



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Projeto Integrador 2

CleanAir - Purificador e esterilizador de ar portátil para ambiente residencial

Autor: Grupo 07

Orientadores: Prof. Dr. Alex Reis; Prof. Dr. José Felício da Silva; Prof. Dr. Jungpyo Lee; Prof. Dr. Rhander Viana; Prof. Dr. Ricardo Matos Chaim e Prof. Dr. Paolo Gessini

Gama, DF

2021



Grupo 07

CleanAir - Purificador e esterilizador de ar portátil para ambiente residencial

Relatório de projeto submetido como requisito parcial de avaliação da disciplina Projeto Integrador 2 para os Cursos de Engenharia da Faculdade UnB Gama

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientadores: Prof. Dr. Alex Reis; Prof. Dr. José Felício da Silva; Prof. Dr. Jungpyo Lee; Prof. Dr. Rhander Viana; Prof. Dr. Ricardo Matos Chaim e Prof. Dr. Paolo Gessini

Gama, DF

2021

Grupo 07

CleanAir - Purificador e esterilizador de ar portátil para ambiente residencial/

Grupo 07. – Gama, DF, 2021-

205 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientadores: Prof. Dr. Alex Reis; Prof. Dr. José Felício da Silva; Prof. Dr. Jungpyo Lee; Prof. Dr. Rhander Viana; Prof. Dr. Ricardo Matos Chaim e Prof. Dr. Paolo Gessini

Relatório de Projeto de PI2 – Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA , 2021.

1. Purificação. 2. Qualidade. 3. Saúde. I. Prof. Dr. Alex Reis; Prof. Dr. José Felício da Silva; Prof. Dr. Jungpyo Lee; Prof. Dr. Rhander Viana; Prof. Dr. Ricardo Matos Chaim e Prof. Dr. Paolo Gessini . II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. CleanAir - Purificador e esterilizador de ar portátil para ambiente residencial

Grupo 07

CleanAir - Purificador e esterilizador de ar portátil para ambiente residencial

Relatório de projeto submetido como requisito parcial de avaliação da disciplina Projeto Integrador 2 para os Cursos de Engenharia da Faculdade UnB Gama

Trabalho aprovado. Gama, DF, 26 de março de 2021:

Alex Reis

Orientador

José Felício da Silva

Orientador

Jungpyo Lee

Orientador

Rhander Viana

Orientador

Ricardo Matos Chaim

Orientador

Paolo Gessini

Orientador

Gama, DF

2021

Integrantes do Projeto

Coordenadora Geral: Daniela Ferreira de Oliveira

Diretor de Qualidade: Dérick Fernando Oliveira Fernandes

Diretora Técnica de Elétrica: Manuella Cristina Panza Ramos

Diretora Técnica de Software: Sara Conceição de Sousa Araújo Silva

Diretor Técnico de Estrutura: Caio Augusto Chaves Araújo

Demais Colaboradores

Caio Oliveira de Moraes

Eduardo Lima Ribeiro

Gabriel Martins de Castro

Ginette Cameka Schroetter

Lívia Melo de Moura

Luísa Caroline Alves Silva

Natália Vilela Guimarães

Rossicler Rodrigues Pires Júnior

Thaís Gomes de Melo

Listas de ilustrações

Figura 1 – Botões do Purificador.	34
Figura 2 – Display LCD TFT 2.2.	35
Figura 3 – Pinos do relé de acionamento	36
Figura 4 – Circuito esquemático de acionamento do motor.	36
Figura 5 – Simulação do controle de velocidade do motor por PWM.	38
Figura 6 – Esquemático do sensor MQ-2.	42
Figura 7 – Gráfico das características de sensibilidade do MQ-2.	42
Figura 8 – Gráfico das características de sensibilidade do MQ-131.	44
Figura 9 – Gráfico das características de sensibilidade do MICS-6814.	45
Figura 10 – Display LED indicador de bateria.	47
Figura 11 – Circuito redutor de tensão.	47
Figura 12 – Arquitetura de Eletrônica	52
Figura 13 – Diagrama de distribuição de energia	55
Figura 14 – Etapas de Filtragem	58
Figura 15 – Motor e Ventilador.	62
Figura 16 – Malha do domínio de controle interno do purificador. Autoria própria.	66
Figura 17 – Malha do domínio de controle interno da sala de 75m ³ . Autoria própria.	66
Figura 18 – Discretização do domínio do purificador. Autoria própria.	67
Figura 19 – Gradiente de pressão no plano de simetria do purificador	68
Figura 20 – Linhas de corrente no domínio interno do purificador. Autoria própria.	69
Figura 21 – Gradiente de velocidade no plano de simetria do purificador. Autoria própria.	69
Figura 22 – Discretização do domínio da sala. Autoria própria.	70
Figura 23 – Linhas de corrente exauridos na direção normal a superfície do purificador para o interior da sala. Autoria própria.	70
Figura 24 – Linhas de corrente exauridos com inclinação de 60° em relação a superfície do purificador para o interior da sala com fluxo mássico máximo. Autoria própria.	71
Figura 25 – Linhas de corrente exauridos com inclinação de 60° em relação a superfície do purificador para o interior da sala. Autoria própria.	71
Figura 26 – Seções principais do purificador. Autoria própria.	72
Figura 27 – Estrutura externa do purificador <i>Clean Air</i> . Autoria própria.	73
Figura 28 – Grelha de ventilação. Autoria própria.	74
Figura 29 – Mecanismo de direcionamento das aletas. Autoria própria.	74
Figura 30 – Rodizio 40 mm de Poliuretano. Autoria própria.	75

Figura 31 – a. Modo de fixação do rodízio na longarina; e b. Montagem final dos rodízios no equipamento. Autoria própria.	75
Figura 32 – Desenho dos elementos estruturais internos. Autoria própria.	76
Figura 33 – Desenho dos encaixes responsáveis por unir os módulos. Autoria própria.	77
Figura 34 – Integração do conjunto de ventilação às longarinas. Autoria própria.	77
Figura 35 – Desenho dos elementos de vedação e isolamento. Autoria própria.	78
Figura 36 – CAD da (a) tira em forma de arco que formará o funil, da (b) chapa que formará o pescoço da peça, (c) referente à cuba completa. Autoria própria.	78
Figura 37 – Método de fixação da Cuba. Autoria própria.	79
Figura 38 – Vista expandida do esquema de filtros. Autoria própria.	80
Figura 39 – Moldura inferior dos filtros. Autoria própria.	80
Figura 40 – Esquemático para o cálculo do ângulo da crista da ondulação. Fonte:(XU; ZHOU, 2014).	82
Figura 41 – Ângulo de ondulação do filtro HEPA do projeto . Autoria própria	83
Figura 42 – Estrutura externa do sensor de qualidade do ar. Autoria própria.	84
Figura 43 – Grelha de ventilação e seus respectivos componentes eletrônicos. Autoria própria.	85
Figura 44 – Disposição da PCI da seção de potência do purificador. Autoria própria.	87
Figura 45 – Estrutura da PCI da seção de filtragem do purificador. Autoria própria.	87
Figura 46 – Disposição da PCI da seção de filtragem do purificador. Autoria própria.	88
Figura 47 – Canaletas para a passagem de fiação. Autoria própria.	88
Figura 48 – Plugs macho e fêmea. Autoria própria.	89
Figura 49 – Estrutura externa do sensor de qualidade do ar. Autoria própria.	89
Figura 50 – Disposição dos componentes eletrônicos do sensor de qualidade do ar. Autoria própria.	90
Figura 51 – Condições de contorno aplicadas. Autoria própria.	90
Figura 52 – Representação do carregamento aplicado. Autoria própria.	92
Figura 53 – Detalhes da malha. Autoria própria.	93
Figura 54 – Malha com 90400 elementos. Autoria própria.	93
Figura 55 – Tensão Equivalente de Von-mises. Autoria própria.	94
Figura 56 – Tensão Normal em Z. Autoria própria.	94
Figura 57 – Deformação em Z. Autoria própria.	94
Figura 58 – Deformação total. Autoria própria.	95
Figura 59 – Fator de Segurança. Autoria própria.	95
Figura 60 – Arquitetura da solução de software.	100
Figura 61 – Tecnologias da solução de software.	101
Figura 62 – Serviço <i>mq-interface</i>	102
Figura 63 – Serviço <i>mq-interface</i>	104

Figura 64 – Serviço <i>mq-interface</i>	105
Figura 65 – Diagrama de <i>arquitetura da informação</i>	106
Figura 66 – Logomarca do Produto <i>CleanAir</i>	125
Figura 67 – Organograma da EAP para o ponto de controle 1.	129
Figura 68 – Organograma da EAP para o ponto de controle 2.	130
Figura 69 – Organograma da EAP para o ponto de controle 3.	131
Figura 70 – Cronograma do Projeto	135
Figura 71 – Retificação da tensão alternada.	138
Figura 72 – Filtração de tensão alternada para tensão contínua.	139
Figura 73 – Retificação da tensão alternada.	141
Figura 74 – Filtração.	142
Figura 75 – Classificação de filtros de partículas.	143
Figura 76 – Critérios de avaliação para filtros absolutos.	143
Figura 77 – Capacidades de condução de corrente, em ampères	144
Figura 78 – Diagrama esquemático da conexão para o controle dos atuadores e com a fonte de alimentação.	147
Figura 79 – Diagrama esquemático da conexão do microcontrolador 1 com a fonte de alimentação e os atuadores.	149
Figura 80 – Diagrama esquemático da conexão sensorial com microcontrolador 2. .	151
Figura 81 – Diagrama esquemático da fonte de alimentação do <i>Mobile Sensor</i>	152
Figura 82 – Diagrama esquemático da fonte de alimentação do Purificador.	153
Figura 83 – Diagrama unifilar do circuito do <i>Mobile Sensor</i>	154
Figura 84 – Diagrama unifilar do circuito do Purificador.	155
Figura 85 – Placa de circuito impresso da potência do Purificador	156
Figura 86 – Placa de circuito impresso do controle do Purificador	157
Figura 87 – Placa de circuito impresso do <i>Mobile Sensor</i>	158
Figura 88 – Placa de circuito impresso do Alimentação do Purificador	159
Figura 89 – Placa de circuito impresso do Alimentação do Sensor	160
Figura 90 – Vista isométrica do purificador de ar <i>CleanAir</i>	161
Figura 91 – Vista isométrica do sensor de ar <i>CleanAir</i> . Autoria própria.	162
Figura 92 – Vista superior do purificador de ar e do sensor <i>CleanAir</i> . Autoria própria. .	162
Figura 93 – Renderização do purificador <i>CleanAir</i> com ambientação em uma sala de estar. Autoria própria.	163
Figura 94 – Renderização do purificador <i>CleanAir</i> com ambientação em um escritório de alta densidade. Autoria própria.	163
Figura 95 – Partes externas com as principais cotas do <i>CleanAir</i>	164
Figura 96 – Bateira <i>CleanAir</i>	165
Figura 97 – Botão On-Off <i>CleanAir</i>	166
Figura 98 – Caixa inferior do purificador <i>CleanAir</i>	167

Figura 99 – Canaleta inferior <i>CleanAir</i>	168
Figura 100 – Canaleta superior <i>CleanAir</i>	169
Figura 101 – Case <i>CleanAir</i>	170
Figura 102 – Cuba <i>CleanAir</i>	171
Figura 103 – Eixo do rebite do <i>CleanAir</i>	172
Figura 104 – Encaixe <i>CleanAir</i>	173
Figura 105 – Entrada para a grelha de ventilação do <i>CleanAir</i>	174
Figura 106 – Filtro de carbono <i>CleanAir</i>	175
Figura 107 – Grelha de ventilação <i>CleanAir</i>	176
Figura 108 – Lâmpada UV <i>CleanAir</i>	177
Figura 109 – Moldura inferior <i>CleanAir</i>	178
Figura 110 – Motor DC do <i>CleanAir</i>	179
Figura 111 – Paredes de cima do <i>CleanAir</i>	180
Figura 112 – Placa do rodízio giratório <i>CleanAir</i>	181
Figura 113 – Plug fêmea para conexão das longarinas do <i>CleanAir</i>	182
Figura 114 – Plug macho para conexão das longarinas do <i>CleanAir</i>	183
Figura 115 – Pré-filtro do purificador <i>CleanAir</i>	184
Figura 116 – Rebite <i>CleanAir</i>	185
Figura 117 – Modelo das rodas do <i>CleanAir</i>	186
Figura 118 – Suporte transversal <i>CleanAir</i>	187
Figura 119 – Tampa da seção de fitragem <i>CleanAir</i>	188
Figura 120 – Tampão dos filtros <i>CleanAir</i>	189
Figura 121 – Tampa isolante para a bateria <i>CleanAir</i>	190
Figura 122 – Tampa superior da grade <i>CleanAir</i>	191
Figura 123 – Viga inferior do <i>CleanAir</i>	192
Figura 124 – Viga superior do <i>CleanAir</i>	193
Figura 125 – Visor <i>CleanAir</i>	194
Figura 126 – Vista explodida com os componentes do <i>CleanAir</i>	195
Figura 127 – Estilos do protótipo	196
Figura 128 – Visão geral do protótipo	197
Figura 129 – Fluxos do protótipo	197
Figura 130 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 1.	198
Figura 131 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 2.	198
Figura 132 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 3.	198
Figura 133 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 4.	199
Figura 134 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 5.	199
Figura 135 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 6.	199
Figura 136 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 7.	200
Figura 137 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 8.	200

Figura 138 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 9.	200
Figura 139 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 10.	201
Figura 140 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 11.	201
Figura 141 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 12.	201
Figura 142 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 13.	202
Figura 143 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 14.	202
Figura 144 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 14.	202

Lista de tabelas

Tabela 1 – Requisitos de alto-nível	27
Tabela 2 – Requisitos do Purificador	28
Tabela 3 – Requisitos <i>Mobile Sensor</i>	28
Tabela 4 – Requisitos de Energia	29
Tabela 5 – Requisitos estruturais	29
Tabela 6 – Lista é e não é do produto	32
Tabela 7 – Levantamento prévio da carga do Purificador	64
Tabela 8 – Levantamento prévio da carga do Mobile Sensor	65
Tabela 9 – Parâmetros de qualidade das malhas	67
Tabela 10 – Matriz de decisão para o material da cuba	79
Tabela 11 – Resultados obtidos.	93
Tabela 12 – Propriedades Mecânicas do ACM	96
Tabela 13 – Propriedades Mecânicas do alumínio 6063-T5	96
Tabela 14 – Propriedades Mecânicas do Aço Inoxidável 304	97
Tabela 15 – Propriedades Mecânicas do TPU	97
Tabela 16 – Propriedades Mecânicas e Térmicas do PETG	98
Tabela 17 – Propriedades do silicone	99
Tabela 18 – Propriedades do material não curado	99
Tabela 19 – Custos do Projeto	107
Tabela 20 – Probabilidade de Risco	109
Tabela 21 – Probabilidade de Risco	110
Tabela 22 – Matriz Probabilidade e Impacto	110
Tabela 23 – Riscos do Projeto	111
Tabela 24 – Riscos Externos	111
Tabela 25 – Riscos do Produto	111
Tabela 26 – Riscos e Ações	112
Tabela 27 – Riscos Técnicos Estruturais	113
Tabela 28 – Riscos e Ações Estrutura	113
Tabela 29 – Riscos Técnicos de Eletrônica	114
Tabela 30 – Riscos e Ações Eletrônica	115
Tabela 31 – Riscos Técnicos Energéticos	116
Tabela 32 – Riscos e Ações Energia	116
Tabela 33 – Riscos Técnicos de Software	117
Tabela 34 – Riscos e Ações Software	117
Tabela 35 – Riscos na Abertura do Projeto	127
Tabela 36 – Marcos do projeto	127

Lista de abreviaturas e siglas

A	Ampere
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS	<i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>
ACM	<i>Aluminium Composite Material</i>
AES	<i>Advanced Encryption Standard</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
ASA	Acrylonitrile Styrene Acrylate
atm	Atmosfera
BLP	<i>Bacteria-like particles</i>
BMS	<i>Battery Management System</i>
bps	Bits por segundo
C	Capacitância
°C	Celsius
CC	Corrente Contínua
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CDC	Centro de Controle e Prevenção de Doenças dos Estados Unidos
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CO	Monóxido de carbono
COVs	Compostos orgânicos voláteis
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
cP	centipoise
dB	Decibel
dBA	Decibel

DC	<i>Direct Current</i>
EAP	Estrutura Analítica do Projeto
EAR	Estrutura Analítica de Riscos
EN	<i>European Norm</i>
FGA	Faculdade do Gama
GLP	Gás liquefeito de petróleo
GND	<i>Ground</i>
GPa	Giga Pascal
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
HB	Dureza Brinnell
HEPA	<i>High Efficiency Particulate Air</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
I	Corrente
I2C	<i>Inter-integrated Circuit</i>
IOT	<i>Internet of Things</i>
IP	<i>Index Protection</i>
IQA	Índice de Qualidade do Ar
J	Joules
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
L_p	<i>Indutância Primária</i>
L_s	<i>Indutância Secundaria</i>
mA	Micro ampère
MERV	<i>Minimum Efficiency Reporting Value</i>
MHz	Mega Hertz
MOSFET	<i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor</i>
MOSI	<i>Master Output Slave Input</i>

MISO	<i>Master Input Slave Output</i>
MP	Material Particulado
MPa	Mega Pascal
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
ms	Micro segundo
NA	Normalmente Aberta
NBR	Norma Brasileira
NF	Normalmente fechada
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
O ₃	Ozônio
QAI	Qualidade do Ar Interno
QoS	<i>Quality of Service</i>
Pa	Pascal
PC	Ponto de Controle
PCI	Placa de Circuito Impresso
PETG	Polietilino Tereftalato de Etileno Glicol
PI2	Projeto Integrador 2
PLA	<i>Polylactic Acid</i>
PMBOK	<i>Project Management Body of Knowledge</i>
PPM	Partículas por milhão
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
PRONAR	Programa Nacional de Controle do Ar
PWM	<i>Pulse-Width Modulation</i>
REST	<i>Representational State Transfer</i>
RMS	<i>root-mean-square</i>
RPM	Rotações por minuto

Sars-CoV-2	Síndrome respiratória aguda grave de coronavírus 2
SCL	<i>Serial Clock Line</i>
SCLK	<i>Serial Clock</i>
SDA	<i>Serial Data Line</i>
SnO ₂	Dióxido de estanho
SO ₂	Dióxido de enxofre
SoC	<i>System On a Chip</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SS	<i>Slave Select</i>
t	Tempo
TAP	Termo de Abertura do Projeto
TCP/IP	Protocolos de comunicação de rede
TKIP	<i>Temporal Key Integrity Protocol</i>
TPU	<i>Thermoplastic Polyurethane</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
UnB	Universidade de Brasília
UR	Umidade relativa
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
UV	Ultravioleta
UV-C	Radiação Ultravioleta tipo C
V	Volts
V_{AC}	<i>Volts Alternating Current</i>
V_{CC}	<i>Volts Corrente Contínua</i>
V_{DC}	<i>Volts Direct Current</i>
VLP	<i>Virus-like particles</i>
V_p	<i>Peak Voltage</i>

V_{RMS} *Voltage Root Mean Square*

W Watts

WPA *Wired Equivalent Access*

WEP *Wired Equivalent Privacy*

Wh Watts Hora

XP *Extreme Programming*

Sumário

1	INTRODUÇÃO	22
1.1	Justificativa	25
1.2	Objetivos	26
1.2.1	Objetivos Gerais	26
1.2.2	Objetivos Específicos	26
2	REQUISITOS	27
2.1	Requisitos de Alto-nível	27
2.2	Requisitos específicos	27
2.2.1	Requisitos de Elétrica	27
2.2.1.1	Eletrônica	27
2.2.1.2	Energia	28
2.3	Requisitos de Estrutura	29
2.4	Requisitos de Software	29
2.4.1	Épicos	30
2.4.2	Requisitos Funcionais	30
2.4.2.1	Requisitos do Épico E1 - Controle pelo aplicativo	30
2.4.2.2	Requisitos do Épico E2 - Monitoramento pelo aplicativo	30
2.4.2.3	Requisitos do Épico E3 - Notificações do aplicativo	30
2.4.2.4	Requisitos do Épico E4 - Controle de voz	31
2.4.3	Requisitos Não Funcionais	31
3	SOLUÇÃO	32
3.1	Escopo	32
3.2	Lista É/ Não É	32
3.3	Solução Eletrônica	32
3.3.1	Sistema de Controle	32
3.3.1.1	Purificador	33
3.3.1.1.1	Visualização	33
3.3.1.1.2	Acionamento dos Atuadores	35
3.3.1.2	<i>Mobile Sensor</i>	38
3.3.1.2.1	Módulo de Medição da Qualidade do ar	39
3.3.1.2.2	Visualizações e Controle	46
3.3.1.2.3	Ventilação	48
3.3.1.3	Microcontroladores	48
3.3.2	Protocolos de comunicação	50

3.3.2.1	Protocolos internos	50
3.3.2.2	Protocolos externos	51
3.3.3	Diagramas Esquemáticos da Conexão dos Sistemas	52
3.3.4	Arquitetura de Eletrônica	52
3.3.5	Plano de Construção	52
3.3.5.1	Potência	53
3.3.5.2	Sistema de controle	53
3.3.5.2.1	Purificador	53
3.3.5.2.2	<i>Mobile Sensor</i>	54
3.4	Solução de Energia	54
3.4.1	Fundamentos de Partículas	55
3.4.2	Sistema de Filtragem	56
3.4.2.1	Pré-filtro	58
3.4.2.2	Filtro absoluto (HEPA)	59
3.4.2.3	Filtro de Carbono Ativado	59
3.4.3	Sistema de Ventilação Forçada	60
3.4.3.1	Motor DC	61
3.4.4	Lâmpada UV	62
3.4.5	Sistema de Alimentação	63
3.4.5.1	Purificador	63
3.4.5.1.1	Carregador	63
3.4.5.1.2	Bateria	63
3.4.5.2	<i>Mobile Sensor</i>	64
3.4.5.2.1	Carregador	64
3.4.5.2.2	Bateria	65
3.5	Análises Fluidodinâmica Computacionais	65
3.5.1	Escoamento no interior do purificador	67
3.5.1.1	Discretização	67
3.5.1.2	Resultados	68
3.5.2	Escoamento no interior de uma sala	69
3.5.2.1	Discretização	69
3.5.2.2	Resultados	70
3.6	Solução Estrutural	71
3.6.1	Estruturas Principais	71
3.6.1.1	Estruturas externas	72
3.6.1.2	Estruturas internas	75
3.6.2	Filtros	79
3.6.3	Fixações rosáveis	83
3.6.4	Esterilização por Radiação Ultravioleta	84

3.6.5	Estrutura do sensor de qualidade do ar	84
3.6.6	Posicionamento dos componentes dos sistemas Elétricos e Eletrônicos	84
3.6.7	Simulação de Esforços Estruturais	90
3.6.7.1	Discretização do Domínio	92
3.6.7.2	Resultados e Discussão	93
3.6.8	Escolha de Materiais	95
3.6.9	Formato da estrutura e CAD	99
3.7	Solução de Software	99
3.7.1	Arquitetura de Software	100
3.7.1.1	Serviço <i>mq-interface</i>	100
3.7.1.2	Serviço <i>api-clean-air</i>	102
3.7.1.3	<i>Front-end mobile</i>	103
3.7.2	Inovação	104
3.7.3	Arquitetura da informação	105
4	CUSTO E PRECIFICAÇÃO	107
5	ANÁLISE DE RISCOS	109
5.1	Análise Quantitativa de Riscos	109
5.2	Descrição dos Riscos	111
5.2.1	Riscos do Projeto, Externos e do Produto	111
5.3	Riscos Técnicos	113
5.3.0.1	Riscos Estruturais	113
5.3.0.2	Riscos Eletrônicos	114
5.3.0.3	Riscos Energéticos	115
5.3.0.4	Riscos Software	116
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	118
	REFERÊNCIAS	119
	APÊNDICES	124
	APÊNDICE A – TERMO DE ABERTURA DE PROJETO (TAP) .	125
A.1	Descrição do Projeto	125
A.2	Justificativa	126
A.3	Objetivo	126
A.4	Requisitos	126
A.5	Riscos	127
A.6	Marcos do Projeto	127

A.7	Stakeholders	127
A.7.1	Equipe	127
A.7.2	Professores	128
	APÊNDICE B – ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO (EAP)	129
B.1	Ponto de Controle 1	129
B.2	Ponto de Controle 2	130
B.3	Ponto de Controle 3	131
	APÊNDICE C – PRINCIPAIS DECISÕES DE SOFTWARE	132
C.1	Metodologia de desenvolvimento	132
C.1.1	Kanban	132
C.1.2	<i>Extreme Programming(XP)</i>	133
	APÊNDICE D – CRONOGRAMA	135
	APÊNDICE E – MEMORIAL DE CÁLCULOS DA SOLUÇÃO ENERGÉTICA	136
E.1	Dimensionamento de Carregador do <i>Mobile Sensor</i>	136
E.1.1	Fonte de Tensão	136
E.1.2	Transformador	136
E.1.2.1	Indutância	137
E.1.3	Retificador	137
E.1.4	Filtração	138
E.1.5	Regulador de tensão	140
E.2	Dimensionamento do Carregador do Purificador	140
E.2.1	Transformador	140
E.2.1.1	Indutância	140
E.2.2	Retificador	140
E.2.3	Filtração	141
E.3	Classificação dos filtros	142
E.4	Dimensionamento dos cabos elétricos	143
	APÊNDICE F – ESQUEMÁTICOS ELÉTRICOS	146
F.0.1	Esquemáticos Eletrônicos	146
F.0.2	Esquemáticos Energéticos	152
F.0.3	Diagramas Unifilares	154
	APÊNDICE G – PLACAS DOS CIRCUITOS IMPRESSOS	156
G.0.1	Placa dos Circuitos Impressos Eletrônicos	156
G.0.2	Placas dos Circuitos Impressos de Energia	156

APÊNDICE H – CADS DO PRODUTO	161
APÊNDICE I – DESENHOS TÉCNICOS	164
APÊNDICE J – TELAS DO PROTÓTIPO DO APLICATIVO	196
APÊNDICE K – PESQUISA DE PÚBLICO	198
APÊNDICE L – CONTRIBUIÇÃO POR INTEGRANTE	204

1 Introdução

Ao longo dos anos, as questões sobre a seriedade da gestão da qualidade do ar respirado tornou-se incontestável. Para referir-se a tal assunto, diversas conferências foram realizadas no mundo como a Conferência de 1972 e a Eco-92, que trataram sobre assuntos referentes a ações de responsabilidade ambiental como a proteção dos recursos naturais, o desenvolvimento de tecnologias capazes de reforçar a gestão ambiental dos países, prevenção a poluição da água e do ar, entre outros ([MALHEIROS; JR; COUTINHO, 2008](#)).

