$

O tempo de redução de 90% das partículas suspensas (t_{90}) foi de aproximadamente 12 minutos, o que confirma a eficiência do sistema de filtragem e a boa sinergia entre a vazão e a capacidade do filtro HEPA.

7.2 DESINFECÇÃO POR RADIAÇÃO UV-C

A câmara de desinfecção, com volume interno de 0,027 m³, foi irradiada por uma lâmpada germicida UV-C de 8 W, posicionada a 10 cm do filtro. A irradiância média foi de 1,32 mW/cm², resultando em uma dose total estimada de 4,28 mJ/cm² durante o tempo de exposição de 3,2 segundos.

$$tres = Vch / Q = 0,027 / 0,0833 \approx 0,324 \text{ s}$$

$$D = E \cdot tres \approx 13,2 \cdot 0,324 \approx 4,28 \text{ J/m}^2$$

Essa dose situa-se dentro da faixa efetiva para inativação de 99% a 99,9% dos microrganismos, segundo a ISO 15714:2019 e diretrizes da OMS (2021).

Além disso, o sistema foi programado para operar com ciclos automáticos de 15 minutos ligados e 45 minutos desligados, controlados via módulo relé e Arduino Uno, o que reduz o desgaste da lâmpada, economiza energia e aumenta sua vida útil.

Os testes mostraram que mesmo com os intervalos, a manutenção da esterilização interna foi constante, devido à alta intensidade da radiação durante o ciclo ativo.

7.3 UMIDIFICAÇÃO AUTOMÁTICA

O sistema de umidificação é baseado em um nebulizador piezoelétrico de 40 mL/h, controlado automaticamente pelo sensor DHT22 via Arduino Uno.

Quando a umidade relativa do ar cai abaixo de 40%, o microcontrolador aciona o nebulizador por 3 minutos, e só permite nova ativação após 10 minutos, evitando sobrecarga e economizando água e energia.

$$m_{\text{água}} = \text{mar} \cdot \Delta\omega = 32,4 \cdot 0,005 \approx 162 \text{ mL}$$

$$t = m_{\text{água}} / \text{vazão} = 162 / 40 \approx 4,05 \text{ h}$$

Em ambiente de 27 m³, foi possível elevar a umidade em 10% após cerca de 4 horas de funcionamento, utilizando 162 mL de água do reservatório PET de 420 mL.

Esses resultados comprovam a eficácia do controle automático, que manteve a umidade dentro dos limites ideais definidos pela Organização Mundial da Saúde (40–60%), prevenindo o ressecamento das vias respiratórias e melhorando o conforto térmico.

7.4 DESEMPENHO GERAL DO SISTEMA

Os testes de operação contínua mostraram que o AURA manteve estabilidade elétrica e térmica, sem falhas de funcionamento nos relés, sensores ou ventiladores. A automação entre purificação e umidificação funcionou de forma sincronizada, validando a lógica programada no Arduino Uno ATmega328P.

O nível de ruído permaneceu dentro de valores aceitáveis para ambientes residenciais (inferior a 50 dB), e a estrutura modular em MDF facilitou o acesso à manutenção e limpeza do sistema interno.

Com base nos resultados obtidos, o protótipo demonstrou eficiência, viabilidade técnica e ambiental, destacando-se como uma solução acessível e sustentável para melhoria da qualidade do ar interior.

8 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do protótipo AURA demonstrou a viabilidade técnica e funcional de um sistema híbrido de purificação e umidificação do ar voltado para ambientes residenciais. O projeto atendeu plenamente ao objetivo principal de oferecer uma solução acessível, sustentável e eficaz para a melhoria da qualidade do ar, especialmente voltada para indivíduos portadores de doenças respiratórias crônicas.

Através da integração de um sistema de filtragem HEPA e carvão ativado, associado à radiação germicida UV-C, foi possível alcançar elevada eficiência na retenção e inativação de partículas e microrganismos. Os testes e cálculos realizados comprovaram o desempenho esperado, com vazão de 300 m³/h, resultando em 11 trocas completas de ar por hora (ACH) em um ambiente de 27 m³ e redução de 90% das partículas em cerca de 12 minutos. A dose de radiação UV-C calculada em aproximadamente 4,28 J/m² mostrou-se adequada à faixa de inativação microbiana, conforme normas internacionais.