No Brasil, tem-se um conselho governamental com o objetivo de estabelecer normas e padrões ambientais a serem observados pelas atividades utilizadoras de recursos ambientais, chamado CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Com isso, por meio da resolução deste conselho, foi criado o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar - PRONAR - e que, a partir dele, surgiram novas concepções focadas na orientação e controle da poluição atmosférica no país. Assim, estratégias de cunho normativo foram estabelecidas, como a especificação de padrões nacionais de qualidade do ar e de emissão na fonte, a implementação de uma política de prevenção de deterioração e monitoramento da qualidade do ar ([CONAMA, 1992](#)).

Por este motivo, estudos voltados para qualidade do ar interno (QAI) mostrou-se relevante devido a comprovação que indivíduos passam até 90% do dia em ambientes internos, como casas, escritórios e escolas ([SCHIRMER et al., 2011](#)). Tais dados apontam a importância da qualidade do ar dentro desses ambientes, uma vez que ela não só desempenha um papel sobre o bem-estar no cotidiano, como também influencia e se relaciona com o futuro. Dessa forma, os resultados procedentes da qualidade do ar precisam ser visto como parâmetros primordiais para saúde.

De acordo com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018, existem determinadas concentrações de poluentes do ar interno para aferir a qualidade do ar. Entre os poluentes, tem-se o material particulado (MP), denominado como um conjunto de poluentes constituídos de fumaças, poeiras e material sólido e líquido que é mantido suspenso na atmosfera devido ao seu pequeno tamanho ([CETESB, 2021](#)). É estabelecido para medição o MP2.5 (materiais particulados com diâmetro aerodinâmico de até 2.5 micrômetros) e MP10 (materiais particulados entre 2.5 e 10 micrômetros).

A exposição de longo prazo a partículas com menos de 2.5 micrômetro de diâmetro está associada a condições crônicas, como doenças cardiovasculares e respiratórias e complicações cerebrovasculares, levando à redução da expectativa de vida. Exposição de curto prazo a MP2.5 e MP10 também pode causar uma variedade de impactos na saúde,

incluindo exacerbação da asma e aumentos nas admissões hospitalares respiratórias e cardiovasculares, e mortalidade em casos mais graves ([POLLUTANTS, 2018](#)).

Outro poluente é o chamado COVs (compostos orgânicos voláteis), que são gases e vapores que resultam da queima incompleta e evaporação de combustíveis e demais produtos orgânicos, emitidos pelos veículos, indústrias, dentre outros. Os gases como o dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, ozônio, monóxido de carbono e partículas totais em suspensão também estão presentes no padrão do CONAMA. A quantidade desses poluentes no ar podem ser várias vezes maior do que o mínimo determinado, indicando um significativo potencial para impactos prejudiciais à saúde ([CETESB, 2021](#)). Esses gases podem ser medidos por meio de instrumentos de medições de gases e assim, é possível fazer a análise da qualidade do ar, a qual pode ser determinada pelo cálculo do índice de qualidade do ar (IQA) ([OMS, 2006](#)).

Um dos principais componentes da poluição é o ozônio (O_3), ele é um grande problema para as funções pulmonares. Em épocas mais quentes, o ozônio tende a ter níveis mais elevados, principalmente nos períodos de grande incidência solar, como fim da manhã e tarde. A exposição ao ozônio a curtos prazos causam alguns desconfortos respiratórios, dores no tórax, alergias e sensibilidade nas vias aéreas. Além disso, a exposição a longo prazo pode chegar a reduzir a função pulmonar de forma irreversível ([LARA, 2020](#)).

O dióxido de nitrogênio (NO_2) é um dos gases poluentes, sua formação é ocasionada durante processos de combustão, e de acordo com sua concentração pode gerar irritação nos brônquios e olhos causando grandes prejuízos à saúde ([CETESB, 2021](#)). Além do NO_2 , outro gás contaminante é o dióxido de enxofre (SO_2) que provém da queima de combustíveis fósseis utilizado para aquecimento doméstico, veículos a motor e eletricidade. Este gás possui uma alta reatividade com outros poluentes presentes na atmosfera sendo um dos principais gases precursor de doenças por irritação nas vias respiratórias. Quando em contato com outros poluentes tem seus efeitos intensificados, que pode ter aumentos de concentração de acordo com as condições do ambiente ([FERNANDES, 2017](#)).

Além do mais, os valores de pressão atmosférica, as variações de temperatura e umidade relativa do ar no ambiente apresentam uma importância na compreensão dos mecanismos da circulação do ar. As regiões de alta pressão atmosférica reduzem o movimento horizontal dos ventos, gerando uma maior concentração dos poluentes na região. As altas temperaturas que ocorrem em certas áreas acarreta baixa pressão atmosférica, o que pode provocar a concentração de material particulado na atmosfera. Logo, nota-se que a variação de temperatura ambiente e pressão do ar tem influência sobre elementos poluentes ([JARDIM, 2011](#)).

Sendo assim, ao conhecer os riscos que uma má qualidade de ar causa à saúde humana, é vista a necessidade de reter, por meio de sistema de filtragem, partículas poluentes em ambientes internos provindas de contaminantes provocados e/ou liberados no ar exterior ou produzidos no próprio local. Com este sistema, as partículas ficam contidas em um filtro fazendo com que o ar retorno ao ambiente límpido e com uma melhor qualidade. Existem diferentes tipos de filtros com diferentes eficiências, como HEPA (*High Efficiency Particulate Air*), Ultravioleta (UV), carvão ativado, ionizador e de ozônio. De acordo com a aplicação, é feita a escolha do melhor filtro para eliminar a maior quantidade de partículas do ambiente e para uma plena qualidade do ar (BASTO, 2007).

Outros estudos articulam que a exposição a partículas MP2.5 e MP10 estão associados a alterações epigenéticas em genes envolvidos na anti-oxidação e nos mecanismos de inflamação das vias aéreas, podendo assim, modificar as respostas a poluição do ar e as infecções respiratórias (KELLY; FUSSELL, 2011). Estudos como o de Zoran et al. (2020) evidenciam que além da transmissão de entre indivíduos através de gotículas ou de superfícies infectadas, a difusão viral (e de outros micro organismos) aérea transportada também se configura como possíveis meios de transmissão de doenças infecciosas.

Pode-se observar que as doenças alérgicas/inflamatórias com manifestações pulmonares aumentaram dez vezes em prevalência nos últimos 50 anos. Estudos demonstram que diversos fatores em conjunto estão interligados para compreender tal fenômeno, no entanto vale destacar que dentro dos já citados, o aumento da exposição continuada a alérgenos intradomiciliares está associada a manifestações de problemas respiratórios, em especial, asma e rinite. Tal aumento na exposição é reflexo, dentre vários casos, da domiciliação de animais, de ambientes mal arejados que propicia boas condições de proliferação de ácaros e da maior permanência dentro dos domicílios (RIZZO, 1998).

Além do mais, Prussin et al. (2015) quantifica a concentração de partículas semelhantes a vírus (VLP) e a bactérias (BLP) aerotransportadas pelo ar em ambientes internos e externos. É possível observar que entre as concentrações, tanto de VLP quanto BLP, nos ambientes internos (como casas e escritórios) se mostrou superior à concentrações obtidas em creches, restaurantes e centros de saúdes, localidades que a movimentação líquida de pessoas é substancialmente maior. Sabe-se também que a concentração de BLP nas casas analisadas se mostrou superior a concentração da mesma em ambientes externos.

Ademais, de acordo com o CDC (Centro de Controle e Prevenção de Doenças dos Estados Unidos) a variância que os diâmetros das partículas virais apresentam pode ser obstáculo para os diferentes equipamentos de combate. O novo coronavírus, por exemplo, é de 0,125 micrões. As gotículas em que ele viaja quando as pessoas tossem, falam ou respiram são inicialmente maiores, em torno de 1 micrón. Isso torna-se um desafio ao atual mercado nacional de purificação de ar destinada ao pequeno/médio usuário (uso doméstico e em escritórios), por pouco possuírem, até então, equipamentos de eficiência

suficiente ou comprovada na eliminação de Sars-CoV-2 (Síndrome respiratória aguda grave de coronavírus 2) em aerossol em custo acessível.

Também, uma pesquisa de público realizada de forma online por meio do formulário Google, presente no apêndice K, à qual obteve a participação de 122 indivíduos contribuiu para o levantamento do estudo da problemática. Seu resultado expôs que aproximadamente 45% dos entrevistados considera a qualidade do local onde reside de ruim à regular, 69,7% acredita que a qualidade do ar impacta diretamente em sua saúde e aproximadamente 70% presume ser muito importante saber a qualidade do ar que se respira e admite que um purificador de ar possa ajudar em sua saúde respiratória. Por último, 45 dos 122 entrevistados afirma que gostaria que tivesse um sistema de purificação e esterilização de ar no ambiente de trabalho.

Na tentativa de amenizar a poluição do ar interno existente, o projeto nomeado *CleanAir*, é apresentado como uma solução para monitorar os poluentes, informar sobre o IQA e realizar a purificação e esterilização do ambiente por meio de um sistema de filtragem. Desse modo, com a construção de um purificador automatizado para filtrar partículas contaminantes, bactérias e germicidas e um sensor móvel para realizar o monitoramento da qualidade do ar, o equipamento integrado visa proporcionar um ar limpo e contribuir para melhores condições de saúde dentro de um ambiente seguro.

1.1 Justificativa

A poluição do ar doméstico é uma das áreas que precisa de atenção imediata, pois afeta principalmente o sistema respiratório e pode levar a problemas de saúde. Geralmente, pessoas tendem a passar a maior parte de seu tempo em ambientes fechados, logo, estão potencialmente expostas a agentes externos como micro-organismos, elementos alérgenos, material particulado (MP), monóxido de carbono (CO) e ozônio (O_3). É por isso que uma tecnologia avançada na purificação do ar com um preço de mercado equivalente a produtos similares é muito importante. O emprego de sistemas de purificação de ar tem o potencial de trazer diversos benefícios à saúde, melhorando a qualidade de vida de seus usuários.

Os purificadores de ar podem absterger ambientes com ar viciado, reduzindo as chances de problemas de saúde causados por poluentes internos, que podem desencadear infecções respiratórias, alergias, problemas neurológicos ou agravar os sintomas em pessoas com asma. Outro grupo de risco em potencial são as crianças, pois ainda não possuem seus sistemas respiratórios totalmente desenvolvidos e tendem a ter uma taxa maior de ventilação, aumentando a inalação de substâncias poluentes presentes no ar.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Gerais

O purificador *CleanAir* consiste em um produto que tem como principal função a limpeza e purificação do ar com o intuito de melhorar a qualidade do ar no ambiente do qual está inserido, reduzindo poluentes e microrganismos em residências. Ele também busca promover um ar impoluto para o local resguardando e auxiliando na saúde respiratória do usuário. Além disso, tem como objetivo possuir integração por meio de aplicativo e comando de voz do dispositivo Alexa para monitorar a qualidade do ar ambiente e controlar o purificador.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Garantir a integração entre todas as engenharias;
- Certificar a usabilidade do dispositivo e aplicativo pelo usuário;
- Desenvolver um sistema detector de gases prejudiciais a saúde respiratória;
- Garantir um produto resistente e de fácil locomoção;
- Integrar dados coletados pelo sistema detector ao aplicativo para visualização do usuário;
- Assegurar um sistema de filtragem eficaz que retenha elementos alérgenos comuns do ambiente intradomiciliar de baixa ventilação e partículas prejudiciais a saúde;
- Desenvolver um sistema de baixo consumo energético e com autonomia de bateria para assegurar o ciclo de purificação;

2 Requisitos

2.1 Requisitos de Alto-nível

Os requisitos de alto-nível elencados estão apresentados na tabela 1:

Tabela 1 – Requisitos de alto-nível

ID	Requisito	Prioridade
RG001	Sensoriamento automatizado de gases e partículas infecções	MUST
RG002	Purificar o ar de ambientes fechados com metragem entre 70-80 m ² com densidade máxima de 0.3-0.5 pessoas/ m ²	MUST
RG003	Possuir material resistente à impactos e água	MUST
RG004	Autonomia energética	MUST
RG005	O produto deverá possuir menor custo que similares	SHOULD
RG006	O produto deverá ser recarregável	MUST
RG007	O produto deverá ter mobilidade e até 1 metro de altura	MUST
RG008	O produto não deverá produzir ruídos acima de 65 dB	SHOULD
RG009	O produto deverá ser de fácil manutenção e uso	MUST
RG010	O sistema deverá detectar quando não for necessário manter a purificação ligada	MUST
RG011	O sistema deverá notificar o usuário sobre a qualidade do ar e quando for necessário ter a troca do filtro	MUST
RG012	O produto deverá possuir um aplicativo para controle remoto	MUST

2.2 Requisitos específicos

2.2.1 Requisitos de Elétrica

2.2.1.1 Eletrônica

Os requisitos levantados pela subequipe de eletrônica para o equipamento portátil:

Tabela 2 – Requisitos do Purificador

ID	Requisito	Prioridade
RE001	Possuir um sistema embarcado	MUST
RE002	Ter um display para a visualização de informações	MUST
RE003	Possuir um botão liga/desliga, reset e modo automático	MUST
RE004	Processar e tratar dados vindos dos sensores para enviar para um banco de dados	MUST
RE005	Possuir no display um código de cores para identificar qualidade do ar	SHOULD
RE006	Comunicação via Wi-Fi com <i>Mobile Sensor</i>	MUST
RE007	Possuir sistema de controle da rotação do motor do ventilador	MUST
RE008	Comunicação de todo o sistema com o usuário	MUST
RE009	Possuir sistema de acionamento da lâmpada UV	MUST

Os requisitos levantados para o equipamento *Mobile Sensor* (detecção de qualidade do ar):

Tabela 3 – Requisitos *Mobile Sensor*

ID	Requisito	Prioridade
RE010	Detecção de gases poluentes	MUST
RE011	Detecção de partículas contaminantes	MUST
RE012	Detecção de compostos orgânicos voláteis	MUST
RE013	Detecção de umidade e pressão do ar e temperatura ambiente	SHOULD
RE014	Indicador de energia	SHOULD
RE015	Possuir botão de liga e desliga	MUST
RE016	Comunicação via Wi-Fi com o Purificador	MUST
RE017	Possuir sistema de ventilação para fluxo de ar	MUST
RE018	Possuir um sistema embarcado	MUST

2.2.1.2 Energia

Os requisitos levantados pela subequipe de energia para o produto foram:

Tabela 4 – Requisitos de Energia

ID	Requisito	Prioridade
RN001	Ter bateria adequada para a alimentação dos sistemas	MUST
RN002	Ter sistema de alimentação capaz de fornecer tensão e corrente adequadas para a alimentação dos subsistemas eletrônicos do produto	MUST
RN003	Atingir uma classificação padrão de filtragem eficiente	MUST
RN004	Levar em consideração as dimensões do local	MUST
RN005	Ter uma porcentagem de filtração maior que 99,5%	MUST
RN006	Possuir carregador para fornecer a bateria a quantidade de energia necessária para o carregamento completo	MUST
RN007	Apresentar um motor DC com ruído abaixo de 40 dB	SHOULD

2.3 Requisitos de Estrutura

Os requisitos levantados pela equipe de estrutura para o projeto foram:

Tabela 5 – Requisitos estruturais

ID	Requisito	Prioridade
RT001	Confinar a emissão de radiação Ultravioleta	MUST
RT002	Ter uma montagem simplificada	MUST
RT003	Ser resistente a impactos e a deformações	MUST
RT004	Ser portátil	MUST
RT005	Possuir peças que ofereçam fácil manutenção	MUST
RT006	Permitir a troca de filtros com praticidade	MUST
RT007	Pesar no máximo 10 quilogramas	MUST
RT008	Resistência a radiação eletromagnética	SHOULD
RT009	Ser ergonômico	MUST
RT010	Ser compacto	COULD
RT011	Superfícies que mitiguem a proliferação de microrganismos	MUST

2.4 Requisitos de Software

Os requisitos são divididos entre requisitos funcionais e requisitos não funcionais ([FIGUEIREDO, 2016](#)), em que cada requisito funcional está ligado a um Épico, que representa de forma macro funcionalidades dentro do software ([DUARTE, 2020](#)).

2.4.1 Épicos

ID	Épico
E1	Controle pelo aplicativo
E2	Monitoramento pelo aplicativo
E3	Notificações do aplicativo
E4	Controle de voz

2.4.2 Requisitos Funcionais

2.4.2.1 Requisitos do Épico E1 - Controle pelo aplicativo

ID	Requisito	Prioridade
E1RF001	Ter controle de ligar/desligar o purificador	MUST
E1RF002	Controlar o desligamento automático do purificador por tempo	SHOULD
E1RF003	Fazer conexão via <i>Wi-Fi</i> com os dispositivos de monitoramento	MUST
E1RF004	Mudar nome dos dispositivos de monitoramento	COULD
E1RF005	Controlar velocidades do purificador	SHOULD
E1RF006	Controlar modos de uso do purificador	SHOULD

2.4.2.2 Requisitos do Épico E2 - Monitoramento pelo aplicativo

ID	Requisito	Prioridade
E2RF001	Visualizar qualidade do ar de cada dispositivos de monitoramento	MUST
E2RF002	Visualizar qualidade do filtro do purificador	MUST
E2RF003	Visualizar <i>status</i> de purificação	MUST
E2RF004	Visualizar bateria atual do purificador	MUST
E2RF005	Visualizar bateria dos dispositivos de monitoramento	MUST

2.4.2.3 Requisitos do Épico E3 - Notificações do aplicativo

ID	Requisito	Prioridade
E3RF001	Notificar bateria baixa do purificador	SHOULD
E3RF002	Notificar bateria baixa dos dispositivos de monitoramento	SHOULD
E3RF003	Notificar a necessidade de limpar ou trocar o filtro do purificador	SHOULD
E3RF004	Notificar quando um ambiente completar a purificação	COULD
E3RF005	Notificar ambientes com a necessidade de purificação	COULD
E3RF006	Notificar a necessidade da troca da lâmpada UV	COULD

2.4.2.4 Requisitos do Épico E4 - Controle de voz

ID	Requisito	Prioridade
E4RF001	Possuir controle de ligar e desligar o purificador	SHOULD
E4RF002	Receber a porcentagem da bateria atual do purificador	COULD
E4RF003	Receber o <i>status</i> da purificação	SHOULD
E4RF004	Saber quais ambientes precisam ser purificados	SHOULD
E4RF005	Definir tempo para o desligamento automático do purificador	COULD
E4RF006	Controlar velocidades do purificador	SHOULD
E4RF007	Controlar modos de purificação	SHOULD

2.4.3 Requisitos Não Funcionais

ID	Requisito	Prioridade
RFN001	Interface colorida com um bom contraste	SHOULD
RFN002	Interface intuitiva	MUST
RFN003	Aplicativo utilizável no Android	MUST
RFN004	Visualização amigável da qualidade do ar de um ambiente	MUST
RFN005	Atualização em tempo real dos dados dos dispositivos de monitoramento	SHOULD

3 Solução

3.1 Escopo

O projeto *CleanAir* consiste na elaboração de um sistema que purifique o ar e detecte partículas e gases prejudiciais à saúde humana em habitações. No qual terá a função de filtrar poluentes do ar e retornar um ar mais puro e limpo para o ambiente.

Dividido em dois sistemas, o primeiro dito o purificador que possui o filtro e o sistema para a purificação e esterilização do local. O segundo consiste em um sistema de menor tamanho, o *Mobile Sensor*, que terá como funcionalidade a detecção de índices de partículas e gases que possam ser prejudiciais à saúde, possuindo sensores para tal fim.

Haverá uma comunicação entre os dois produtos para então notificar o usuário via aplicativo *mobile* da necessidade de purificação do ambiente em que se encontra o dispositivo menor. E ao ser notificado, o usuário pode levar o dispositivo maior ao cômodo para ali o ar ser purificado e, com base no envio dos dados armazenados em um banco de dados será gerado gráficos de evolução da purificação para melhor visualização do usuário.

3.2 Lista É/ Não É

Tabela 6 – Lista é e não é do produto

ID	É	Não é
1	Um sistema portátil	Um sistema com mobilidade automática
2	Purificador e esterilizador do ar	Umidificador e odorizador de ar
3	Um sistema com bateria recarregável	Um sistema autônomo
4	Controlado por aplicativo	Totalmente controlado de forma manual
5	Responsável por verificar a qualidade do ar	Responsável por verificar só a umidade do ar

3.3 Solução Eletrônica

3.3.1 Sistema de Controle

Ao que se diz respeito à parte eletrônica do projeto, foram elencados alguns componentes cruciais para o desenvolvimento e funcionamento do produto. Com isso, foram levantadas as seguintes soluções:

3.3.1.1 Purificador

3.3.1.1.1 Visualização

O módulo de visualização é o subsistema onde o usuário poderá visualizar informações relevantes para que o usuário possa monitorar o funcionamento do produto. Além disso, o intuito desse subsistema é fazer com que o usuário tenha contato com a interface usando as teclas como meio de interação. Nele estão contidos um visor e um teclado para interface com o usuário.

- **Botão Membrana matricial 3 chaves**

Para que o usuário do purificador possa interagir de forma manual com as opções disponíveis, sendo essas: liga/desliga, modo automático e *reset*, é necessário utilizar 3 botões. A funcionalidade de cada um deles é exercida da seguinte maneira:

- O liga/desliga funciona para ligar e desligar o purificador,
- O modo automático estabelece o nível de filtragem de acordo com os dados da qualidade do ar, ou seja, quando o IQA (índice de qualidade do ar) estiver alto (IQA ruim), a velocidade do motor irá aumentar automaticamente para um maior troca de ar no local a ser filtrado e consequentemente, um ar mais limpo. Este modo também funciona para o nível médio de ventilação (IQA médio) e um nível baixo de ventilação (IQA muito bom).
- O *reset* serve para quando houver uma troca do filtro ou da lâmpada UV, voltar para uma contagem inicial em relação a um futura troca.

Dessa forma, será usado essa configuração de membrana matricial com 3 chaves, com o propósito de cumprir com as funcionalidades expostas, para que as operações de interação sejam bem simples e restritas, uma vez que o maior contato do aparelho com o usuário é majoritariamente com o aplicativo. A solução encontrada pode ser observada na Figura 1a.

Características:

- Tensão/corrente máxima: 24 VDC/30 mA
- Dimensões: 55 x 36 x 105 mm
- Temperatura de funcionamento: 0 a 50° C



(a) Botão Membrana Matricial 1x3. (b) Esquemático Membrana Matricial 1x3.

Figura 1 – Botões do Purificador.

Este painel de controle funciona com teclas *push-buttons* tipo membrana dispostos na configuração em um formato *Keypad*. Possui uma sequência de chaves, especificamente três, dispostas em forma de matriz e possui um GND comum à todas elas totalizando 4 pinos a serem conectados ao microcontrolador como pode ser observado na Figura 1b. É de fácil implementação a nível de código, bastando somente declará-lo como uma entrada digital.

Para identificar qual botão foi pressionado, primeiro é configurado as 3 colunas da matriz como entradas em nível lógico alto (resistor de *pull-up* interno ativado), e a linha como saída em nível lógico baixo. Assim, ao ser conectado a um microcontrolador com sua respectiva porta de leitura correspondente, a tecla que foi pressionada (1, 2 ou 3) é identificada como um estado de nível lógico baixo na sua saída. Por meio do programa, é interpretado qual tecla teve seu nível lógico alterado e, assim, pode-se realizar ações específicas de forma integrada a esse processo.

- **Display LCD**

Para observar o IQA foi proposto um visor que indique através de índices e cores qual a condição do ar no ambiente em que está sendo purificado. Ao realizar pesquisas para o display foi disponibilizada uma gama de opções no mercado que poderia ser utilizado.

A escolha deste componente é considerada com base na resolução, o tamanho da tela, possibilidade de criar animações, gráficos e textos de forma colorida e bom custo-benefício. Portanto, foi determinado a tela tipo LCD TFT de 2.2", observado na Figura 2a, por possuir ótimos níveis de nitidez devido aos altos contrastes exibidos nas imagens reproduzidas na tela colorida e por apresentar uma interface de comunicação compatível com o sistema micro-controlado (sendo este o SPI). As conexões do display de acordo com o seu protocolo está apresentada no esquemático na Figura 2b. Tem-se as seguintes especificações do item:

- Tensão de operação: 3.3 VDC
- Resolução: 240x320 pixels
- Controlador: ILI9341
- Dimensões da tela: 40.10 x 67.20 x 6.5 mm

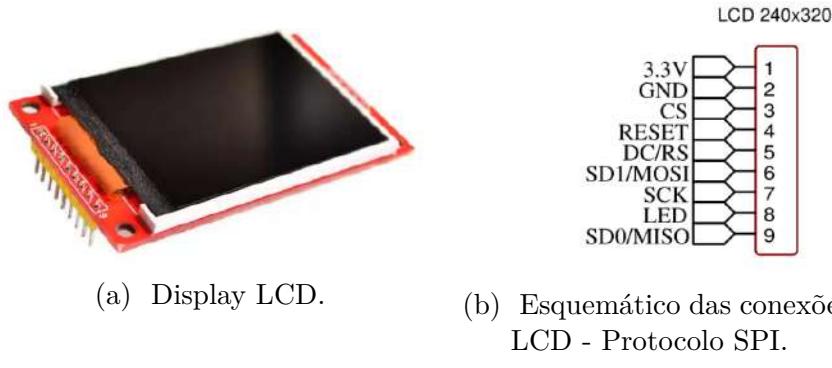


Figura 2 – Display LCD TFT 2.2.

3.3.1.1.2 Acionamento dos Atuadores

Este tópico tem a funcionalidade de controlar os atuadores contidos no dispositivo. Trata-se de um sistema micro-controlado pelo sistema de controle do purificador em que é utilizado circuitos específicos para realizar esse acionamento. Os atuadores são: motor DC e lâmpada UV.

- **Relé de acionamento**

Para o acionamento da lâmpada UV foi cogitado o uso de um relé. O relé é um componente eletromecânico com a capacidade de comutar uma chave ao possuir um circuito com uma bobina, ou seja, ele funciona basicamente como um interruptor. Na outra extremidade do circuito, na maioria das vezes, tem-se duas chaves, uma normalmente fechada (NF) e outra normalmente aberta (NA) além dos contatos comum (C). Desse modo, o relé possui 5 pinos observado na Figura 3. No projeto ele permanece ligado enquanto houver um pressionamento do botão de acionamento correspondente (os contatos C e NA ficam fechados) e permanece desligado enquanto houver pressionamento de novo do botão (os contatos C e NF ficam fechados) ([ATHOS ELECTRONICS, 2020](#)).

Desse modo, o relé teria sua conexão com o botão conectado na bateria do purificador e com a lâmpada UV, e ao pressionar o botão, o relé é acionado, e assim a lâmpada é ligada. Portanto, a conexão do equipamento com a carga é facilitada por este componente.

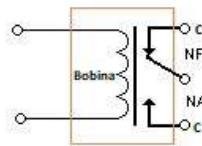


Figura 3 – Pinos do relé de acionamento

Especificações:

- Tensão e corrente de operação: 12 VDC / $15 \sim 20mA$
- Capacidade do relé: 30 VDC/10A e 250 VAC/10A

• Controle de velocidade do motor DC

De maneira a realizar a proposta de controle de velocidade do motor de 24V foi considerada a criação de um circuito (Figura 4) que envolve um opto-acoplador, no qual consiste em um CI que contém um LED emissor de infravermelho e um fototransistor NPN, transistor MOSFET e resistores.

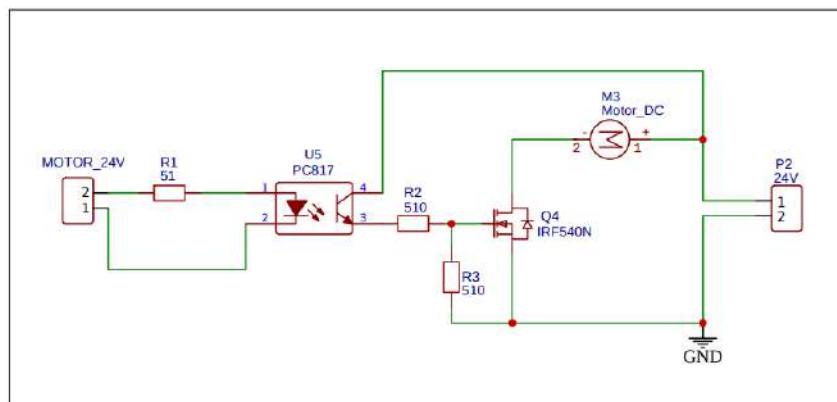


Figura 4 – Circuito esquemático de acionamento do motor.

Para o chaveamento do transistor será utilizado o controle por modulação de largura de pulso (PWM), presente no microcontrolador. Essa operação varia o tempo de permanência do sinal lógico em baixo e alto, em que promove uma resposta que simula uma variação de intensidade de tensão, porém variando apenas o tempo que o sinal está ligado e desse modo, a velocidade do motor corresponde com essa variação.

A partir disso, para integrar o opto-acoplador (U5) na saída de PWM vinda do microcontrolador (MOTOR_24V) foi colocado um resistor (R1) para limitar a corrente e não ultrapassar a corrente máxima de 50mA (I_{LED}). Porém, como o microcontrolador utilizado tem uma corrente máxima de saída de 40mA (I_{ESP}) em seus pinos GPIO, o resistor foi calculado por meio da equação 3.1:

$$R1 = \frac{V - V_{LED}}{I_{ESP}} = 47.5\Omega \quad (3.1)$$

Após um estudo de possíveis tipos de transistor, analisou-se o modelo IRF540, como sendo o mais favorável por ter um maior envolvimento na contribuição em projetos para acionar cargas de alta corrente. Este MOSFET pode suportar carga máxima de até 23 A, tensão máxima de dreno de até 100 V e é capaz de atingir um alto nível de capacidade de condução (COMPONENTS INFO, 2020).

Este transistor possui alguns recursos que o tornam ideal para ser usado como uma chave e é capaz de realizar comutação de alta velocidade. Ele também pode ser usado na saída de microcontroladores e plataformas eletrônicas como Raspberry Pi e ESP32 para acionar cargas de alta corrente (COMPONENTS INFO, 2020).

Como a tensão máxima suportada pelo transistor em seu *gate* é de apenas 20V, foi necessário implementar um divisor de tensão para que a tensão de 24V vinda do emissor (3) do opto-acoplador fosse reduzida, de forma que o MOSFET(Q4) continue operando em saturação. Para isso, o divisor de tensão foi calculado a fim de que a tensão de entrada no *gate* seja de 12V, ou seja, a metade de tensão. De forma que o divisor de tensão tenha em sua saída a metade de tensão da entrada basta apenas colocar duas resistências iguais em série (R2 e R3). Sabendo que a corrente máxima do coletor (4) é de 50mA, a resistência foi calculada a partir da equação 3.2:

$$R2 = R3 = \frac{24V}{50mA} = 480\Omega \quad (3.2)$$

Para a realização das simulações utilizou-se o mesmo circuito da Figura 4. Dessa forma, foi adicionada uma sequência de pulsos (representando o PWM do microcontrolador) na entrada do LED emissor do opto-acoplador para reproduzir as diferentes velocidades do motor, alternando a tensão de entrada do *gate* e consequentemente sua saturação. Uma vez que o MOSFET está saturado o motor é aterrado levando assim o sinal de pulso ir para 0V fazendo o motor funcionar. Pode-se observar o comportamento do sinal nos 3 níveis de velocidades do motor na Figura 5.

- **Isolamento**

A natureza dos atuadores gera ruídos de tensão e corrente que devem ser tratados, uma vez que, caso esse ruído chegue ao sistema de controle existe a possibilidade de causar mal funcionamento das funções de todos os circuitos presentes. Portanto, deve-se isolar o sistema de atuadores do sistema de controle. Para isso são utilizados opto-acopladores,

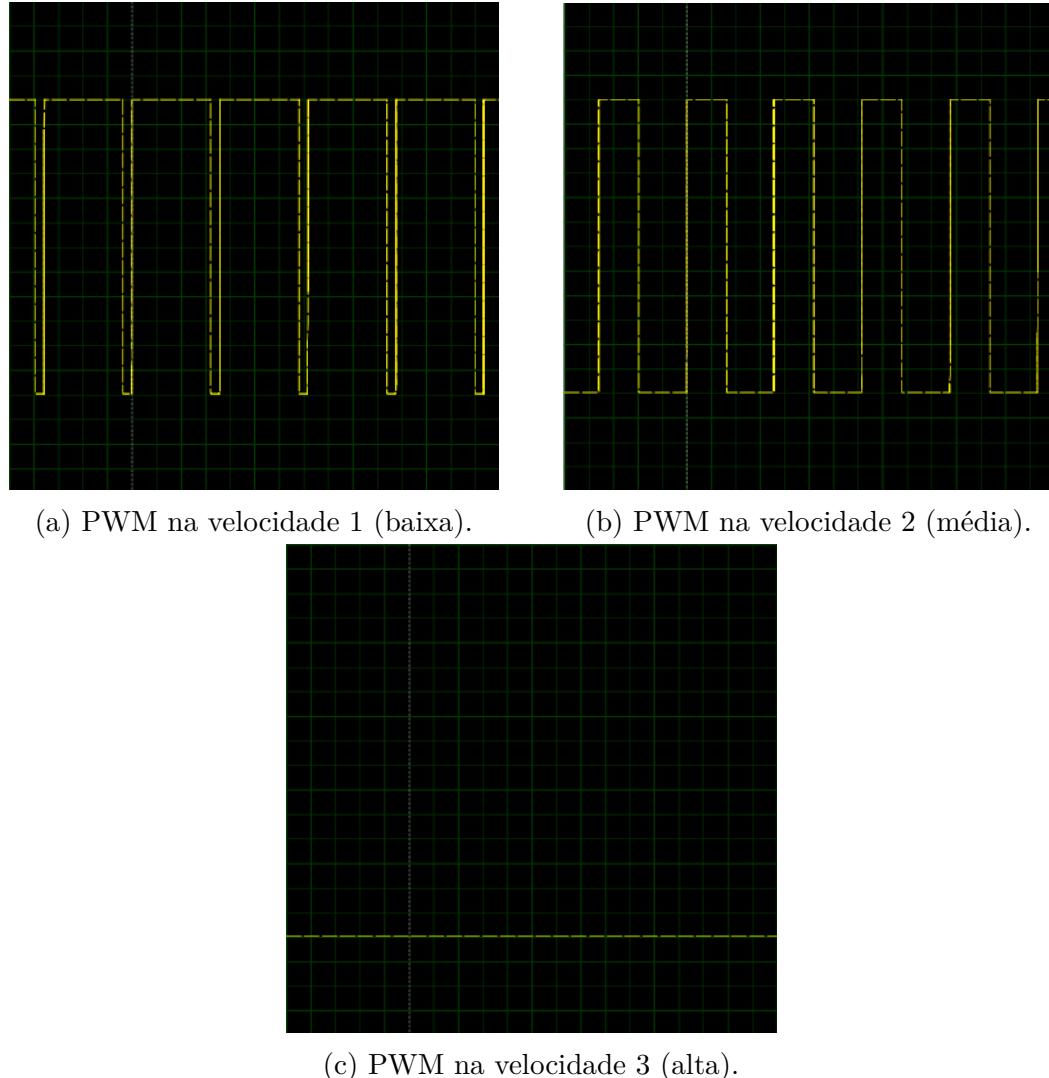


Figura 5 – Simulação do controle de velocidade do motor por PWM.

que isolam o sistema transferindo sinais por meio de LEDs emissores e receptores e assim, separam um circuito de baixa potência com o de alta potência.

3.3.1.2 *Mobile Sensor*

Este módulo consiste no sistema de monitoramento da qualidade do ar com a função de realizar a coleta de dados relevantes para uso no controle e automação do equipamento. Portanto, aborda um sistema micro-controlado conectado a vários componentes de detecção e medição de parâmetros previamente estabelecidos (gases poluentes, MP, SO_2 , NO_2 , COVs). Diante disso, foi feito um levantamento de componentes necessários com base nos requisitos levantados, normas estabelecidas na resolução do CONAMA ([CONAMA, 2018](#)) para a qualidade do ar, escala de medição compatível com a aplicação e apresentarem custos acessíveis com a disponibilidade no mercado.

3.3.1.2.1 Módulo de Medição da Qualidade do ar

Para que haja a verificação da qualidade do ar e quais substâncias estão presentes em maior ou menor concentração no ambiente, faz-se necessário o uso de sensores específicos para identificar cada um dos gases e partículas.

- **Sensor para Material Particulado**

Para que haja a medição de materiais particulados até 2.5 micrômetros e entre 2.5 e 10 micrômetros foi escolhido o sensor Adafruit **PMSA003I**. Este sensor usa espalhamento a laser para irradiar partículas suspensas no ar e, em seguida, coleta a luz espalhada para obter a curva de mudança dessa luz com o tempo. Ao ser conectado a um microcontrolador é possível obter os valores dos cálculos do diâmetro de partícula equivalente e o número de partículas com diferentes diâmetros por unidade de volume. Dessa forma, tem-se as concentrações de MP2.5 e MP10 em unidades padrões e ambientais.

Especificações do módulo sensor:

- Nível de interface: 3.3 V
- Comunicação: I²C
- Faixa de medição de partícula: 0.3 ~ 1.0, 1.0 ~ 2.5, 2.5 ~ 10 micrômetros
- Faixa efetiva de partícula (padrão PM2.5): 0 ~ 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

A conexão do PMSA300I pelo protocolo de comunicação I^2C se dá pela seguinte maneira:

- VIN é o pino de alimentação. Para alimentar a placa, é utilizado o pino 3.3 V do microcontrolador;
- GND é o terra comum para potência e lógica. É conectado no pino GND;
- SCL é o pino de *clock* I^2C . Conecta-se no pino SCL para sua leitura no microcontrolador;
- SDA é o pino de dados I^2C . É conectado na linha de dados I^2C do microcontrolador sendo o pino SDA.

Para a sua utilização, é necessário a instalação de uma biblioteca disponibilizada (Adafruit PM25AQI) que ajudará na leitura e verificação dos dados de soma e imprimi-los em formato legível para unidades padrões.

- **Sensor de COVs, umidade, pressão e temperatura**

Segundo a ISO16000 (2014), é esperado que os detectores de COVs (compostos orgânicos voláteis) sejam amplamente usados para monitoramento de concentrações internas, controle de sistemas de ventilação e assim por diante. Além do mais, fatores como a umidade, pressão e temperatura influenciam na qualidade do ar.

Sendo assim, para medir essas variáveis, o “*Mobile Sensor*” utilizará o sensor digital Adafruit **BME680**, que realiza a leitura das três variáveis meteorológicas e do COVs. Este componente possui uma alta proximidade entre o valor obtido experimentalmente e o valor verdadeiro na medição das grandezas mensuradas por conter um pequeno sensor com óxido de metal aquecido o qual muda sua resistência baseado na quantidade de COVs no ar. Logo, se torna a melhor aplicação para o projeto, por ter maior sensibilidade quando comparado a outros modelos além de ter uma baixo consumo de corrente. Também possui uma alta resolução de leitura e de detecção de gases COVs.

Todos os parâmetros são deduzidos de medições e condições ambientais, que estão em conformidade com a norma ISO 16000-29 “Métodos de teste para detectores de COV” (BOSH, 2017). Assim, pode ser usado para detectar e realizar medições de gases e álcoois, como etanol, álcool e monóxido de carbono que podem ser ativados ou desativados independentemente, porém, não pode diferenciá-los.

A lista abaixo resume algumas características técnicas do sensor:

- Comunicação: I²C e SPI
- Alimentação: 3.3 V
- Modo de operação: -40 a 85 °C, 0 a 100% UR, 300 a 1100 hPa

Dessa forma, foi escolhido o protocolo de comunicação I²C para sua implementação. Assim, as suas conexões com o microcontrolador funcionam da mesma maneira explicada no item anterior (sensor para material particulado) e para colaborar na leitura dos dados é utilizada a biblioteca Adafruit_BME680 específica do próprio sensor e disponível no Github do Adafruit.

- **Sensor de Dióxido de Enxofre**

Com o intuito de identificar a concentração do dióxido de enxofre no ambiente será utilizado, no dispositivo, o sensor **DGS-SO2**. Ele utiliza uma tecnologia de sensor eletroquímico impresso e combinado com algoritmos permite uma fácil integração de baixo consumo de energia, alto desempenho e estabilidade ao componente.

A lista abaixo resume as características técnicas do sensor:

- Comunicação: UART

- Alimentação: 3.3 V
- Faixa de operação: -20 a 40°C, 15 a 95% UR, 0,8 a 1,2 atm
- Máxima concentração medida: 5000 ppm

A conexão do módulo do sensor ao microcontrolador seguindo a sua pinagem por meio do protocolo UART é feita da seguinte maneira:

- V+ é o pino de alimentação que é conectado ao pino 3.3V do microcontrolador;
- TXD é o pino de determinado para transmissão de dados que tem a sua ligação com o pino RX;
- RXD é o pino de determinado para recepção de dados que tem a sua ligação com o pino TX;
- GND é o terra conectado no pino GND.

Quando o módulo do sensor DGS-SO2 é conectado ao V+ e GND, o microcontrolador ligado ao módulo configura o sensor e sua operação. Ao ser acionado é enviada às medições realizadas pelo sensor e, em seguida, ele entra no modo de espera de baixa energia. Enquanto entra em modo de espera, o sensor permanece ativo para garantir a mais alta precisão para futuras medições ([SPEC, 2017](#)).

- **Sensor de Fumaça**

Sabendo como a fumaça e gases inflamáveis trazem diversos riscos à saúde ([RI-BEIRO; ASSUNÇÃO, 2002](#)), é necessário a detecção desses poluentes. Então para essa finalidade foi escolhido o sensor **MQ-2**. É um sensor do tipo semicondutor, composto por um tubo de cerâmica de Al_2O_3 (Óxido de alumínio), uma camada sensível ao dióxido de estanho (SnO_2), na qual apresenta menor condutividade em ar limpo, ou seja, a condutividade deste material varia de acordo com a concentração dos gases, assim, quanto maior a concentração menor sua resistência.

Esses componentes são fixados em uma crosta de plástico e rede de aço inoxidável. O aquecedor fornece as condições de trabalho necessárias para o trabalho de componentes sensíveis. Este sensor tem sensibilidade a gases GLP, Propano, Hidrogênio, Metano, Monóxido de Carbono e Álcool. Por ser um sensor que consegue detectar mais de um tipo de gás, há a necessidade de realizar o ajuste de sensibilidade de acordo com a aplicação. Esta é realizada a partir do ajuste da resistência de carga do sensor ([ELECTRONICS, 2020a](#)). No presente projeto o sensor MQ-2 será utilizado apenas para a detecção de fumaça no ar.

A lista abaixo resume as características técnicas do sensor MQ-2:

- Tensão de operação: 3.3V-5V

- Concentração de detecção: 300-10000 ppm
- Comunicação: Digital e analógica

Para calibrar o sensor MQ-2, inicialmente deve-se entender sua estrutura apresentada na figura 6, e assim estabelecer um valor para R_L . Ao empregar valores apresentados no *datasheet* do sensor é possível determinar o valor mínimo da resistência R_L que é de $5K\Omega$. O ajuste da resistência é feito diretamente no módulo integrado ao sensor, que possui 4 pinos que são estes o VCC, GND analógico (A0) e digital (D0).

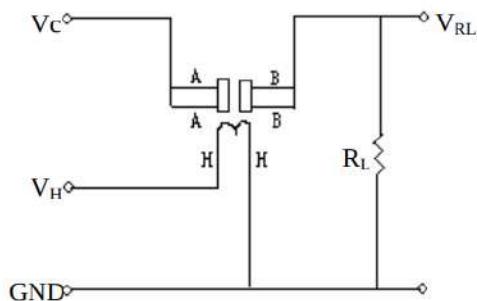


Figura 6 – Esquemático do sensor MQ-2.