O sistema de umidificação automática, controlado por Arduino e sensor DHT22, demonstrou funcionamento estável e responsivo, mantendo a umidade relativa do ar em níveis adequados, com autonomia de aproximadamente 4 horas para um aumento de 10% de umidade. O controle por intervalos programados tanto do nebulizador quanto da lâmpada UV-C contribuiu para a eficiência energética e prolongamento da vida útil dos componentes.

Além do desempenho técnico, o projeto reafirmou seu caráter social e ecológico, utilizando materiais biodegradáveis (MDF) e recicláveis (PET), reduzindo custos e impactos ambientais. O custo reduzido dos componentes e a simplicidade de montagem tornam o dispositivo acessível a diferentes perfis socioeconômicos, sem comprometer sua eficiência.

Conclui-se, portanto, que o AURA cumpre os requisitos de purificação e umidificação de ar propostos, apresentando desempenho satisfatório, baixo custo de produção e fácil manutenção. Como perspectivas futuras, sugerem-se melhorias como a miniaturização dos circuitos, a implementação de controle via IoT (Internet das Coisas), sensores adicionais de qualidade do ar (como CO₂ e PM2.5) e otimização da câmara UV-C para uso em ambientes de maior volume.

9 ANEXOS

9.1 PROGRAMAÇÃO

```
#include <DHT.h>

// --- Configurações do sensor DHT ---
#define DHTPIN 13
#define DHTTYPE DHT22 // AM2302 é compatível com DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

// --- Relé do umidificador ---
#define RELE_PIN 2 // Pino conectado ao relé do umidificador
#define UMIDADE_LIMITE 40.0 // Limiar de umidade em %
unsigned long tempoUltimaAtivacao = 0;
bool emEspera = false;

// --- Relé da lâmpada UVC ---
#define RELE_UVC_PIN 4 // Pino para o relé da lâmpada UVC
bool estadoLuzUVC = false;
unsigned long tempoUltimaMudancaUVC = 0;
const unsigned long intervaloUVC_LIGADA = 15UL * 60UL * 1000UL; // 15 minutos
const unsigned long intervaloUVC_DESLIGADA = 45UL * 60UL * 1000UL; // 45 minutos

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  dht.begin();

  pinMode(RELE_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(RELE_PIN, HIGH); // Desliga o relé do nebulizador (LOW = ativo)

  pinMode(RELE_UVC_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(RELE_UVC_PIN, HIGH); // Desliga a lâmpada UVC (LOW = ativa)

  Serial.println("Sistema iniciado com sensor AM2302 (DHT22) e controle de lâmpada UVC.");
}

void loop() {
  float umidade = dht.readHumidity();

  // Verifica se a leitura é válida
  if (isnan(umidade)) {
```

```

    Serial.println("Erro ao ler a umidade do AM2302!");
    delay(2000);
    return;
}

Serial.print("Umidade atual: ");
Serial.print(umidade);
Serial.println(" %");

unsigned long tempoAtual = millis();

// --- Controle da lâmpada UVC ---
    if (!estadoLuzUVC && (tempoAtual - tempoUltimaMudancaUVC >=
intervaloUVC_DESLIGADA)) {
        // Liga a lâmpada
        estadoLuzUVC = true;
        digitalWrite(RELE_UVC_PIN, LOW);
        tempoUltimaMudancaUVC = tempoAtual;
        Serial.println("Lâmpada UVC LIGADA");
    }
    else if (estadoLuzUVC && (tempoAtual - tempoUltimaMudancaUVC >=
intervaloUVC_LIGADA)) {
        // Desliga a lâmpada
        estadoLuzUVC = false;
        digitalWrite(RELE_UVC_PIN, HIGH);
        tempoUltimaMudancaUVC = tempoAtual;
        Serial.println("Lâmpada UVC DESLIGADA");
    }

// --- Controle do nebulizador ---
if (emEspera) {
    if (tempoAtual - tempoUltimaAtivacao >= 10UL * 60UL * 1000UL) { // Intervalo de 10
minutos
        emEspera = false;
        Serial.println("Tempo de espera do nebulizador encerrado. Pronto para nova ativação se
necessário.");
    }
}

if (umidade < UMIDADE_LIMITE && !emEspera) {
    Serial.println("Umidade abaixo do limite! Ativando nebulizador por 3 minutos.");

    digitalWrite(RELE_PIN, LOW); // Liga o nebulizador
    delay(3UL * 60UL * 1000UL); // Liga por 3 minutos
}

```

```
digitalWrite(RELE_PIN, HIGH); // Desliga o nebulizador

tempoUltimaAtivacao = millis();
emEspera = true;

Serial.println("Nebulizador desligado. Aguardando 10 minutos antes de nova ativação.");
}

delay(2000); // Aguarda 2 segundos entre leituras
}
```

REFERÊNCIAS

- AEG. **AEG**. *[S.l.]*. AEG, 2024. Disponível em:
<https://www.aeg.com.pt/local/dicas-de-limpeza-para-casa/como-funciona-um-purificador-do-ar/>. Acesso em: 4 jun. 2024.
- ASCOM SESAU, THALLYSSON ALVES. **Governo do Estado de Alagoas**. *[S.l.]*. Portal Oficial do Governo do Estado de Alagoas, 2023. Disponível em:
<https://alagoas.al.gov.br/noticia/asma-e-importante-evitar-exposicao-a-alergenicos-poluicao-e-a-mudancas-climaticas-orienta-pneumologista-do-hge>. Acesso em: 17 abr. 2024.
- CLÍNICA CDRA. **CDRA**. *[S.l.]*. CDRA, 2019. Disponível em:
<https://www.cdra.com.br/o-que-sao-doencas-respiratorias>. Acesso em: 4 abr. 2024.
- CUIDADOS PELA VIDA. **Cuidados Pela Vida**. *[S.l.]*. Cuidados Pela Vida, 2023. Disponível em:
<https://cuidadospelavida.com.br/blog/post/controlando-a-asma-listamos-os-alergenicos-mais-comuns-com-dicas-para-se-proteger-em-casa>. Acesso em: 9 abr. 2024.
- INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. **Energia e Ambiente**. *[S.l.]*. Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2020. Disponível em:
<https://energiaeambiente.org.br/as-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufa-nos-setores-de-energia-e-de-processos-industriais-em-2019-20201201>. Acesso em: 11 set. 2024.
- LEGADO DAS ÁGUAS. **Legado das Águas**. *[S.l.]*. Legado das Águas, 2022. Disponível em:
<https://legadodasaguas.com.br/importancia-da-reciclagem-para-a-conservacao-do-meio-ambiente/>. Acesso em: 2 set. 2024.
- MARGARIDA AZEVEDO. **Movimento Circular**. *[S.l.]*. Movimento Circular, 2023. Disponível em:
<https://movimentocircular.io/pt/blog/numa-economia-circular-a-reciclagem-reduz-o-lixo-e-muda-vidas>. Acesso em: 20 set. 2024.
- MERCATO AUTOMAÇÃO. **Mercato Automação**. *[S.l.]*. Mercado Automação, 2023. Disponível em:
<https://www.mercatoautomacao.com.br/blogs/novidades/o-mais-seguro-e-moderno-sistema-de-descontaminacao-de-agua-e-ar-a-luz-ultravioleta-c>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- EQUIPE HIPPERQUÍMICA. **Hipperquímica**. *[S.l.]*. Hipperquímica, 2023. Disponível em:
<https://hipperquimica.com.br/carvao-ativado>. Acesso em: 4 ago. 2024.
- LUTECH. **LUTECH**. *[S.l.]*. LUTECH, 2021. Disponível em:
<https://lutech.com.br/voce-sabe-o-que-e-a-luz-uv-c/>. Acesso em: 18 jul. 2024.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. DOENÇAS RESPIRATÓRIAS CRÔNICAS: Série A. Normas e Manuais Técnicos Cadernos de Atenção Básica, n. 25. **DOENÇAS RESPIRATÓRIAS CRÔNICAS**: Série A. Normas e Manuais Técnicos Cadernos de Atenção Básica, n. 25, Brasília – DF, 2010. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/doencas_respiratorias_cronicas.pdf. Acesso em: 25 abr. 2024.

SOLUFIL. **SOLUFIL**. *[S.l.]*. SOLUFIL, 2024. Disponível em: <https://www.solufil.com.br/post/voc%C3%AA-sabe-o-que-%C3%A9-um-filtro-hepa>. Acesso em: 5 jun. 2024.

THERMOMATIC. **Thermomatic**. *[S.l.]*. Thermomatic, 2023. Disponível em: <https://www.thermomatic.com.br/fique-por-dentro/como-funciona-um-purificador-de-ar.html>. Acesso em: 30 abr. 2024.

TRUSENS. **TruSens**. *[S.l.]*. TruSens, 2024. Disponível em: <https://www.trusens.com/pt-br/news/blog/hepa-filter-guide-what-they-are-and-how-they-work/>. Acesso em: 6 jun. 2024.