A partir disso, é feita uma análise no gráfico (figura 7) de modo a extrair a concentração em ppm com a razão R_s/R_0 , onde R_s representa resistência do sensor que varia de acordo com as concentrações dos gases e R_0 a resistência do sensor em ar limpo.

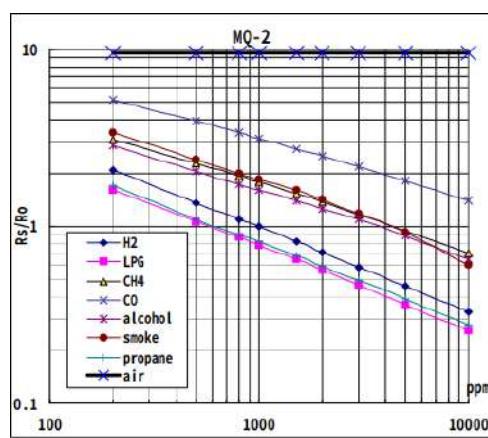


Figura 7 – Gráfico das características de sensibilidade do MQ-2.

Assim, para a concentração especificamente da fumaça é realizada a extração da equação de inclinação da reta. Para isso é considerada a equação 3.3 apresentada a seguir:

$$\log(y) = m \cdot \log(x) + b \quad (3.3)$$

Onde m é o coeficiente angular, b o coeficiente linear, y a razão $Rs/R0$, valor calculados por programação em software, e x a concentração em ppm de fumaça. Os pontos escolhidos, a partir do gráfico, para calcular o coeficiente angular da equação 3.4 foram (200, 3.6) e (10000, 0.6). Assim, obteve-se o seguinte valor para m :

$$\begin{aligned} m &= \log(y/y_0) \cdot \log(x/x_0) \\ &= \log(0.6/3.6) \cdot \log(10000/200) \\ &= -0.451 \end{aligned} \quad (3.4)$$

Já para calcular o coeficiente linear usou-se os valores que intercepta a metade do gráfico que são (5000, 0.9) e os aplicou na equação 3.5 e obteve-se o valor b de:

$$\begin{aligned} b &= \log(y) - m \cdot \log(x) \\ &= \log(0.9) - (-0.451) \cdot \log(5000) \\ &= 1.62 \end{aligned} \quad (3.5)$$

Por fim, reorganizando a equação 3.3 temos:

$$x = 10^{\frac{\log(y)-1.62}{-0.451}}$$

E com isso, a leitura de concentração de fumaça em ppm do sensor MQ-2 é obtida de forma calibrada por meio do sinal analógico.

- **Sensor de Ozônio**

Sendo o ozônio um dos principais componentes da poluição (LARA, 2020), também é importante fazer a detecção deste poluente. Para isso, foi feita a busca de um sensor em um módulo comercial que entrega os dados de forma digital em um protocolo compatível com o microcontrolador proposto pela solução de eletrônica.

Então, o sensor escolhido para realizar a detecção do ozônio no ambiente foi **MQ-131**, este sensor é composto por um tubo de cerâmica de Al_2O_3 , porém tem uma camada de trióxido de tungstênio (WO_3), material que possui menor condutividade em ar limpo, eletrodo de medição e o aquecedor que fornece as condições necessárias para o trabalho de componentes sensíveis.

Ele possui 6 pinos, sendo 4 deles usados para a busca de sinais e 2 para o fornecimento de corrente de aquecimento, porém para realização do projeto foi escolhido o sensor já integrado ao módulo que realiza as devidas conexões com 4 pinos que são o VCC, GND analógico (A0) e digital (D0). Além do ozônio, ele também é sensível ao dicloro, dióxido de nitrogênio, entre outros óxidos fortes (WINSEN, 2014). Sabendo disso, é necessário realizar um ajuste de sensibilidade de acordo com a aplicação, o ajuste é realizado de acordo com o fabricante (ELETRONICS, 2020b).

Características:

- Tensão de operação: 3.3V-5V
- Concentração de detecção: 0,01-1 ppm
- Comunicação: Digital e analógica

A calibração deste sensor é realizada de maneira semelhante ao MQ-2, como ele será utilizado especificamente para detecção de ozônio, a resistência de carga mínima indicada pelo fabricante é de 50KΩ.

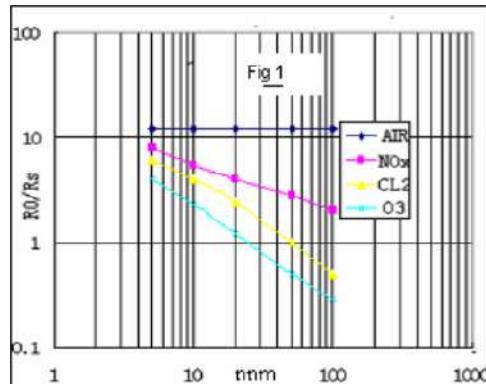


Figura 8 – Gráfico das características de sensibilidade do MQ-131.

Utilizando as equações 3.3, 3.4 e 3.5, apresentadas na análise do sensor MQ-2, e com os dados do gás ozônio visto no gráfico de sensibilidade na figura 8 é encontrada a função de calibração para a leitura analógica da concentração de ozônio em ppm do sensor MQ-131 sendo:

$$x = 10^{\frac{\log(y)-1.34}{-0.88}}$$

- Sensor de Dióxido de Nitrogênio

Para a medição do gás dióxido de nitrogênio utilizaremos o sensor **MICS-6814** que é elaborado com material semicondutor e de acordo com a concentração do

gás a sua resistência aumenta ou diminui (explicação posterior). A estrutura do sensor consiste em um diafragma de precisão micro usinado com um resistor de aquecimento embutido e a camada de detecção na parte superior.

Inclui três chips de sensor com aquecedores independentes e camadas sensíveis, pois há a combinação de análise de efeitos de temperatura, químicos e elétricos. Também tem como principal vantagem a versatilidade de medição de gases, podendo medir até três gases simultaneamente, sendo eles dióxido de nitrogênio, monóxido de carbono e amônia.

A lista abaixo resume as características técnicas do componente:

- Comunicação: Analógica
- Alimentação: 3.3V-5V
- Concentração medida: 0,05 a 10 ppm

Para verificar essa concentração medida, apresenta-se uma resistência de detecção no ar limpo (R_0) que é medida em condições ambientais controladas e o fator de sensibilidade (definido como R_s) a 0,25 ppm para NO₂. Assim, é possível fazer uma análise no gráfico (figura 9) de modo a extrair a concentração em ppm com a razão R_s/R_0 .

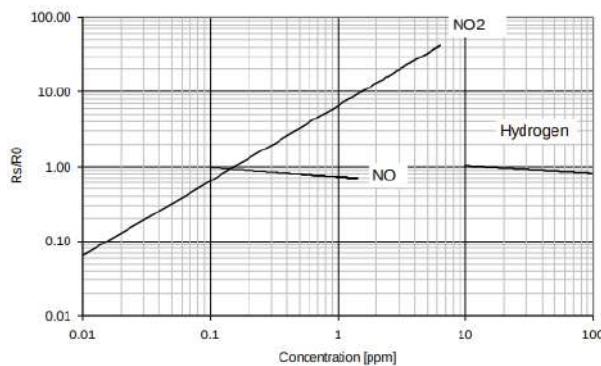


Figura 9 – Gráfico das características de sensibilidade do MICS-6814.

Dessa maneira, utilizando as equações 3.3, 3.4 e 3.5, apresentadas na análise do sensor MQ-2, e com os dados do gás dióxido de nitrogênio visto no gráfico de sensibilidade na figura 9 é encontrada a função de calibração para a leitura analógica da concentração de NO₂ em ppm do sensor MICS-6814 sendo:

$$x = 10^{\frac{\log(y)-0.78}{1.01}}$$

Sua pinagem é referente a alguns gases de medição, sendo eles CO, NO₂, NH₃ (dados analógicos), VCC e GND para alimentação. Portanto, para sua conexão com

o sistema do *Mobile Sensor*, o pino de dados utilizado é somente o de NO₂, que tem sua conexão para uma porta ADC (*Analog-to-Digital Convert*) como também os pinos de 3.3V e GND, totalizando 3 pinos.

3.3.1.2.2 Visualizações e Controle

- **Botão Liga/Desliga**

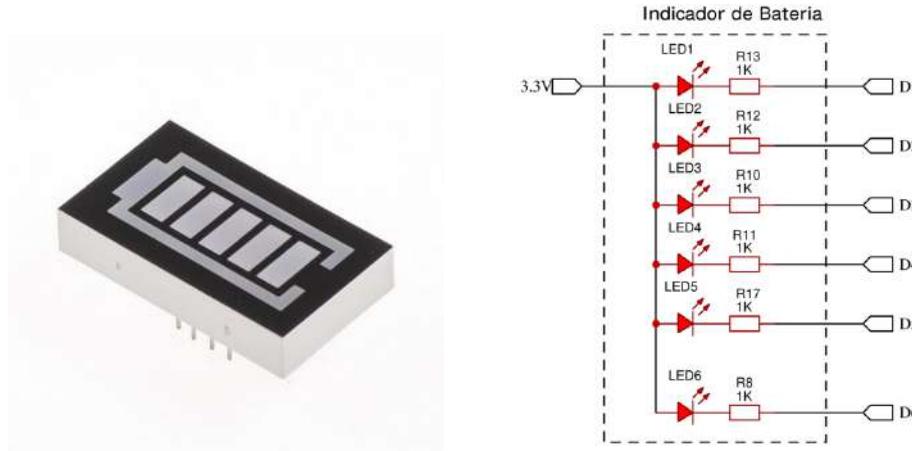
Da mesma forma que o purificador apresenta uma interação manualmente limitada com o usuário, o Mobile Sensor possuirá um botão de ligar e desligar o respectivo dispositivo. Por meio de um botão *push-button* com retenção onde é possível estabelecer um sistema com este painel de controle ao funcionar como um interruptor, abrindo ou fechando circuitos elétricos, pelo qual se interrompe, de forma reversível, a passagem de um sinal no circuito eletrônico do equipamento. Assim, com um toque, pode-se ligar e desligar o aparelho pela lógica de abrir e fechar o circuito por meio do botão. Este modelo foi escolhido devido ao seu ótimo acabamento e fácil conexão ao circuito via cabo flexível que suporta tensões superiores a 5V (máximo valor utilizada nesse sistema) e sua corrente máxima é de 12A.

- **Display LED indicador de bateria**

O dispositivo menor possui bateria própria e independente, portanto para uma melhor visualização do nível de bateria do dispositivo, foi escolhido um medidor de bateria de barra gráfica 5 segmentos - FR50 (Figura 10a). Pois é capaz de medir em tempo real a quantidade de carga total, indicando a quantia de carga existente por meio de uma barra gráfica com leds. Ideal para o uso de baterias de lítio, com tensão máxima de 6.0V.

O indicador de bateria funciona por meio de programação em software implementada ao microcontrolador que trabalha em faixas de sinais analógicos, ou seja, de acordo com a tensão fornecida a entrada, entende-se que há redução ou aumento de tensão ativando ou desativando os LEDs dos barramentos digitais (D1, D2, D3, D4, D5 e D6) apresentados na Figura 10b.

Para essa verificação de tensão, a bateria fornecerá energia ao sistema e também será conectada a uma entrada analógica do microcontrolador. Todavia, a tensão de bateria é de 5V e a tensão de operação do dispositivo é de apenas 3.3V, sendo assim necessário um circuito de redução de tensão de 5V para 3.3V, representado na figura 11, precedendo a alimentação no pino ADC.



(a) Display indicador de bateria. (b) Esquemático do indicador de bateria.

Figura 10 – Display LED indicador de bateria.

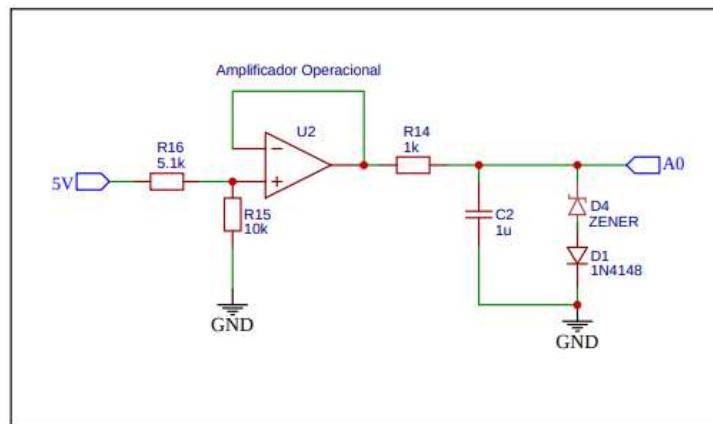


Figura 11 – Circuito redutor de tensão.

O circuito apresenta um divisor de tensão, onde foi escolhido de forma arbitrária o valor de $R_{15} = 10\text{k}\Omega$. Após esse valor determinado, foi calculado o resistor R_{16} com a equação 3.6 sabendo que a tensão de saída desejada é de 3.3V.

$$R_{15} = \left(\frac{R_{16} \cdot 5}{3.3} \right) - R_{16} \quad (3.6)$$

Para que a saída desse divisor de tensão não seja conectada diretamente na porta ADC do microcontrolador, é usado um amplificador operacional com a funcionalidade de casar impedâncias e não ter uma queda de tensão ao realizar essa conexão. Para proteção do circuito, também é conectado um resistor de $1\text{k}\Omega$ (R_{14}) em série com um capacitor de modo que seja implementado um filtro passa baixa que realiza a filtragem de altas frequências. Além disso, o circuito conta com um diodo Zener que garante que a tensão

máxima permitida seja de 3.3V, e o diodo comum em série para que some a tensão e compense a queda que ocorre anteriormente. Com isso a leitura analógica da bateria é feita pelo microcontrolador de forma segura e praticamente sem perdas para a plena indicação de bateria no módulo.

3.3.1.2.3 Ventilação

- **Micro Cooler Ventoinha DC**

Para realizar uma detecção mais efetiva dos poluentes é necessário a aspiração do ar no Mobile Sensor. Com a finalidade de realizar essa ação, é apresentada uma ventoinha para a sucção de ar. O equipamento escolhido é feito de ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), um material leve, e ele será ligado automaticamente com o Mobile Sensor ([ELETROGATE, 2020](#)).

Abaixo são apresentadas as características técnicas do micro cooler:

- Tensão nominal: 5 V/0.2 A
- Tipo de rolamento: Sleeve
- Conector: 2Pin (2.0)

3.3.1.3 Microcontroladores

Microcontroladores são utilizados em diferentes aplicações de controle e automação. Portanto, são um elemento essencial para processamento de informações, conjuntamente aos periféricos abundantes para entradas e saídas de dados com um baixo custo, possibilitando o desenvolvimento de sistemas robustos e escaláveis.

Um microcontrolador consiste em um único circuito integrado que reúne um núcleo de processador, memórias voláteis e não voláteis e diversos periféricos de entrada e de saída de dados. A escolha do microcontrolador adequado ao projeto é de suma importância, visto que será a fonte principal de controle de funcionalidades do produto. Portanto, as especificações do projeto como número de portas a serem utilizadas, tipos de comunicação que são capazes de realizar e a capacidade de controle são pontos a serem atentados para a escolha assertiva deste componente.

Para esse projeto será necessário o uso de dois microcontroladores que sejam capazes de se comunicar e conectar com o dispositivo do usuário via *Wi-Fi*. Também será necessário o controle de sensores com comunicação *I²C*, UART e SPI, processando os dados e os enviando ao banco de dados para ser redirecionado ao usuário.

Após fazer a análise de cada componente necessário para o desenvolvimento da solução de eletrônica, os sensores foram escolhidos após o levantamento de referências sobre

os tipos de gases e partículas que influenciam na poluição do ar e da qualidade do mesmo. Portanto, a escolha do sistema microprocessado foi feita com base nas especificações do projeto.

Diante do levantamento de dados pesquisados, o microcontrolador escolhido para cumprir os requisitos necessários foi a **ESP32**. Seu circuito integrado tem sistema de 2,4 GHz com *Wi-Fi* e *Bluetooth* combinado, além de projetado com baixa potência e com antena embutida. Ele é capaz de receber e enviar dados ao software por meio de um determinado protocolo, e permite também a conectividade com outros dispositivos e constante troca de informações com a rede. É planejado e otimizado para o melhor desempenho de energia, robustez, versatilidade, recursos e confiabilidade, para uma ampla variedade de aplicações como em IoT ([ESP32, 2016](#)).

Outro fator de grande relevância para a escolha desse microcontrolador, foi a quantidade de pinos dispostos na placa sendo 38 pinos que se dividem em 32 como GPIO, e o restante como pinos de Vcc, Enable e GND. Ele suporta 16 canais para ADC de 12 bits e outros 2 canais para a DAC de 8 bits. Quanto a interface de comunicação, a ESP32 possui 3 interfaces SPI, 3 interfaces UART, 2 interfaces I^2C , e suporte para protocolo CAN ([ESP32, 2016](#)). Algumas outras especificações técnicas da placa são:

- Tensão de Operação: 2.5 V - 3.6 V;
- Corrente de Operação: 50 mA;
- Tensão Lógica: 3.3 VDC;
- Taxa de transferência: 110 à 460800 bps;
- Frequência de operação máxima: 240MHz.

Outrossim, foi considerada toda a integração dos componentes com outras áreas do projeto, o custo benefício (na utilização de 2 microcontroladores), o acesso *Wi-Fi* sem utilização de módulo externo e a necessidade de utilizar as interfaces I^2C , UART e SPI e quatro entradas/saídas (ADC).

A alimentação da ESP32 é possível ser realizada através da entrada micro USB ou diretamente nos pinos Vin e GND. Como a solução proposta do projeto é desenvolver um sistema portátil, torna-se inviável o uso da entrada micro USB, portanto a alimentação do sistema micro-controlado será feita por meio dos pinos Vin e GND provinda da bateria de 5V proposta pela solução de energia.

Porém, para a proteção de sobrecorrente no microcontrolador é importante a utilização de um fusível que, se a corrente for drenada ultrapassa o limite de fabricação, a liga interna é rompida fazendo interrupção na passagem de corrente ([ELÉTRICAS et al.,](#)

1992). Sendo assim, não causa danos maiores caso ocorra algum curto-circuito, preservando o bom funcionamento do microcontrolador.

3.3.2 Protocolos de comunicação

3.3.2.1 Protocolos internos

Os protocolos internos são utilizados para comunicação entre os subsistemas e componentes da solução eletrônica.

- I^2C

O protocolo I^2C (*Inter-integrated Circuit*) descreve o funcionamento de um barramento serial de comunicação que é composto por apenas dois fios SDA (*Serial Data Line*) que é utilizado para transferência de dados e o SCL (*Serial Clock Line*) que é responsável por levar o *clock* do dispositivo mestre para os dispositivos escravos, com a função de sincronizar os dispositivos e garantir a confiabilidade do sistema.

Para que haja essa troca de dados com cada escravo, cada dispositivo do barramento é reconhecido por um endereço único. Essa comunicação pode ser bidirecional ou unidirecional, ou seja, de acordo com o dispositivo conectado além do escravo receber dados pode transmitir dados ao mestre também.

Na aplicação proposta este protocolo é usado para a comunicação do dispositivo mestre ESP32 com os dispositivos escravos, que são os sensores de dióxido de enxofre, sensor COV's e sensor de material particulado.

- SPI

O protocolo SPI possui três fios fixos e mais um para cada escravo no sistema, sendo eles o MOSI (*Master Output Slave Input* direciona do mestre para o escravo, MISO (*Master Input Slave Output*) direciona do escravo para o mestre e o SCLK (*Serial Clock*) que é o *clock* serial. Esse protocolo possui os sinais de comunicação com direção fixa e definida, e para que haja o controle de qual escravo está sendo manipulado é utilizado um pino de seleção SS (*Slave Select*) o qual é ativo em nível baixo.

Esse protocolo possui uma vantagem em relação ao I^2C por possuir dois transistores que definem o estado de um pino (*Push-pull*) enquanto o I^2C possuem um mesmo barramento de dados para os sinais de entrada e saída.

Este protocolo é utilizado para comunicar o dispositivo mestre com a tela LCD, por ser compatível com o controlador da tela escolhida.

- UART

O protocolo UART é uma forma de comunicação assíncrona que utiliza dois canais o RX que recebe dados e o TX que envia, portanto é necessário que ambos estejam em uma mesma taxa de transmissão.

O funcionamento dele deve-se a partir da inversão dos canais nos dispositivos de formas distintas, ou seja, TX se conecta com RX e RX com o TX em dispositivos diferentes. Para que haja transmissão de informações é enviado um bit de início seguido por 5 a 9 bits de informação, um bit de paridade e um a dois bits de finalização de transmissão. Esse protocolo será utilizado para conectar o sensor DGS-SO2 com a ESP32.

- **ESP-NOW**

O protocolo ESP-NOW funciona com um protocolo de comunicação sem fio de baixa potência, sem Wi-Fi que necessita de pareamento inicial, porém a conexão é persistente após pareamento. Este protocolo tem modos de Mestre/Escravo em que os dispositivos podem se tornar mestre e escravo ao mesmo tempo interagindo entre si, podendo responder ambos os comandos enviados de uma ESP para outra. Essa interação é possível por meio de uma biblioteca desenvolvida para estabelecer essa comunicação ([ESPRESSIF, 2021](#)).

Nesta aplicação, o protocolo especificado é utilizado para realizar a conexão entre a ESP32 do purificador e a do *Mobile Sensor*, a fim de ter uma concentração de informações em apenas um sistema embarcado (sendo esse o do purificador) facilitando o envio de dados para o aplicativo mobile.

3.3.2.2 Protocolos externos

Os protocolos externos são utilizados para comunicação entre o sistema de controle e alimentação do dispositivo com o *backend* da solução de software, esse é melhor detalhado na seção [3.7](#).

- **HTTP**

O protocolo HTTP é um protocolo que permite a obtenção de recursos, sendo baseado na troca de dados do sistema embarcado para o *backend*, nesta aplicação, é um protocolo cliente-servidor. Sendo, dessa forma, uma comunicação unidirecional feita do sistema embarcado para o *backend*.

- **MQTT**

O MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) é um protocolo para máquina com foco em IoT (*Internet of Things*). Esse sistema se baseia na comunicação entre cliente e servidor, portanto para a comunicação do microcontrolador 1 foi escolhido esse tipo de protocolo para que haja a comunicação com o aplicativo, sendo o cliente

corresponde ao aplicativo e o servidor a ESP32. Dessa forma é possível realizar requisições do *backend* para ações na máquina, como o controle do purificador.

3.3.3 Diagramas Esquemáticos da Conexão dos Sistemas

Os diagramas esquemáticos da conexão entre os componentes dos sistemas da solução eletrônica, sendo esses o purificador e o *Mobile Sensor*, se encontram detalhados nos Esquemáticos Eletrônicos no apêndice [F.0.1].

3.3.4 Arquitetura de Eletrônica

No diagrama lógico da arquitetura geral da eletrônica na Figura 12, tem-se a integração do sistema de controle do Purificador com o sistema de acionamento dos atuadores e com *Mobile Sensor*, além da integração com alimentação necessária para cada componente por meio de baterias e também com o aplicativo mobile.

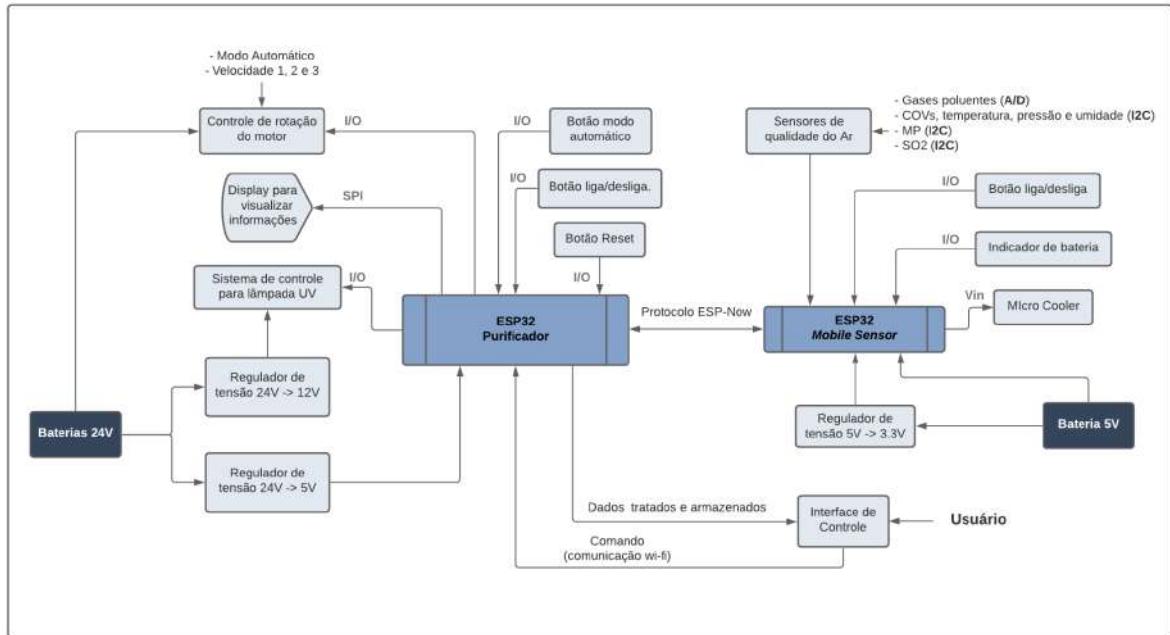


Figura 12 – Arquitetura de Eletrônica

3.3.5 Plano de Construção

Para construção dos subsistemas da eletrônica foi desenvolvido considerando os esquemáticos descrição na seção 3.3.3. A partir desses esquemáticos pode ser elaborado as placas de circuito impresso (PCI), que serve como base para conexão de todos subsistemas e seus componentes da área eletrônica. Para o projeto das PCI foi utilizado o software EasyEDA e selecionado placas de camada dupla. A largura da trilha foi determinada

de acordo com a corrente máxima que irá percorrer no circuito, ela também depende da espessura do cobre sobre a placa que foi considerado de 2 oz (onça), também houve a preocupação em usar angulações de 45 e 60 graus para as vias roteadas em todos os layouts (LIMA, 2010).

Além do mais, para não existir a inversão da conexão dos pinos conectados, foram escolhidos conectores KK e colocado uma legenda em cada PCI para os conectores. As figuras no apêndice G mostram os layouts para as placas fabricadas. Em todos os casos foram utilizadas zonas preenchidas de Ground (GND) na camada de cobre.

3.3.5.1 Potência

A PCI da potência do Purificador, representada no apêndice G figura 85, foi criada para separar a parte de potência que apresenta uma maior tensão e corrente referente ao motor DC e lâmpada UV da parte que será conectada com o sistema de controle do Purificador (que apresenta uma potência menor). Assim, na parte superior é conectado:

- Fonte de alimentação 24V/5A: Conector Borne 2 pinos (positivo e negativo);
- Fonte de alimentação 12V/0.1A: Conector Borne 2 pinos (positivo e negativo);
- Motor DC: Conector Borne 2 pinos (positivo e negativo);
- Lâmpada UV: conector KK de 2 pinos macho/macho;
- Conexão com a PCI do purificador: 2 cabos conectores KK de 2 pinos macho/macho.

3.3.5.2 Sistema de controle

3.3.5.2.1 Purificador

A PCI da potência do Purificador, Figura 85, foi criada para separar a parte de potência que apresenta uma maior tensão e corrente referente ao motor DC e lâmpada UV da parte que será conectada com o sistema de controle do Purificador (que apresenta uma potência menor). Dessa forma, é possível ter uma segurança entre as conexões dessas duas partes de diferentes potências, em vez de ser apenas uma PCI integrada com esses dois circuitos. Assim, na parte superior é conectado:

- Fonte de alimentação 5V/8A: Cabo com conector KK de 2 pinos fêmea/fêmea;
- LCD 240x320: Cabo com conector KK de 9 pinos fêmea/fêmea;
- Botões: 3 Cabos com conector KK de 2 pinos macho/macho;
- Conexão com a PCI de potência: 2 cabos conectores KK de 2 pinos macho/macho que será conectado no conector com legenda de lâmpada e motor DC nessa PCI.

3.3.5.2.2 Mobile Sensor

Para a PCI desse sistema, figura 87, foi criada para associação do microcontrolador ESP32 (com seus respectivos GPIO) e demais componentes para o controle e visualização deste equipamento. Na parte superior é conectado:

- Fonte de alimentação 5V/0.4A: Cabo com conector KK de 2 pinos macho/macho;
- Botão interruptor: Cabo com conector KK de 2 pinos macho/macho;
- Micro-cooler: Cabo com conector KK de 2 pinos macho/macho;
- Sensor BME680 (VOCs, temperatura, pressão e umidade): Cabo com conector KK de 4 pinos macho/fêmea;
- Sensor MQ-2 (fumaça): Cabo com conector KK de 3 pinos;
- Sensor MQ-131 (ozônio): Cabo com conector KK de 3 pinos;
- Sensor DSG-SO2 (dióxido de enxofre): Cabo com conector KK de 4 pinos;
- Sensor PMSA003I (MP2.5 e MP10): Cabo com conector KK de 4 pinos;
- Sensor MICS-6814 (dióxido de nitrogênio): Cabo com conector KK de 3 pinos;
- Indicador de bateria: Cabo com conector KK de 8 pinos fêmea/macho.

3.4 Solução de Energia

A solução energética deste produto abrange a alimentação dos dois equipamentos. Para o purificador será necessária uma fonte de alimentação principal, um sistema de ventilação com um motor DC, um sistema de filtragem, uma lâmpada UV e bateria. Para o *Mobile Sensor* é necessário uma fonte de alimentação e uma bateria que fornecerá energia aos equipamentos eletrônicos, enquanto este não estiver conectado à rede elétrica. Esta solução visa a alimentação adequada de todo o sistema, eficiência energética e qualidade no sistema de filtragem. A configuração da solução do sistema proposto está representada no diagrama de blocos na figura 13.

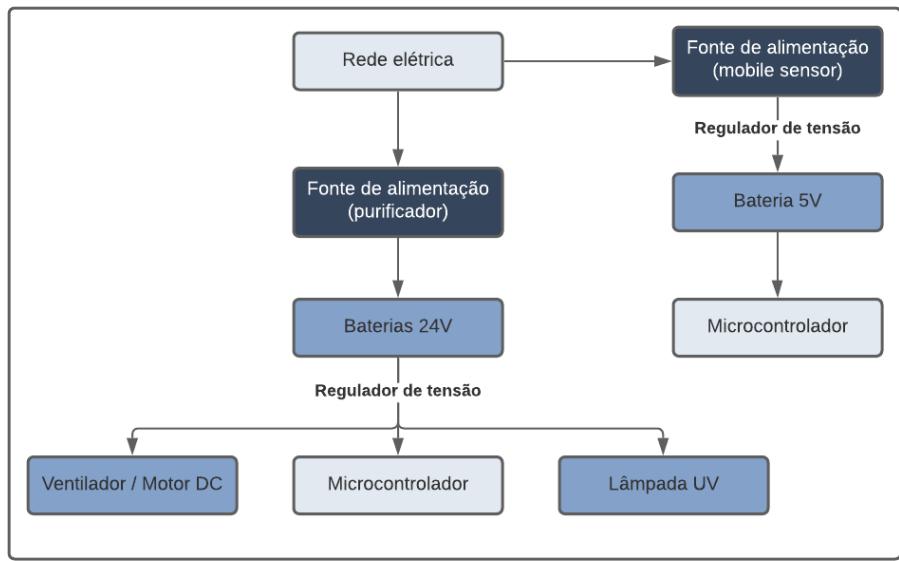


Figura 13 – Diagrama de distribuição de energia

No purificador, serão utilizados dois modos de operação para o fornecimento de energia: no primeiro, a carga será fornecida ao equipamento por meio da fonte de alimentação principal, enquanto houver energia elétrica na rede. Para o segundo modo, haverá uma fonte secundária de energia, a bateria, que será acionada quando o equipamento estiver desconectado da rede elétrica. Isso oferece o uso do equipamento sem fio de conexões, facilitando sua mobilidade, além de assegurar que o aparelho não fique sem energia em caso de falha na rede.

No *Mobile Sensor* também serão utilizadas duas fontes de alimentação, neste caso o carregador será a fonte secundária e a bateria será a principal. Essa bateria também será utilizada quando não houver energia elétrica proveniente da rede para alimentar a fonte de alimentação secundária que recebe energia diretamente da rede.

3.4.1 Fundamentos de Partículas

As partículas, o material do filtro e suas interações são de suma importância no funcionamento do sistema de filtração do purificador de ar (XU, 2014). Para um melhor desenvolvimento desse sistema, foi realizado um estudo com base na literatura sobre as partículas, seus tamanhos e seus estados não estacionários e estacionários, e como este último influencia na eficiência de filtragem e no sistema de ventilação forçada.

O tamanho de uma partícula viral é medido em micrôn, uma unidade métrica que é equivalente a 1000 nanômetros. O conhecimento deste tamanho determina como os indivíduos podem se proteger de diversas doenças respiratórias causadas pelos aerodispersóides, que podem ser definidos como uma dispersão dessas partículas sólidas ou líquidas

no ar. Segundo Schneider et al. (2011), as propriedades físicas dos aerodispersóides são classificados em:

- **Fumos:** partículas sólidas de origem orgânica que são encontradas em dimensões entre 0,01 a 0,3 μm ;
- **Poeiras:** partículas sólidas geradas mecanicamente por manuseio, moagem, raspagem, esmerilhamento, etc. As poeiras com partículas entre 0,5 a 10 μm são as mais perigosas;
- **Organismos vivos:** bactérias em suspensão no ar com dimensões de 0,001 a 15 μm .

Tendo em vista tais informações, foi feita a seleção dos filtros necessários para o purificador de ar de acordo com as especificações do projeto.

3.4.2 Sistema de Filtragem

A eficácia do sistema de filtragem está intrinsecamente relacionada com o tamanho das partículas que podem atravessá-lo. O ideal seria um filtro com passagem de ar nanométrica para que o ar fosse completamente filtrado, porém se o filtro possuir dimensões reduzidas, pode ocorrer comprometimento da filtragem, visto que começará a ser obstruído muito rapidamente levando a uma redução do fluxo de ar. A velocidade do ar também se torna crítica com o tamanho reduzido, fazendo com que as partículas de impureza consigam atravessar a tela de filtragem ao invés de serem retidas na mesma.

Portanto, para escolher o sistema de filtragem foi realizado um estudo levando em consideração a vazão mínima de ar necessária para prover a renovação de ar exterior e a classe mínima de filtragem requerida para a aplicação (residências e escritórios de alta densidade) segundo a norma ABNT (2008). Além disso, considerou-se as características dos poluentes que se pretende reter, as propriedades e classificações dos diversos filtros presentes no mercado, potência elétrica máxima e a área útil de difusão de ar.

Para efetuar os cálculos de vazão de ar necessária para renovação artificial de ar, serão utilizados os dados da tabela de vazão eficaz mínima de ar exterior para ventilação presente na norma ABNT (2008). Leva-se em conta a densidade de pessoas por m^2 e a área útil do sistema de purificação previamente definidas nos requisitos do projeto. O local escolhido será um escritório com alta densidade e nível 3 (máximo) de purificação.

- Densidade de pessoas: 0.3 pessoas/ m^2
- Área útil: 75 m^2

- Número máximo de pessoas: $0,3 \text{ pessoas/m}^2 \times 75\text{m}^2 \simeq 23 \text{ pessoas}$

Para ser calculado a vazão eficaz de purificação é necessário considerar a soma da vazão relacionada à quantidade de pessoas de acordo juntamente com a área ocupada e a vazão por essa área, de acordo com a equação 3.7.

$$V_{ef} = P'_z \cdot F_p + A'_z \cdot F_a \quad (3.7)$$

Em que:

V_{ef} é a vazão eficaz de ar exterior, expressa em litros por segundos (L/s);

F_p é a vazão por pessoa, expressa em litros por segundos (L/s*pessoa);

F_a é a vazão por área útil ocupada (L/s*m^2);

P_z é o número máximo de pessoas na zona de ventilação;

A_z é a área útil ocupada pelas pessoas, expressa em metros quadrados (m^2).

Utilizando a equação 3.8 juntamente com resultado obtido na equação anterior, tem-se o seguinte valor eficaz:

$$\begin{aligned} V_{ef} &= 23 \cdot 3,8 + 75 \cdot 0,5 \\ &= 124,9 \text{ L/s} \end{aligned} \quad (3.8)$$

A vazão a ser suprida na zona de ventilação é dada pela equação 3.9:

$$V_z = \frac{V_{ef}}{E_z} \quad (3.9)$$

Onde,

V_z é a vazão de ar exterior a ser suprida na zona de ventilação;

E_z é a eficiência da distribuição de ar na zona.

Logo,

$$\begin{aligned} V_z &= \frac{124,9}{1} \\ &= 125 \text{ L/s} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Para calcular a velocidade do ar de face dos filtros, consideramos que a vazão volumétrica é de $0,125m^3/s$ e portanto a velocidade de saída será obtida pela equação 3.11

$$\begin{aligned} V_{saída} &= \frac{Vazão}{Área} \\ &= \frac{0,125m^3/s}{0,051584m^2} \\ &= 2,42m/s \end{aligned} \quad (3.11)$$

Assim, os resultados preliminares mostraram a necessidade de uma vazão de ar mínima de $0,125 m^3/s$ e a necessidade de aplicação de pré-filtro e filtro classe G3 e F8, conforme a tabela de classificações dos filtros presente no apêndice E, de forma a suprir a norma ABNT (2008). Sendo representado, portanto, o sistema de filtragem na figura 14.

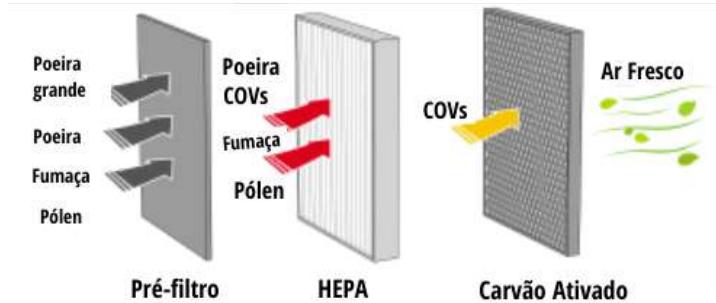


Figura 14 – Etapas de Filtragem

3.4.2.1 Pré-filtro

O pré-filtro é responsável pela captura das partículas maiores antes que cheguem ao filtro principal específico para a aplicação que se deseja. A maioria das partículas presentes no ar são partículas grandes como poeira e pelos de animais (GUPTA et al., 2019). Dessa forma, ainda que o filtro principal tenha uma grande área superficial, ele pode encher rapidamente se partículas maiores não forem pré-filtradas, reduzindo assim a sua durabilidade e eficácia.

Desta forma, será utilizado um filtro grosso classificação G4 estando ainda de acordo com a necessidade estabelecida no último parágrafo da seção anterior. Essa decisão se dá considerando a maior de retenção gravimétrica deste filtro e uma perda de carga semelhante quando comparada à filtros de classificação G3.

- Raio: 10,5 cm;
- Altura: 22cm;

- Perda de carga final: 250 Pa;
- Vazão volumétrica mínima: $0,125m^3/h$.
- Velocidade = $\frac{Vazão}{Área} = \frac{0,125}{0,2126} = 0,588m/s$

3.4.2.2 Filtro absoluto (HEPA)

Para se atingir o grau de purificação definido tanto na norma [ABNT \(2008\)](#) quanto nos requisitos do projeto, ou seja, retenção de até 99% de partículas com $0,4\text{ }\mu\text{m}$, julgou-se necessário o uso de um filtro absoluto. Dessa forma, para este projeto foi selecionado um filtro HEPA classe H13 que oferece uma eficiência mínima de 99,95%, segundo a norma EN 1822:2009, para partículas de $0,4\text{ }\mu\text{m}$.

À vista disso, a eficiência do filtro selecionado é considerada suficiente, visto que a utilização de um filtro HEPA classe H13 é recomendado para salas limpas, conforme observado em [ANVISA \(2013\)](#). Atenta-se ao fato de que a recomendação de utilização para salas limpas está além do escopo definido para o desenvolvimento do produto, ratificando a capacidade do filtro selecionado de suprir os requisitos aqui elucidados ([SPARKS; CHASE, 2016](#)). Os cálculos correspondentes aos filtros encontram-se no apêndice [E](#).

- Raio: 10cm;
- Altura: 22cm;
- Perda de carga final: 450 Pa;
- Vazão volumétrica mínima: $0,125m^3/h$;
- Velocidade = $\frac{Vazão}{Área} = \frac{0,125}{3,1} = 0,040m/s$.

3.4.2.3 Filtro de Carbono Ativado

O objetivo principal do filtro de carvão ativado é filtrar gases e compostos orgânicos voláteis liberados de produtos domésticos comuns, contribuindo para a remoção de odores no ar. No entanto, eles são capazes de remover partículas finas com até 80% de eficiência, porém, no projeto em questão sua aplicação será voltada apenas para adsorção e qualquer adsorção de partícula é consequência deste.

- Raio: 8,5cm;
- Altura: 22cm;
- Perda de carga final: 200 Pa;
- Vazão volumétrica mínima: $0,125\text{ }m^3/h$.

- Velocidade = $\frac{V_{az\ddot{a}o}}{\text{Área}} = \frac{0,125}{0,141} = 0,886 \text{ m/s}$

3.4.3 Sistema de Ventilação Forçada

De acordo com (TAGLIAFERRO, 2012), para o dimensionamento preliminar do sistema de ventilação é necessário utilizar a equação de energia dos fluidos reais:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + H_M = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + H_{p1,2} \quad (3.12)$$

Em que:

p = Pressão no fluido;

$\gamma = \rho g$ = Peso específico de fluído;

v = Velocidade do fluído;

g = Gravidade;

Z = Altura;

H = Energia por unidade de massa em fluxo.

Considerando as pressões iguais tem-se que:

$$\begin{aligned} H_{motor} &= H_2 + H_{p1,2} - H_1 \\ &= 0,29 + 86,88 - 0,017 \\ &= 87,16 \text{ m} \end{aligned} \quad (3.13)$$

$$\begin{aligned} H_1 &= \frac{V_1^2}{2g} + z_1 \\ &= \frac{0,58^2}{2 \cdot 9,8} + 0,2 \\ &= 0,017 \text{ m} \end{aligned} \quad (3.14)$$

$$\begin{aligned} H_2 &= \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \\ &= \frac{2,42^2}{2 \cdot 9,8} + 0,54 \\ &= 0,29 \text{ m} \end{aligned} \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned}
 H_{p1,2(motor)} &= \frac{\delta P}{y} \\
 &= \frac{900}{1,057 \cdot 9,8} \\
 &= 86,88m
 \end{aligned} \tag{3.16}$$

$$\begin{aligned}
 N_b &= \frac{y Q H_b}{n B} \\
 &= \frac{1,0579,8 \cdot 0,125 \cdot 87,16}{0,9} \\
 &= 125,40W
 \end{aligned} \tag{3.17}$$

$$H_B = 126W \text{ (Potência do motor)} \tag{3.18}$$

Foi desconsiderado, nesta etapa, as perdas de cargas devido efeitos viscosos com as paredes dos dutos, os efeitos de compressibilidade e os efeitos de trocar de calor, com o intuito de simplificar a análise. Foram considerados como entradas para o cálculo os seguintes parâmetros: a vazão volumétrica mínima de ar calculada para o projeto, a área preliminar de face dos filtros, a área preliminar do bocal de exaustão, os parâmetros atmosféricos de Brasília na temperatura média máxima de 37,9 °C e as perdas de cargas finais dos três filtros. O resultado obtido foi uma potência mínima disponível de 89 W.

Pela geometria do produto em desenvolvimento, optou-se pela aplicação do ventilador centrífugo de sucção com pás curvadas. O modelo escolhido foi o LWBD220-C0 da *LONGWELL*. A Figura 15 ilustra o ventilador utilizado no projeto. Ele possui um motor de corrente contínua sem escovas, a escolha desse se deve à maior eficiência, menor peso, baixa emissão de calor e de ruídos além da maior vida útil quando comparado ao seu equivalente com escovas.

3.4.3.1 Motor DC

Um outro fator importante na escolha do motor é o IP (*Index Protection*), uma classificação que mede a capacidade do motor de resistir à entrada de poeira e água. Entretanto, para o projeto foi feita a escolha de utilizar a integração do motor e ventilador dada pelo fabricante, visto que o baixo custo, a otimização de espaço do purificador, a economia de energia e a facilidade de operação são fatores determinantes para o pleno funcionamento do sistema.

Outro fator que influencia a escolha do motor era a intensidade do ruído que produzia. Padrões aceitos para o tempo de exposição permitido recomendado para ruído médio ponderado de tempo contínuo, de acordo com NIOSH e CDC, 2002. Para cada 3 dBAs acima de 85dBA, o tempo de exposição permitido antes que um possível dano possa ocorrer é reduzido pela metade. Assim, um motor na figura 15 desse valor foi necessário.

- Voltagem: 24 V;
- Potência máxima: 100 W;
- Velocidade: 3100 RPM;
- Fluxo máximo de ar: $910\ m^3/h$;
- Pressão de Ar: 520 Pa;
- Eficiência nominal: $82 \sim 90\%$;
- IP: 44;
- Ruído: 73 dBA.



Figura 15 – Motor e Ventilador.

3.4.4 Lâmpada UV

O processo de esterilização é uma etapa importante na purificação do ar. Os micro-organismos devem ficar presos nos filtros de ar e se não forem tratados podem se multiplicar. A lâmpada UV é eficaz na destruição de germes e bactérias, os raios ultravioletas são responsáveis pela redução do crescimento desses micro-organismos no filtro do purificador. Dessa forma, foi escolhida a lâmpada germicida de luz UV, devido a incapacidade de reprodução de vírus bactérias e protozoários quando expostos a essa luz.

3.4.5 Sistema de Alimentação

3.4.5.1 Purificador

3.4.5.1.1 Carregador

A fonte de alimentação principal do purificador foi dimensionada para fornecer energia para o conjunto de componentes responsáveis pelo funcionamento do equipamento. Dessa forma, foi necessário um transformador abaixador de tensão da rede de 220V para 24V, uma ponte retificadora para transformar a corrente alternada para a corrente contínua e um capacitor que fez a filtragem da corrente contínua. Ademais, foi preciso um módulo controlador de carga inteligente para a bateria de lítio TP4056, assim será possível carregar a bateria que alimentará o microcontrolador de uma forma segura.

A fim de fazer a integração destes componentes e obter o sistema de alimentação de forma prática, foi construída uma PCI, onde sua vista superior e inferior se encontram na figura 88 no apêndice G.0.2. Na parte superior da placa tem-se os seguintes componentes conectados:

- Fonte de alimentação 2 x 24V/5Ah;
- Transformador 220 Vac para 24Vac;
- Ponte Retificadora de onda completa;
- Módulo controlador de carga inteligente para bateria de lítio TP4056;

3.4.5.1.2 Bateria

A fonte de alimentação é um mecanismo que converte a energia elétrica em tensão, corrente e frequência necessárias para o equipamento funcionar. Assim, com a finalidade de atender a demanda energética do projeto, o purificador contará com duas baterias de íon de lítio recarregáveis, que serão fundamentais no sistema de energização do aparelho. Os fatores que motivaram essa escolha foram os seguintes:

- Carregamento rápido;
- Durabilidade;
- Intensidade de carga;
- Nenhuma descarga periódica.

Além disso, as baterias de íon-lítio causam menos danos ao meio ambiente quando descartadas, em comparação as baterias de chumbo-ácido e à base de cádmio. Sendo assim, a fonte de alimentação sugerida para o produto principal será conectada à rede elétrica e irá fornecer uma saída CC regulada igual a 24V. Será utilizado também um regulador de carga para os componentes que exigirem tensão específica. Não será necessário um inversor de corrente, visto que o sistema elétrico não possui demanda de corrente alternada.

Houve também a necessidade de um sistema de monitoramento de energia que é responsável por acompanhar o funcionamento do sistema de alimentação. Ele é um leitor de tensão contínua que entregue pelo sistema de alimentação geral e pode proteger o sistema central e seus componentes. Desta forma, a tabela 7 especifica o levantamento prévio da carga dos sistemas.

Tabela 7 – Levantamento prévio da carga do Purificador

Componente	Qnt.	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)
Display LCD	1	3.3	0.15	0.495
Botão Membrana Matricial	1	3.3	0.04	0.132
ESP32	1	3.3	0.05	0.165
Ventilador e Motor DC	1	24	4,2	100
Lâmpada UV	1	12	0,1	1.2
Total				102

3.4.5.2 Mobile Sensor

3.4.5.2.1 Carregador

O carregador foi dimensionado para fornecer energia para a bateria do *Mobile Sensor*. Foi decidido fabricar a fonte de alimentação do equipamento, então será necessário ter um transformador abaixador de tensão da rede de 220V para 5V, uma ponte retificadora para transformar a corrente alternada para a corrente contínua e de um capacitor que servirá de filtragem da corrente continua. Ademais, será preciso ter um regulador de tensão *step-down* para poder fornecer tensão de corrente contínua de 5V e um módulo controlador de carga inteligente para bateria de lítio TP4056, assim será possível carregar a bateria que alimentará o microcontrolador de uma forma segura.

Assim, uma PCI do sistema da alimentação do *Mobile Sensor*, figura 89 no apêndice G.0.2, foi elaborada para a associação dos componentes deste equipamento. Na parte superior da placa tem-se os seguintes componentes conectados:

- Fonte de alimentação 5V/0.4A;
- Transformador 220 Vac para 9Vac;
- Ponte Retificadora de onda completa;

- Módulo controlador de carga inteligente para bateria de lítio TP4056;
- Relé W172DIP-141;
- Regulador de tensão de 9Vcc para 5Vcc;

3.4.5.2.2 Bateria

Em relação a alimentação do *Mobile Sensor*, será utilizado uma fonte de alimentação capaz de atender os sensores presentes no equipamento. Para isso foi escolhido uma bateria de lítio de 5 V que será recarregável. Os fatores que motivaram a escolha desse componente foram a capacidade de duração da carga, o baixo consumo de energia e o tamanho do produto. Desta forma, a tabela 8 especifica o levantamento prévio da carga dos sistemas.

Tabela 8 – Levantamento prévio da carga do Mobile Sensor

Componente	Qnt.	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)
ESP32	1	3.3	0.05	0.165
Indicador de Bateria	1	5	0.08	0.4
Micro Cooler Ventoinha	1	5	0.2	1
Sensor PMSA003I	1	3.3	0.1	0.33
Sensor BME680	1	3.3	0.012	0.0396
Sensor de SO ₂	1	5	0.004	0.0132
Sensor MQ-131	1	5	0.16	0.8
Sensor de MQ-2	1	5	0.18	≤ 0.9
Sensor NO ₂	1	3.3	0.032	0.106
Total				3.7538

3.5 Análises Fluidodinâmica Computacionais

Com o objetivo de estudar o comportamento do fluido de trabalho no interior do dispositivo e nas vizinhanças além de adquirir as magnitudes de estado do fluido em regiões de interesses, foram realizadas análises fluidodinâmicas numéricas através do método dos volumes infinitos com auxílio do software *Ansys Fluent*.

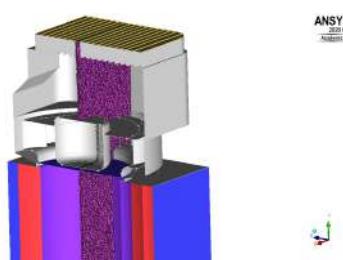
Em todas as análises a confecção da geometria e discretização dos sistemas de interesse foram realizadas, respectivamente, nos softwares *Space Claim* e *ICEM CFD* também de domínio da plataforma *Ansys Workbench*.

As malhas do domínio de todos os sistemas são confeccionadas com elementos triangulares e tetraédricos, e pela não necessidade da análise da camada limite, não foram realizados refinamentos próximos as paredes. Estas podem ser visualizadas nas figuras 16 e 17, os parâmetros de qualidade de interesses são citados na tabela 9, sendo estes para as malhas mais refinadas obtidas após estudo de convergência.



(a) Malha das faces externas

(b) Malha das faces internas



(c) Malha do volume interno

Figura 16 – Malha do domínio de controle interno do purificador. Autoria própria.



(a) Malha das faces externas

(b) Malha das faces internas

Figura 17 – Malha do domínio de controle interno da sala de 75m³. Autoria própria.

Tabela 9 – Parâmetros de qualidade das malhas

Parâmetros	Malha purificador	Malha sala
Qnt. de elementos	2750429	4877186
Qualidade mínima	0.30 (0.2%)*	0.16 (0.103%)*
Menor razão de aspecto	0.40 (0.233%)*	0.10 (0.075%)
Ângulo máximo	108° (0.023%)*	144° (0.029%)*

*Percentual de elementos com a magnitude de interesse

3.5.1 Escoamento no interior do purificador

Nesta análise focou-se na resolução das perdas de carga por contribuição dos meios de filtragem, na verificação da capacidade do sistema de potência em prover circulação de ar quando os filtros atingirem a perda de carga máxima, na aquisição das velocidades do escoamento em regiões de interesses além da obtenção das linhas de correntes, dos gradientes de pressão e dos gradientes de velocidade do escamento afim de verificar o comportamento e o nível de pertubação do ar no interior, e assim pautar a necessidade de sistema de estabilização e de difusão de fluxo.

Todas as análises foram realizadas considerando efeitos de viscosidade por meio do modelo de uma equação Spalart-Allmaras. A equação de energia e trocas térmicas foram desconsideradas.

3.5.1.1 Discretização

Nesta análise as paredes internas, a seção transversal do ventilador, os filtros, os bocais de entrada e o bocal de exaustão foram modelados (segundo as classificações de condições de contorno presente no Ansys Fluent) como, *wall*, *fan*, *porous-jump*, *pressure inlet* e *mass-flow-outlet*, respectivamente, vide figura 18.

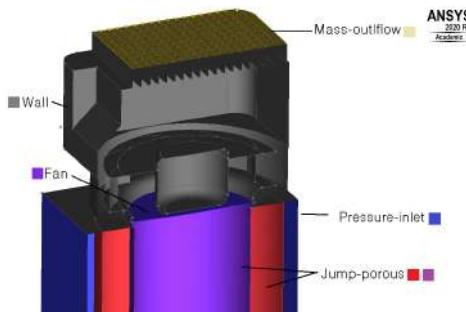


Figura 18 – Discretização do domínio do purificador. Autoria própria.

Para este ponto de controle, o ventilador é modelado como estático e a sua contribuição para o escoamento interno é aproximado por um salto de pressão e por uma componente de velocidade tangencial bidimensional acrescentado ao escoamento no momento

que este perpassa uma interface definida na seção de entrada do ventilador centrifugo, vide figura 18. Os valores de entradas são o acréscimo de pressão para o fluxo volumétrico requerido calculado na seção 3.4.2 e a velocidade tangencial, todos estes obtidos junto ao fabricante do ventilador.

Ademais, os filtros também são definidos como salto de pressão unidimensional. Tais aproximações são justificadas pelo menor custo computacional exigido, pela dificuldade de discretizar um domínio poroso com poros na ordem de 10E-3 metros além de apresentar maior robustez e melhor convergência de resultados ([FLUENT, 2011](#)).

A região de entrada, modelada como pressão de entrada, possui como parâmetros de entrada a pressão atmosférica padrão (101325 Pascal). A região de saída, modelada como fluxo máximo de saída, tem como parâmetros de entradas a pressão atmosférica padrão e o fluxo máximo normal a face calculada na seção 3.4.2.

3.5.1.2 Resultados

Por meio do gradiente de pressão, figura 19, observa-se que há uma diferença de pressão manométrica entre o interior e o exterior no sistema de filtragem, sendo assim, possível averiguar numericamente, que o sistema de ventilação nas condições de fluxo e salto de pressão colocadas, fornece trabalho suficiente para opor às resistências ao escoamento imposta pelo sistema de filtragem.

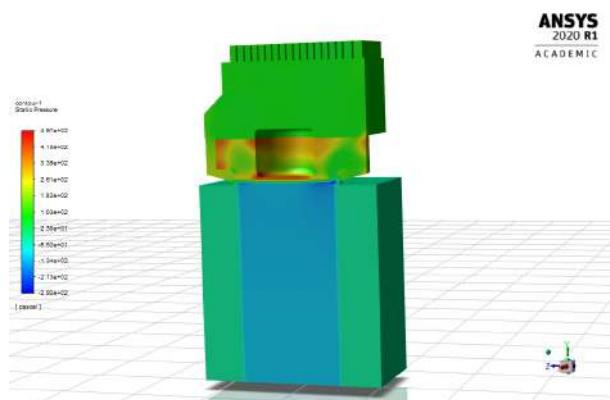


Figura 19 – Gradiente de pressão no plano de simetria do purificador

Por meio das análise das linhas de correntes no interior do dispositivo, figura 20, e do gradiente de velocidade no plano de simetria, figura 21 observa-se uma perturbação acentuada após a exaustão de ar do ventilador e uma distribuição desigual de fluxo de ar no bocal de exaustão, havendo uma concentração de escoamento próximo às paredes internas do dispositivos. Assim, para possibilitar uma exaustão de ar mais uniforme, torna-se necessário um sistema passivo de estabilização e distribuição de fluxo a ser concebido, implementado e estudado no terceiro ponto de controle deste projeto.

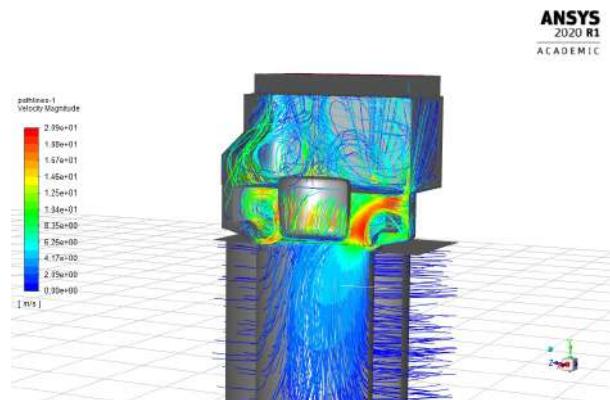


Figura 20 – Linhas de corrente no domínio interno do purificador. Autoria própria.

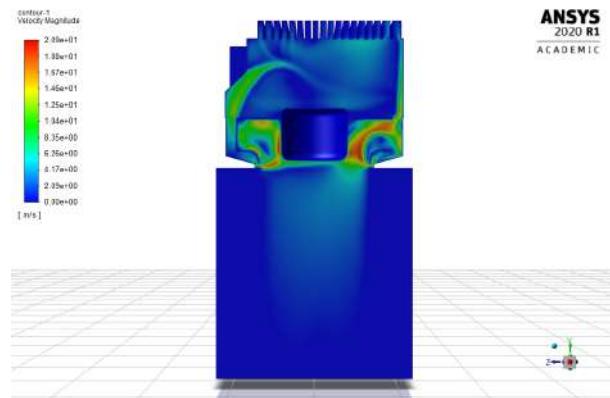


Figura 21 – Gradiente de velocidade no plano de simetria do purificador. Autoria própria.

3.5.2 Escoamento no interior de uma sala

Para se ter conhecimento da dinâmica de difusão do ar exaurido pelo purificador em uma sala fechada de área igual à área útil máxima requisitada pelo projeto, realizou-se uma análise numérica.

3.5.2.1 Discretização

Nesta análise foram incluídas no sistema as paredes das salas e as superfícies, entradas e saídas de ar do purificador, vide 22. Ambas, saídas e entradas de ar, foram modeladas como fluxo mássico de ar de magnitude igual aquela calculada na seção 3.4.2, que corresponde ao fluxo volumétrico necessário para prover renovação artificial de ar que garanta benefícios à saúde segundo a norma (ABNT, 2008) multiplicado pela densidade do ar padrão ao nível do mar (1.225 kg/m^3).

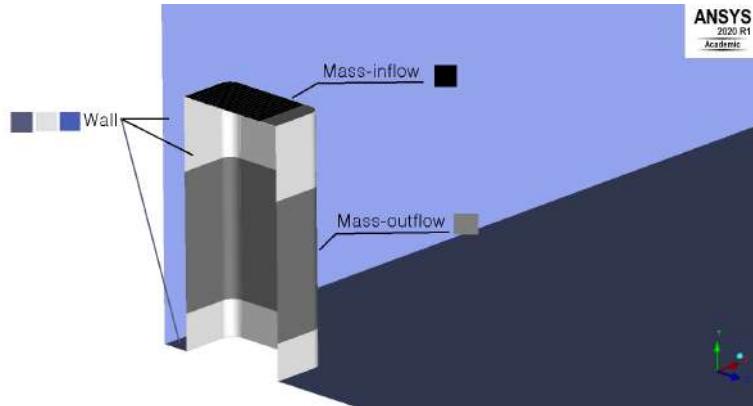


Figura 22 – Discretização do domínio da sala. Autoria própria.

A direção do escoamento na entrada de ar foi modelada normal a superfície e à 60 graus de em relação superfície (máxima angulação possível na grelha de saída) para avaliar a difusão em ambos os casos.

3.5.2.2 Resultados

Observando as linhas de corrente para as duas direções de exaustão normal e à 60° de inclinação em relação ao plano de saída, figuras 23 e 24 respectivamente, é possível notar que o fluxo de ar direto atinge quase que a totalidade da sala para o fluxo mássico especificado, entretendo, este é apenas uma porcentagem de fluxo volumétrico disponível pelo sistema de potência, sendo possível o ajuste pelo usuário como forma de aumentar a área útil de circulação de ar no ambiente como notado na figura 25 para um fluxo mássico máximo de (0,31375 kg/m³). Também observa que o direcionamento à 60° melhora a difusão de ar no interior da sala.

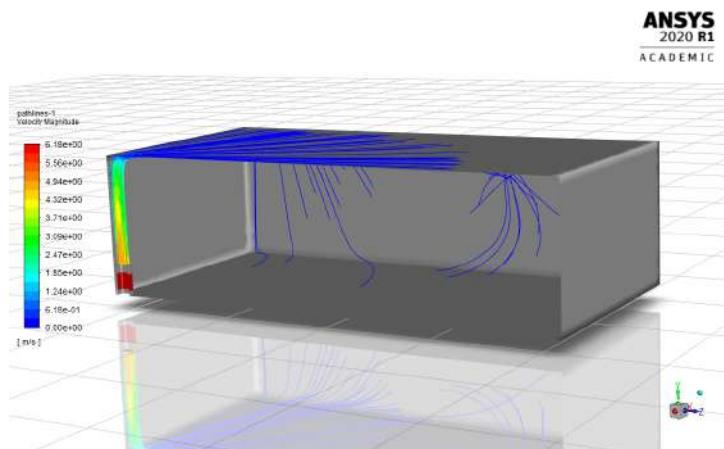


Figura 23 – Linhas de corrente exauridos na direção normal a superfície do purificador para o interior da sala. Autoria própria.

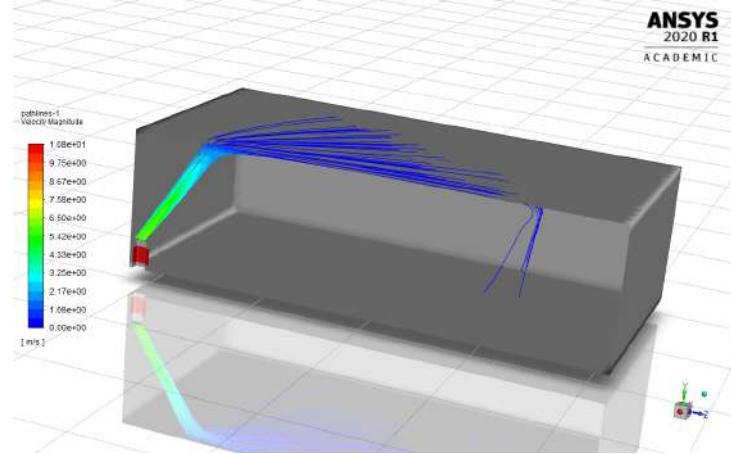


Figura 24 – Linhas de corrente exauridos com inclinação de 60º em relação a superfície do purificador para o interior da sala com fluxo mássico máximo. Autoria própria.

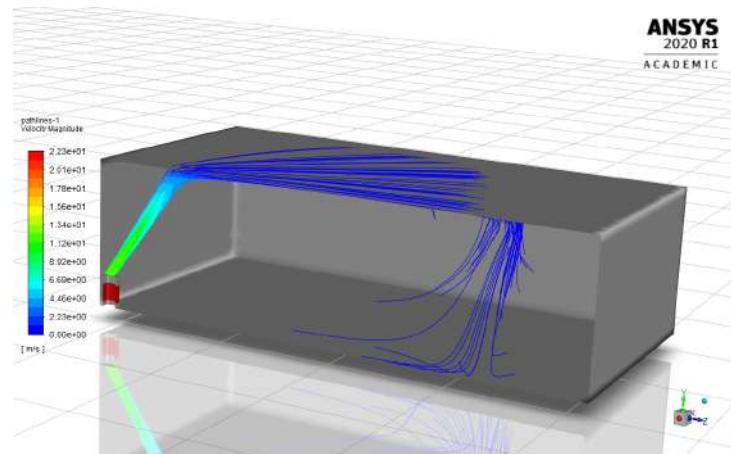


Figura 25 – Linhas de corrente exauridos com inclinação de 60º em relação a superfície do purificador para o interior da sala. Autoria própria.

3.6 Solução Estrutural

A abordagem estrutural compreende um sistema composto por um conjunto de estruturas críticas, são elas:

3.6.1 Estruturas Principais

O dispositivo será desenvolvido seccionado em duas partes, denotadas como seção de potência e seção de filtragem, conforme ilustrado na Figura 26. A seção de potência comportará os elementos de controle e de interface com o usuário, o ventilador de sucção, os dutos estabilizadores de fluxo e a grelha direcionadora de fluxo. A seção de filtragem comportará a bateria e demais sistemas de alimentação, sistema de filtragem e o sistema

de esterilização por radiação ultravioleta. É desenvolvido de tal forma para que qualquer usuário possa realizar, com facilidade, a troca periódica dos filtros e as manutenções necessárias.



Figura 26 – Seções principais do purificador.
Autoria própria.

3.6.1.1 Estruturas externas

- **Paredes externas**

A estrutura externa será, basicamente, um tubo oco de seção quadrada com vértices redondos, afim de minimizar danos aos impactos diagonais. As paredes externas sem permeabilidade de ar será confeccionada em material composto de alumínio flexível de 3 milímetros de espessura na cor branca pelas motivações citadas posteriormente no tópico 3.6.8.

A parede vertical externa com permeabilidade de ar será confeccionada em chapa perfurada com furos de 5 mm em aço inox AISI 304, vide figura 27. A escolha do material se baseou na alta resistência à corrosão e na maior disponibilidade da chapa em AISI 304 quando comparadas à soluções em outras ligas metálicas, como o alumínio. As principais dimensões desta estrutura externa são:

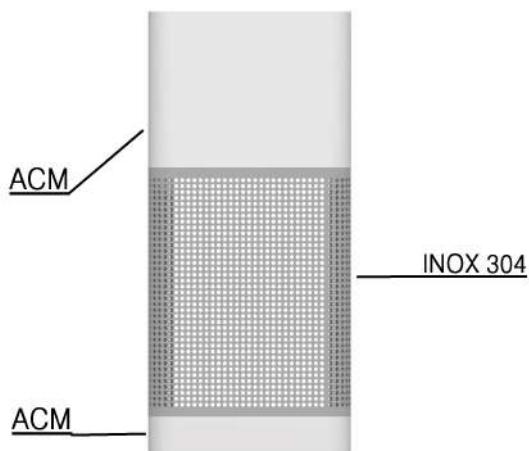


Figura 27 – Estrutura externa do purificador *Clean Air*.
Autoria própria.

- Altura total: 586 mm;
- Altura da seção de potência: 186 mm;
- Altura da seção de filtragem: 400 mm;
- Profundidade: 260 mm;
- Largura: 260 mm.
- **Grelha de ventilação**

A parte de cima será isolada do meio externo por meio de uma grelha de ventilação, figura 29, confeccionada por manufatura aditiva em Polietileno Tereftalato de Etileno Glicol (PETG) devido a facilidade de se obter geometrias complexas com um custo benefício maior quando comparado à outras metodologias como a conformação de polímeros por prensa hidráulica.



Figura 28 – Grelha de ventilação.
Autoria própria.

Além da função de isolar os dois meios, interno e externo, esta terá suas aletas móveis dando ao usuário a possibilidade de direcionar o fluxo de ar na direção que deseja.

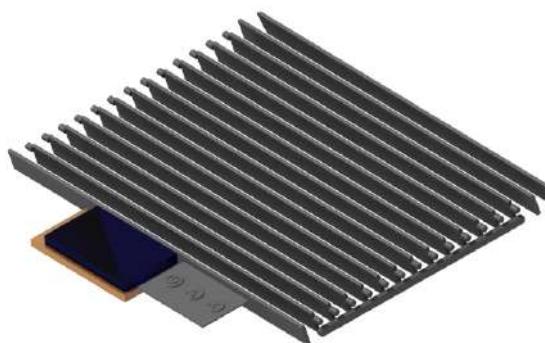


Figura 29 – Mecanismo de direcionamento das aletas.
Autoria própria.

- **Jogo de rodízio**

Para que haja uma facilidade de movimentação do aparelho e deslocamento com maior rapidez do produto, optou-se pela utilização de 4 unidades de rodízio com 40 mm de diâmetro e rodas de Poliuretano. O rodízio possui capacidade de rotação em 360° além de possuir uma chapa com quatro furos para fixação na superfície desejada, como mostrado na figura 30.



Figura 30 – Rodizio 40 mm de Poliuretano.
Autoria própria.

A fixação de cada roda na estrutura principal ocorre através de quatro parafusos com 4 mm de diâmetro que atravessaram a carcaça de ACM e são, por fim, afixados nas longarinas, como sugerido na figura 31. Dessa forma, há uma maior garantia de integridade devido a distribuição da carga que estará concentrada majoritariamente nesses reforços de alumínio.

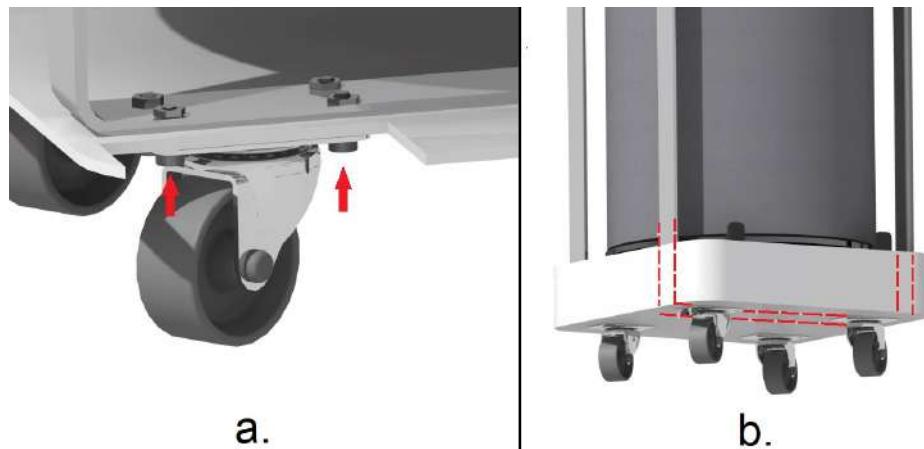


Figura 31 – a. Modo de fixação do rodízio na longarina; e b. Montagem final dos rodízios no equipamento.
Autoria própria.

3.6.1.2 Estruturas internas

A integração dos subsistemas e dos componentes deve ocorrer de tal forma que há de prevenir que certos impactos e forças externas comprometam as funcionalidades do equipamento. Por conseguinte, para garantir a segurança do projeto, o material e a configuração dos elementos estruturais foram definidos com base em matrizes de decisão.

Devido à distribuição de peso dos componentes dentro da carcaça e à orientação que o equipamento pode vir a ser colocado, a deformação da estrutura externa pode ser crítica, dado o caráter relativamente frágil do material compósito utilizado.

Para mitigar esse risco, é possível fazê-lo através da implementação de elementos estruturais que reforcem o corpo, como longarinas (MEGSON, 2010). Além disso, essas longarinas integram os rodízios ao restante do equipamento e suportam as cargas do conjunto motor-ventilador. Essa configuração, apesar de aumentar a massa do veículo, há de melhorar a integridade e a confiabilidade da estrutura. A figura 32 mostra os elementos estruturais na estrutura interna.



Figura 32 – Desenho dos elementos estruturais internos.
Autoria própria.

Dessa forma, para que o projeto estrutural mantenha a versatilidade e facilidade durante a troca de filtros e eventuais manutenções, serão incluídas quatro barras chatas de alumínio dobradas em formato U, onde duas estarão na seção de filtragem (seção inferior) conectadas através de encaixe tipo gaveta à outras duas que estarão na seção de potência (seção superior) como é sugerido na figura 33.



Figura 33 – Desenho dos encaixes responsáveis por unir os módulos.
Autoria própria.

Além disso, para integrar o motor fez-se necessário a implementação de suportes transversais, também de alumínio, onde o conjunto de ventilação deverá ser afixado através de quatro parafusos M4, vide figura 34.



Figura 34 – Integração do conjunto de ventilação às longarinas.
Autoria própria.

Assim também, juntamente com a integridade do projeto, fez-se necessária a devida vedação e isolamento dos fluxos de ar para assegurar a eficiência de filtragem requerida. Como componentes de vedação haverão placas que servirão como tampões, dois na parte superior dos filtros e dois na parte inferior. Além disso, fita de vedação será utilizada para selar e manter a pressão operacional desejada. A figura 35 demonstra os elementos.

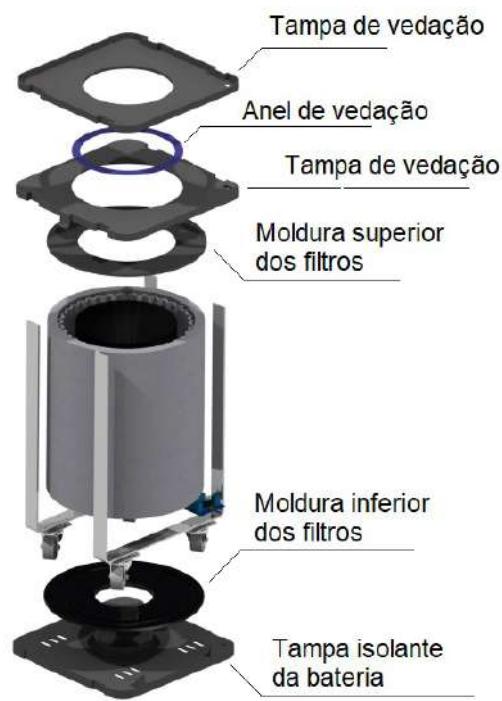


Figura 35 – Desenho dos elementos de vedação e isolamento.
Autoria própria.

Com o propósito de otimizar o trabalho realizado pelo ventilador, produziu-se uma peça (cuba) que o envolverá e, com o seu formato afunilador, há de direcionar o fluido de trabalho para o bocal de exaustão do sistema de purificação. Para a elaboração da cuba, pensou-se em planificar duas peças independentes com 1 mm de espessura que deverão ser soldadas após o processo de conformação. O desenho técnico das peças supracitadas é mostrado abaixo na figura 36.

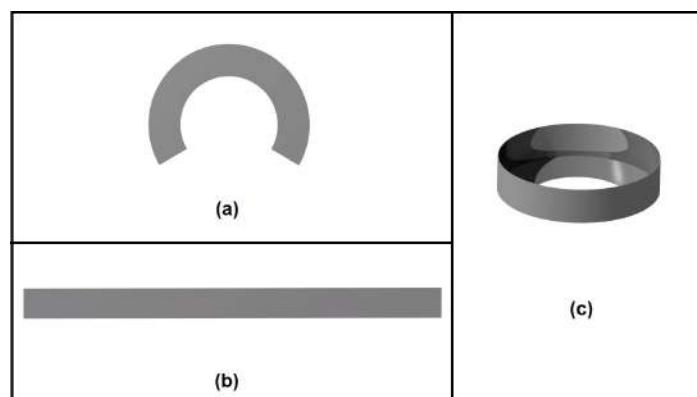


Figura 36 – CAD da (a) tira em forma de arco que formará o funil, da (b) chapa que formará o pescoço da peça, (c) referente à cuba completa.
Autoria própria.

Para o material proposto e o detalhamento técnico exigido, definiu-se que o processo que melhor se adequaria seria a calandragem, processo de conformação de materiais através de cilindros aquecidos de uma calandra, máquina com dois ou mais rolos contrarotantes (HARDMAN, 1972). Para a definição da escolha do material, utilizou-se a matriz de decisão mostrada na tabela 10 (AHMAD, 2006).

Tabela 10 – Matriz de decisão para o material da cuba

Critérios	Peso	Materiais			
		Fibra de vidro	Aço Inox*	Filamento plástico	Alumínio
Superfície estéril/lisa	5	2	5	3	5
Peso	3	4	2	5	3
Resistência à corrosão (água do mar)	4	3	5	3	4
Facilidade de produção/conformação	4	3	4	4	4
Resistência à deformação	5	3	5	2	4
Pontuação Total	-	61	92	68	86

Para restringir a movimentação desta peça a fim de prevenir o contato com o ventilador e eventuais ruídos indesejados, utilizou-se quatro encaixes trapezoidais que são parafusados tanto nas longarinas quanto na própria cuba com parafusos M4, como é mostrado na figura 37.

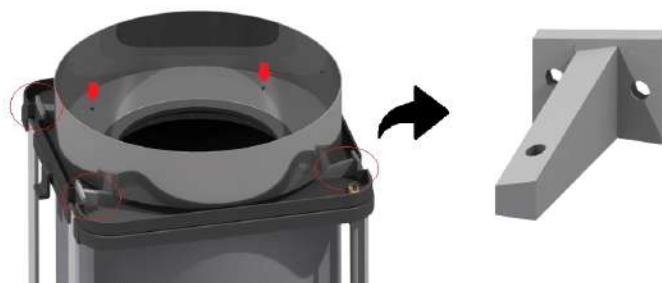


Figura 37 – Método de fixação da Cuba.
Autoria própria.

3.6.2 Filtros

Para maximizar o aproveitamento dos meios filtrantes e otimizar o volume do aparelho, os filtros serão desenvolvidos em moldura cilíndrica no formato de cartuchos, vide figura 38. As dimensões dos elementos filtrantes serão tais que resultam nas áreas necessárias previamente calculadas pela equipe de energia.



Figura 38 – Vista expandida do esquema de filtros.
Autoria própria.

Para unificar a montagem dos três filtros e fixá-los às demais estruturas do equipamento, fez-se a utilização de duas tampas de moldura (superior e inferior), com encaixes em suas superfícies para cada filtro, como sugere a figura 39.

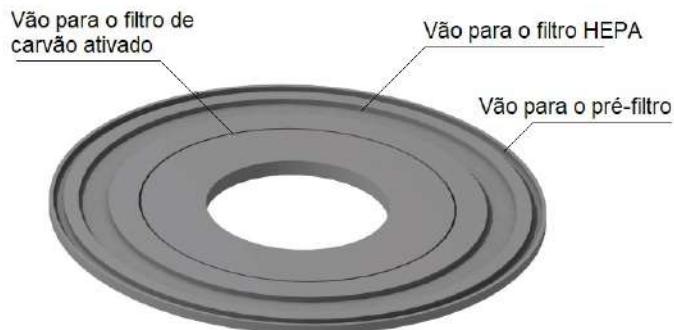


Figura 39 – Moldura inferior dos filtros.
Autoria própria.

- **Pré-filtro**

Será desenvolvido com a utilização de manta sintética de espessura variável modelo LBX 290 da *Linter Filtros Industriais* por estar dentro da classe de filtragem definida pela subequipe de energia e por possibilitar a moldagem conforme a necessidade. As especificações de interesse são:

- Diâmetro externo: 240 mm;
 - Espessura: 15 mm;
 - Altura: 280 mm;
 - Classe de Filtragem (EN779): G4;
 - Material: Fibra sintética de poliéster.
- **Filtro absoluto (HEPA)**

Será desenvolvido com a utilização de papéis filtrantes classe H13 plissados com vincos estreitos em uma moldura cilíndrica, devido as motivações especificadas na abertura deste capítulo. As especificações de interesse são:

- Diâmetro externo: 210 mm;
- Espessura: 10 mm;
- Altura: 280 mm;
- Classe de Filtragem (EN1822): H13;
- Material: Micro fibras de vidro.

Em relação aos parâmetros que influenciam diretamente na eficiência dos filtros HEPA, temos o Corrugation Crest Angle (Ângulo da crista da ondulação). Devido à resistência extremamente pequena na entrada e na saída do fluido, enquanto a resistência média do filtro for igual à resistência estrutural geral de filtração, o ângulo deste filtro sob a condição de h (altura de passagem do fluido) fixo será considerado ótimo ([XU; ZHOU, 2014](#)). A figura 40 mostra o esquemático para o cálculo do ângulo.

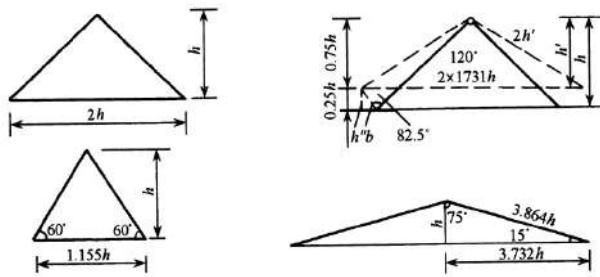


Figura 40 – Esquemático para o cálculo do ângulo da crista da ondulação.

Fonte:([XU; ZHOU, 2014](#)).

Ainda de acordo com ([XU; ZHOU, 2014](#)), o diâmetro equivalente (d), comprimento de tubo que apresenta perda de carga igual a do dispositivo, é o maior fator entre todas as influências. Quando a altura da crista da ondulação precisa ser fixa, por exemplo, é o ângulo da ondulação que irá influenciar o diâmetro equivalente, por isso esse ângulo deve ser calculado para as especificações exigidas.

Com o ângulo de ondulação 90° , o diâmetro equivalente é igual a:

$$d = \frac{4F}{S} = \frac{4 \times \frac{h}{2} \times 2h}{2\sqrt{2}h + 2h} = 0,83h \quad (3.19)$$

Com o ângulo de ondulação 60° , o diâmetro equivalente é igual a:

$$d = \frac{4F}{S} = \frac{4 \times \frac{h}{2} \times 1.155h}{3 \times 1,155h} = 0,67h \quad (3.20)$$

Durante o processo de dobragem a ondulação é frequentemente diminuída pela força exercida. Dessa forma, o ângulo pode aumentar e a nova altura de ondulação torna-se menor que a original. Por exemplo, o ângulo pode tornar-se 120° e a nova altura será $h' = 0,75h$. Neste caso, o diâmetro equivalente será:

$$d = \frac{4F}{S} = \frac{4 \times 0,75h \times 1.732h \times 0,75h}{2 \times 2 \times 0,75 + 2 \times 1,732 \times 0,75h} = 0,7h \quad (3.21)$$

Onde,

F é a seção transversal de passagem do fluido;

S é o perímetro de passagem do fluido;

Dessa forma, para o filtro HEPA do projeto, utilizou-se 90° , como é sugerido na figura [41](#).

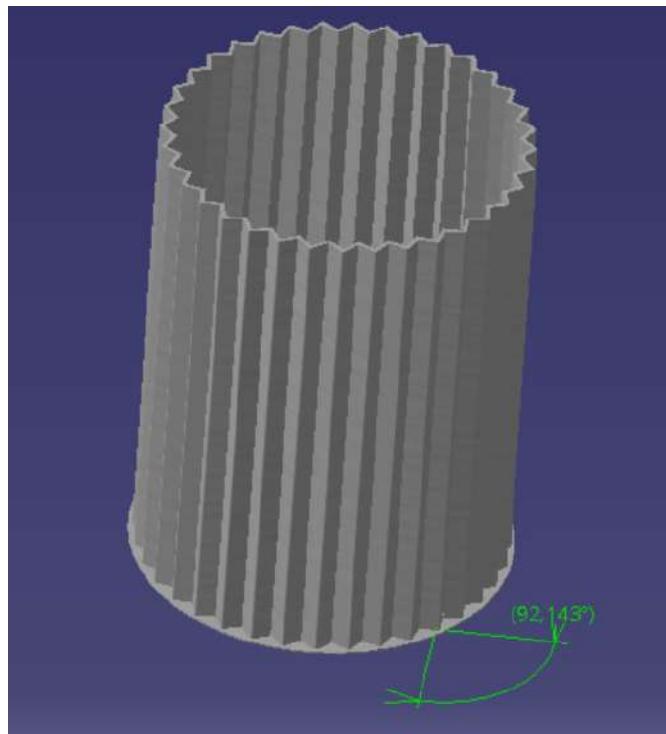


Figura 41 – Ângulo de ondulação do filtro HEPA do projeto .
Autoria própria

- **Filtro de carvão ativado**

Se desenvolverá com a utilização de manta impregnada com grânulos de carvão ativado modelo CA 15 da *Linter Filtros Industriais*. A escolha da manta no lugar de grãos de carvão retidos em recipiente se dá pela maior praticidade, facilidade construtiva e pelo preço reduzido. As especificações de interesse são:

- Diâmetro externo: 156 mm;
- Espessura: 2 mm;
- Altura: 280 mm;
- Classe de Filtragem (EN779): G4;
- Material: Manta sintética de poliéster impregnada com micro grânulos de carvão ativado.

3.6.3 Fixações roscáveis

Por razões de economia e limpeza padronizou que todos as fixações por rosca serão do tipo rosca M3 com exceção dos parafusos do motor que por padrão de fábrica é

do tipo M4. Utilizará parafusos em inox AISI 304, para evitar corrosão, e rebites de rosca M3 de alumínio.

3.6.4 Esterilização por Radiação Ultravioleta

A eliminação de toda forma de vida microbiana que for retida no filtro absoluto e grossos ou que, eventualmente, passe por todo o sistema de filtração, será realizada por meio irradiação ultravioleta de 254 nanômetros (nm) de comprimento de onda a partir de uma lâmpada tubular UV-c disposta no interior do cartuxo de filtragem conectada por um soquete disposto em contato com a tampa de isolamento da bateria no eixo de simetria do aparelho.

3.6.5 Estrutura do sensor de qualidade do ar

O dispositivo que fará o sensoriamento dos parâmetros do ar será independente do produto principal, vide figura 42. Este terá três paredes externas produzidas em material composto de alumínio e três paredes externas produzidas em PETG por meio de manufatura aditiva. Optou-se por algumas paredes em PETG por questões estéticas e pela facilidade de confecção, em uma única peça, dos sulcos de ventilação que permitirá o fluxo de ar a ser analisado e dos encaixes e fixações internas dos hardwares de sensoreamento.



Figura 42 – Estrutura externa do sensor de qualidade do ar.
Autoria própria.

3.6.6 Posicionamento dos componentes dos sistemas Elétricos e Eletrônicos

A partir da realização da escolha dos componentes e seus respectivos dimensionamentos, a integração entre as áreas torna-se parte imprescindível do projeto, visto que a fixação dos sensores, assim como as possíveis adaptações no design, fica a cargo da área de estruturas. Desta forma, as escolhas basearam-se principalmente em requisitos para um bom funcionamento dos dispositivos eletrônicos, como também facilidade da adaptação do usuário com o dispositivo.

- **Disposição dos componentes para a estrutura do purificador**

Para realizar uma instalação de maneira mais simplificada e possibilitar a fixação conjunta dos componentes necessários para o bom funcionamento de todos os subsistemas (relés, conectores, resistores, etc) foi adotado a utilização de uma PCI, tornando a solução mais prática e compacta. Ressalta-se que foi feita uma divisão pela solução eletrônica, de utilizar uma PCI para separar o circuito de potência, referente ao motor DC e a lâmpada UV, com o circuito de controle desses elementos por meio do microcontrolador. Desta forma, a PCI de potência é posicionada na parte inferior do purificador (sessão de filtragem) para que tenha uma maior segurança, uma vez que apresenta um circuito que demanda maior corrente elétrica, ao ser conectada no sistema microcontrolador. Já a PCI de controle, é posicionada na parte superior do purificador (sessão de potência), visto que seus componentes conectados necessitam de uma corrente menor. Sendo assim, todo o sistema é conectado com cabos específicos para que suas conexões sejam feitas de forma segura.

Destarte, gerou-se a necessidade da instalação dos componentes em duas seções distintas do aparelho. A Figura 43 ilustra a disposição do display LCD e os botões de comando do purificador, sendo eles: liga/desliga, modo automático e *reset*. Pode-se destacar a presença da tela na parte frontal do aparelho, sendo projetada para facilitar a sua instalação posterior, além de fornecer uma maior usabilidade do dispositivo. Os botões foram dispostos ao lado do display de forma a integrar os componentes de controle para fácil acesso do usuário.



Figura 43 – Grelha de ventilação e seus respectivos componentes eletrônicos.
Autoria própria.

Nota-se que a quantidade e posicionamento das aletas da grelha de ventilação foi previamente testada a partir de simulações de escoamento do ar, juntamente com a área

de energia, mostrando-se adequada para a atual proposta do projeto. Ademais, foram inseridos mecanismos para promover sua movimentação de forma livre, dando diferentes possibilidade de posicionamento para o cliente.

O mecanismo projetado para permitir a movimentação das aletas foi baseado em três partes principais. A primeira delas, é constituída por pinos maciços integrados em ambas as extremidades. A segunda, baseia-se em uma peça no formato retangular que está solidário aos pinos inferiores de uma das extremidades. E por fim, a terceira parte é projetada a partir de pinos vazados solidários a estrutura da grelha de ventilação, que irão fazer o encaixe nos pinos superiores maciços que estão conectados diretamente nas aletas, assim como ilustrado na Figura 29.

Desta forma, a movimentação do conjunto é proporcionada a partir da movimentação de qualquer uma das aletas intermediárias, visto que é permitida a rotação a partir do conjunto dos pinos vazados e maciços, concomitantemente com a restrição da translação nos três eixos, enquanto que a peça retangular transmite o movimento aplicado em uma das aletas para todo o sistema de aletas. Destaca-se que duas das aletas das extremidades à direita e à esquerda da grelha foram projetadas para serem fixas devido ao pouco espaço de movimentação nessa região.

A inserção da PCI, bem como seus suportes, estão explicitados na Figura 44. Percebe-se que sua instalação está intrinsecamente relacionada a requisitos como a não fixação em partes metálicas, devido a sensibilidade de seus componentes, e a necessidade de estarem dispostas a favorecer a passagem do ar, ou seja, não podendo ser inserida em alguma estrutura completamente fechada, uma vez que pode ocasionar um aquecimento excessivo dos elementos eletrônicos. Além disso, a case de proteção da PCI também foi projetada de maneira a favorecer o escoamento do ar por sua superfície, visto que está posicionada logo acima do ventilador do aparelho; logo, era necessário gerar a menor resistência a passagem do ar nesta seção. Uma vez projetada a case, a PCI é fixada a partir de 4 suportes transversais impressos a partir de impressão 3D, destacando-se que todos os componentes que estão em contato direto com a case são construídos a partir de materiais plásticos.



Figura 44 – Disposição da PCI da seção de potência do purificador.
Autoria própria.

As Figuras 45 e 46 demonstram o arranjo do posicionamento da PCI na seção de filtragem. Devido ao pouco espaço disponível na seção dos filtros e visível incompatibilidade de instalação da PCI nessa região, conclui-se que seu posicionamento deveria ser realizado na parte mais inferior do aparelho, ficando próxima as baterias. Atenta-se ao fato de que os requisitos para a disposição da eletrônica mantém-se o mesmo para o citado previamente na sessão de potência, na questão de se evitar o aquecimento demasiado dos componentes ao se utilizar uma estrutura completamente fechada. Assim, foi realizado a construção de um suporte no formato de uma caixa retangular com recortes laterais para permitir uma maior circulação do ar, que será fixada à tampa que está logo abaixo dos filtros.

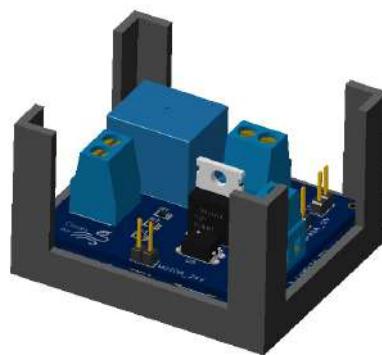


Figura 45 – Estrutura da PCI da seção de filtragem do purificador.
Autoria própria.



Figura 46 – Disposição da PCI da seção de filtragem do purificador.
Autoria própria.

Outrossim, o posicionamento da PCI na sessão de filtragem do aparelho foi projetada de tal forma a estar próxima da canaleta de passagem da fiação. Este componente torna-se necessário no projeto, uma vez que é preciso transferir a energia das baterias até a PCI da sessão de potência para o funcionamento de seus respectivos dispositivos eletrônicos. Além disso, dada a característica do projeto de permitir ao usuário a retirada integral da sessão de potência para realizar a troca periódica dos filtros, fez-se necessário estabelecer um mecanismo que permitisse tal ação sem comprometer a integridade da instalação. Logo, a Figura 47 e 48 ilustram os componentes das canaletas e plugs de conexão que compõem o sistema supracitado, respectivamente.



Figura 47 – Canaletas para a passagem de fiação.
Autoria própria.

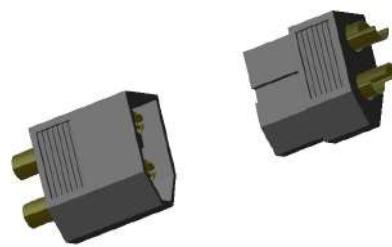


Figura 48 – Plugs macho e fêmea.
Autoria própria.

- **Disposição dos componentes para o sensor de qualidade do ar**

Para a disposição dos componentes eletrônicos do sensor de qualidade do ar, também foi utilizado a inserção de uma PCI para integrar todos os componentes e os respectivos sensores. Uma de suas peculiaridades está no fato da PCI estar integrada a uma estrutura mais fechada, impedindo a livre circulação do ar. Desta forma, foram implementadas aberturas em sua parte frontal, assim como ilustrado na Figura 49.



Figura 49 – Estrutura externa do sensor de qualidade do ar.
Autoria própria.

A instalação das aberturas na parte frontal do aparelho possui duas funções principais. A primeira, assim como citado no tópico anterior, está em permitir a circulação do ar para o resfriamento dos componentes e principalmente permitir a leitura do ar ambiente pelos os sensores para aferir sua qualidade. A segunda, está em ser posicionada de forma a expor de maneira mais reduzida os componentes eletrônicos, de forma a deixar mais harmonioso o design projetado. Ademais, nota-se a instalação do display LED indicador de bateria juntamente com o botão de ligar e desligar, ambos posicionados na parte superior do aparelho sensor, possibilitando fácil visualização e operação para o usuário.

Na Figura 50, é demonstrado a disposição dos componentes eletrônicos do sensor de qualidade do ar. Sua fixação é feita a partir de duas seções retangulares com furos em suas extremidades, sendo que todas as estruturas em contato direto com a PCI são feitas a partir de materiais plásticos, devido a sensibilidade de seus componentes quando ocorre o contato direto com partes metálicas.

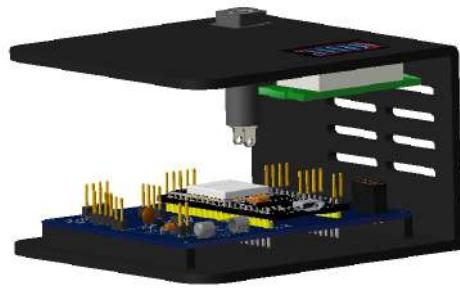


Figura 50 – Disposição dos componentes eletrônicos do sensor de qualidade do ar.
Autoria própria.

3.6.7 Simulação de Esforços Estruturais

As simulações foram realizadas no software Ansys R20.2. As condições de contorno representam a situação a qual a estrutura analisada está submetida no caso real. Dessa forma, aplicou-se suporte normal nas faces inferiores e suporte nas faces das longarinas verticais, considerando que as vigas estarão integradas à carcaça. Tais condições são mostradas na figura 51.

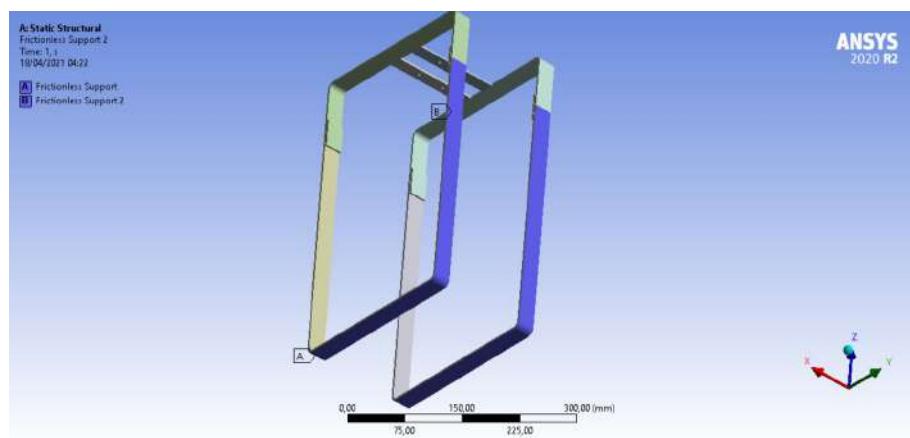


Figura 51 – Condições de contorno aplicadas.
Autoria própria.

Analogamente, o carregamento aplicado nas longarinas se resume, principalmente, às cargas decorrentes da massa do motor, da cuba, das tampas de seção de filtragem e

grade superior e aos quatro encaixes que suportam a cuba. A representação do carregamento pode ser melhor entendida através da figura 52, onde F1 corresponde à força causada pela massa do motor, e a força causada pelas demais cargas, divididas nos quatro contatos dos tampões com as longarinas, são representadas por F2, F3, F4 e F5.

$$F = m \times g \quad (3.22)$$

$$F_1 = m_m \times g \quad (3.23)$$

$$= 1,5 \times 9,81 = 14,7 N$$

$$\begin{aligned} F_2 &= \frac{(m_c + m_{tg} + m_{ts} + 4 \times m_{ec}) \times g}{4} \\ &= \frac{(0,549 + 0,152 + 0,13 + 4 \times 0,028) \times 9,81}{4} \\ &= 2,1 N \end{aligned} \quad (3.24)$$

$$F_2 = F_3 = F_4 = F_5 \quad (3.25)$$

Em que:

m_m = Massa do motor;

m_c = Massa da cuba;

m_{tg} = Massa da tampa da grade superior;

m_{ts} = Massa da tampa da seção de filtragem;

m_{ec} = Massa do encaixe da cuba;

g = Gravidade;

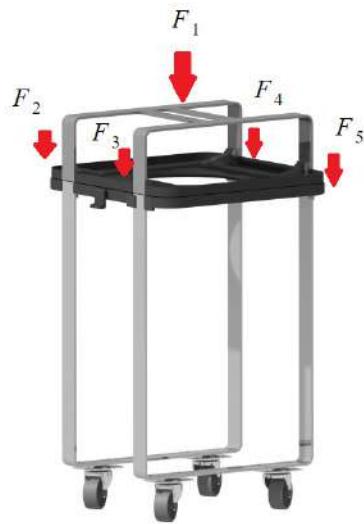


Figura 52 – Representação do carregamento aplicado.
Autoria própria.

3.6.7.1 Discretização do Domínio

Para uma simulação bem sucedida e de boa qualidade é necessário tratar a malha da respectiva peça. Para isso, ao gerar a malha do modelo, deve-se analisar o nível de detalhamento da mesma, considerando o método de conformação, refinamento e etc.

Logo, de acordo com (MADENCI; GUVEN, 2015) uma boa malha é aquela que apresenta elementos pouco distorcidos e deformados e esta métrica pode ser avaliada por meio das estatísticas da malha. Uma destas estatísticas é o Skewness, uma métrica que avalia a diferença entre a forma da célula e a forma de uma célula equilaterial de volume equivalente, ou seja, o quanto deformado o elemento está baseado em seu volume. Assim, zonas com detalhes desnecessários, faces com ângulos agudos e zonas problemáticas resultam em uma malha de má qualidade.

A malha foi construída utilizando a própria ferramenta do ANSYS, com formato tetraédrico, tamanho de elemento de 3 mm, com a opção de smoothing selecionada em High e refinamento nos suportes transversais, para acentuar possíveis concentradores de tensão. As figuras 53 e 54 demonstram, respectivamente, as características e a malha utilizada.

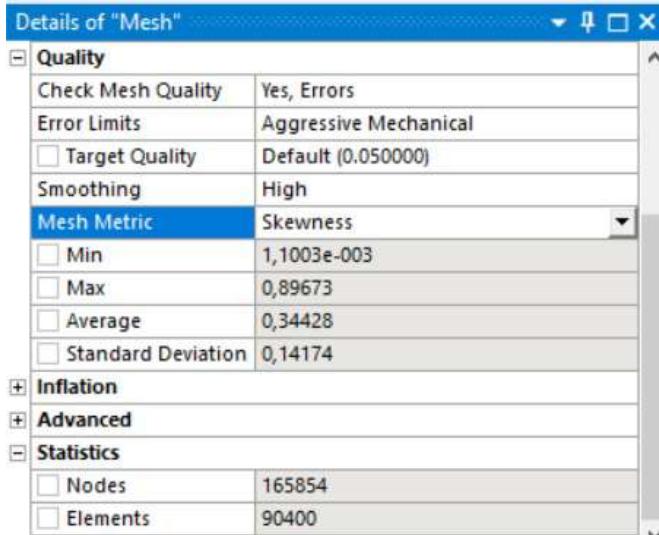


Figura 53 – Detalhes da malha.

Autoria própria.

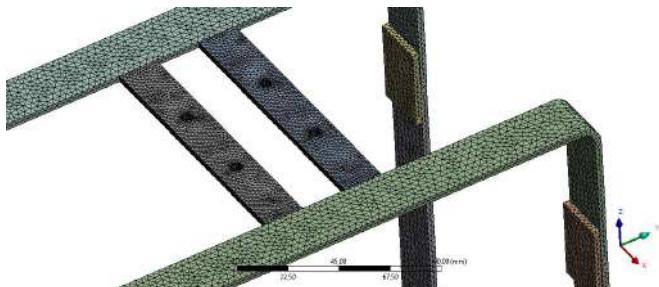


Figura 54 – Malha com 90400 elementos.

Autoria própria.

3.6.7.2 Resultados e Discussão

Analisando os resultados obtidos percebe-se, através da tabela 11 e das figuras 55, 56, 57 e 58 mostradas abaixo, que o momento fletor nas vigas verticais é mínimo e, também, que não há risco de buckling, efeito de mudança repentina na forma (deformação) de um componente estrutural sob carga, como o arqueamento da longarina sob compressão.

Tabela 11 – Resultados obtidos.

Tipo de Solução	Resultado
Tensão Equivalente	7,4696 (MPa)
Tensão Normal em Z	4,3563 (MPa)
Deformação em Z	$5,1179 \times 10^{-4}$ (mm)
Deformação total	0,4498 (mm)
Fator de Segurança	11,54 mín.

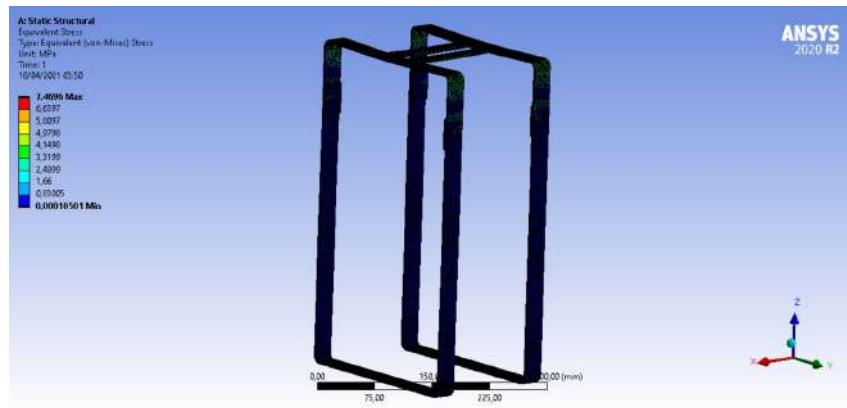


Figura 55 – Tensão Equivalente de Von-mises.
Autoria própria.

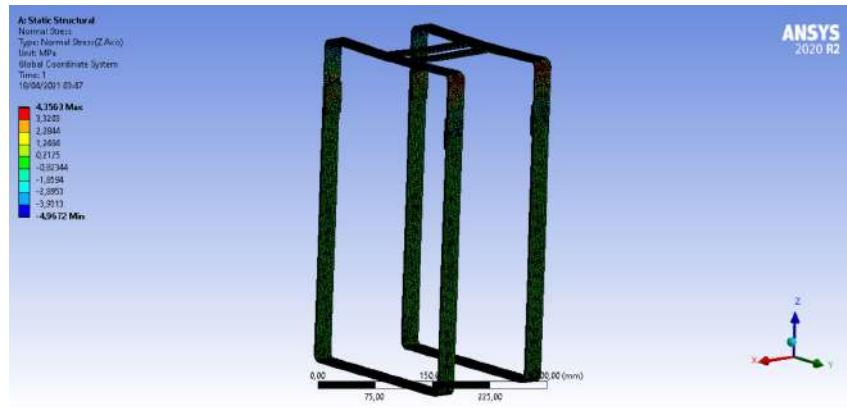


Figura 56 – Tensão Normal em Z.
Autoria própria.

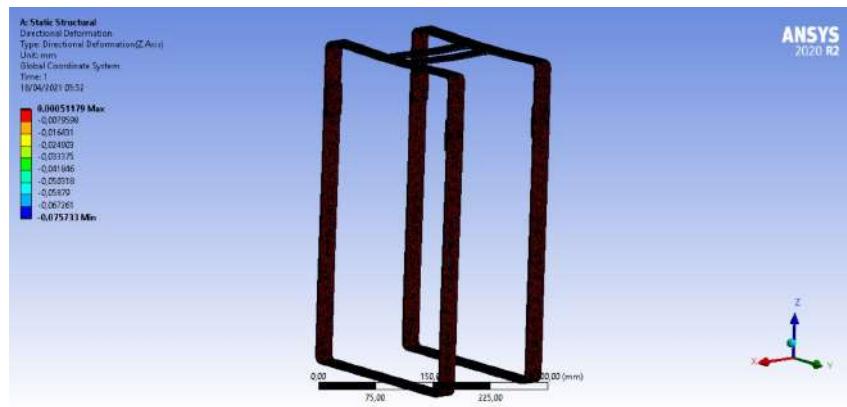


Figura 57 – Deformação em Z.
Autoria própria.



Figura 58 – Deformação total.
Autoria própria.

Outro fator analisado na simulação é o coeficiente de segurança, que está relacionado ao carregamento último e o carregamento admissível, sendo de extrema importância para desempenho seguro da estrutura (BEER et al., 1977). É possível ver na figura 59 que o fator mínimo é bastante satisfatório.



Figura 59 – Fator de Segurança.
Autoria própria.

Dessa forma, conclui-se que o perfil dos reforços escolhidos atende com excelência os esforços do projeto, garantem pouca massa extra, cerca de 0,66 kg (vide apêndice I) e integram, de forma satisfatória, os rodízios.

3.6.8 Escolha de Materiais

A seleção de materiais adequados a uma determinada aplicação e utilização é uma parte imprescindível de toda consideração de projetos, visto que está relacionado a características que influenciam o projeto do elemento ou, em alguns casos, o sistema inteiro (SHIGLEY; MISCHKE; R BUDYNAS, 2005). Além disso, a escolha de materiais também

implica no design do produto final e na percepção do produto pelo o consumidor. Desta forma, a etapa de seleção de materiais torna-se interdisciplinar e de suma importância para se obter êxito no desenvolvimento de projetos ([FALLER, 2009](#)).

À luz dos fatos descritos acima, os materiais apresentados a seguir tiveram suas escolhas baseadas em critérios técnicos, tais como, aplicabilidade, processos de fabricação, percepção visual do design utilizado, propriedades de engenharia e custos.

- **ACM (Aluminium Composite Material)**

A escolha deste material baseou-se em critérios técnicos, acústicos e estéticos para a aplicação no desenvolvimento do projeto. Segundo ([MOHANEY; SONI, 2018](#)), o ACM possui boa resistência química, excelentes propriedades mecânicas com baixo peso agregado a estrutura, é de fácil e rápido processamento e tem a menor necessidade de manutenção. Além disso, possui alta versatilidade de utilização, ótimo acabamento superficial e conformabilidade.

De acordo com [STACBOND \(2021\)](#), a tabela 12 demonstra as principais propriedades mecânicas encontradas para uma chapa de ACM padrão de 3 mm de espessura.

Tabela 12 – Propriedades Mecânicas do ACM

Propriedades Mecânicas	Valores
Elongação	4%
Límite de resistência à tração	240 MPa
Módulo de elasticidade	70 GPa
Temperatura de utilização	-40/+80 °C
Isolamento acústico	28 dB (0; +3)

- **Alumínio 6063-T5**

A liga ABNT 6063 de alumínio com têmpera T5 foi previamente selecionada para as longarinas devido a sua alta resistência mecânica, boa conformidade e soldabilidade e alta resistência a corrosão ([HATCH, 1984](#)). As principais propriedades mecânicas dessa liga estão ressaltadas na tabela 13 de acordo com ([ASM, 1995](#)).

Tabela 13 – Propriedades Mecânicas do alumínio 6063-T5

Propriedades Mecânicas	Valores
Massa específica	2,7 g/cm ³
Elongação	18%
Resistência à tração mínima	186 MPa
Tensão de ruptura mínima	145 MPa
Módulo de elasticidade	68,9 GPa
Dureza Brinell	60 HB

- **Aço Inoxidável 304**

O material selecionado é classificado como aço inoxidável série 300, pertencente a classe austenítica, ligado com 17 a 25% de cromo e 10 a 20% de níquel. Desta forma, eles possuem uma alta resistência a oxidação, corrosão, é amagnético e tem excelentes ductilidade e tenacidade ([NORTON, 2013](#)). Além disso, possuem boa soldabilidade e são utilizados nos mais variados âmbitos.

Segundo [Callister e Rethwisch \(2012\)](#), a tabela 14 descreve as propriedades mecânicas encontradas para o aço inoxidável 304.

Tabela 14 – Propriedades Mecânicas do Aço Inoxidável 304

Propriedades Mecânicas	Valores
Massa específica	8.00 g/cm ³
Coeficiente de Poisson	0.30
Elongação	40%
Limite de escoamento	205 MPa
Limite de resistência à tração	515 MPa
Módulo de elasticidade	193 GPa
Condição	Acabado a quente e recozido

- **TPU (Thermoplastic Polyurethane)**

Um dos materiais poliméricos utilizados no projeto é o TPU, um copolímero linear segmentado que também pode ser encontrado na forma de filamento utilizado em impressão 3D. De acordo com [Fiorio \(2007\)](#), o TPU possui uma alta versatilidade de aplicações nas mais distintas áreas. Ademais, também possui uma alta resistência ao impacto, boa resistência à abrasão e à solventes. De forma geral, os TPUs proporcionam a rigidez e resistência de plásticos com a flexibilidade e elasticidade da borracha.

De acordo com as informações obtidas na base de dados de materiais de engenharia ([MATWEB, 2021b](#)), a tabela 15 estabelece as principais propriedades mecânicas do TPU.

Tabela 15 – Propriedades Mecânicas do TPU

Propriedades Mecânicas	Valores
Massa específica	1.45 g/cm ³
Elongação	25.2%
Resistência à tração na ruptura	61.6 MPa
Módulo de elasticidade	2.53 GPa
Resistência ao impacto	5.60 J/cm ²

- **PETG (Polietileno Tereftalato de Etileno Glicol)**

O PETG é um termoplástico semicristalino, sendo atualmente o copolímero mais conhecido e utilizado no universo de impressão 3D. Segundo [Silva \(2018\)](#), o PETG é mais flexível que o PLA (*Polylactic Acid*) e o ABS, e mais macio. Além disso, possui baixo empenamento da peça, boa resistência química e boa resistência a água. Desta forma, a utilização desse material no projeto está em sua capacidade de aliar a boa resistência mecânica encontrada no ABS, com a facilidade de impressão obtida com o PLA. Seguindo as informações obtida de acordo com [MatWeb \(2021a\)](#), a tabela 16 visa summarizar as principais propriedades mecânicas e térmicas do filamento de PETG.

Tabela 16 – Propriedades Mecânicas e Térmicas do PETG

Propriedades Mecânicas e Térmicas	Valores
Massa específica	1.26 g/cm ³
Elongação	124%
Resistência à tração na ruptura	42 MPa
Módulo de elasticidade	2.65 GPa
Resistência ao impacto	0.681 J/cm ²
Temperatura de transição vítreia	80.9 °C

- **ASA**

O filamento ASA (Acrylonitrile Styrene Acrylate) é um material terpolímero amorfó termoplástico similar ao ABS criado em 1970 pelo fabricante BASF com o nome comercial Luran Séc. A diferença entre estes dois materiais a nível estrutural é que o ASA utiliza um elastómero acrílico e o ABS um elastómero de butadieno. Portanto, o ASA foi selecionado devido a sua boa resistência química, resistência a água e alta resistência térmica, suportando raios ultravioleta ([FILAMENT2PRINT, 2018](#)). Sendo assim, esse material será adequado para as peças que ficarão em contato com a luz UV utilizada para a filtragem e a impressão 3D permite a fabricação das peças com as dimensões ideais.

- **Silicone**

A principal característica dos polímeros de silicone é a cadeia polimérica de átomos de silício e oxigênio em que os átomos de silício transportam dois radicais orgânicos, preferencialmente radicais metila. Essa cadeia polimérica diferenciada confere, principalmente, excelente resistência à UV, oxidação e ozônio, resistência às intempéries, excepcional resistência ao calor (envelhecimento térmico), excelente isolamento elétrico e estabilidade e flexibilidade à baixa temperatura ([AFINKO, 2018](#)). Portanto, o presente material é uma possibilidade interessante no quesito vedação do produto. A tabela 17 mostra algumas propriedades de acordo com [Afinko \(2018\)](#).

Tabela 17 – Propriedades do silicone

Propriedade	Valores
Dureza Shore A	10 a 85
Temperatura mínima de trabalho	-60°C
Temperatura máxima de trabalho	200°C
Densidade específica	1,14 - 2,00

- **Cianoacrilato**

O adesivo de cianoacrilato é um adesivo de média viscosidade (100 cps), à base de Etil-Cianoacrilato. Projetado para juntas de alta resistência que polimerizam plásticos, borrachas e outros materiais em alta velocidade. Recomendado para a montagem de peças lisas e superfícies planas ([SL, 2018](#)). Nesse sentido, o cianoacrilato destacou-se como uma boa opção para a união de alguns componentes e as propriedades do mesmo estão apresentadas na tabela 18 de acordo com [SL \(2018\)](#).

Tabela 18 – Propriedades do material não curado

Propriedade	Valores
Peso específico	1,06
Viscosidade gama	80-120 cP
Resistência à tração	20 N/mm ²
Valores típicos de viscosidade	100 cP
Tempo de fixação	Depende do substrato
Cura total	24 horas
Ponto de inflamação	> 85°C
Espaço máximo para preencher	0,15 mm
Gama de temperatura adequada	-50° a +80°C

3.6.9 Formato da estrutura e CAD

Os CADs e os desenhos técnicos se encontram disponíveis, respectivamente, nos apêndices [H](#) e [I](#).

3.7 Solução de Software

A solução de software para o *CleanAir* é uma aplicação móvel que terá as funcionalidades que satisfaçam os requisitos descritos em [2.4](#). O *back-end* da aplicação será composto por dois serviços, o *mq-interface* e o *api-clean-air*. Já o *front-end* será um aplicativo para dispositivos móveis com o sistema operacional Android.

3.7.1 Arquitetura de Software

A arquitetura do software consiste em um *front-end móvel*, dois microsserviços para o *back-end* com conexão com a API (*Application Programming Interface*) da Amazon Alexa e com o microcontrolador do purificador.

Um dos microsserviços é o *mq-interface-service* que irá fazer a comunicação com o microcontrolador, obtendo e interpretando os dados dos sensores e realizando ações em relação ao purificador.

O segundo microsserviço é o *api-clean-air-service* que faz toda a conexão com o *front-end*, tratando dados do usuário e se comunicando com a API da *amazon-alexa-voice-service*, permitindo que seja possível interpretar comandos de voz realizados pela assistente virtual Alexa. A Figura 60 mostra como se dá a comunicação entre esses serviços.

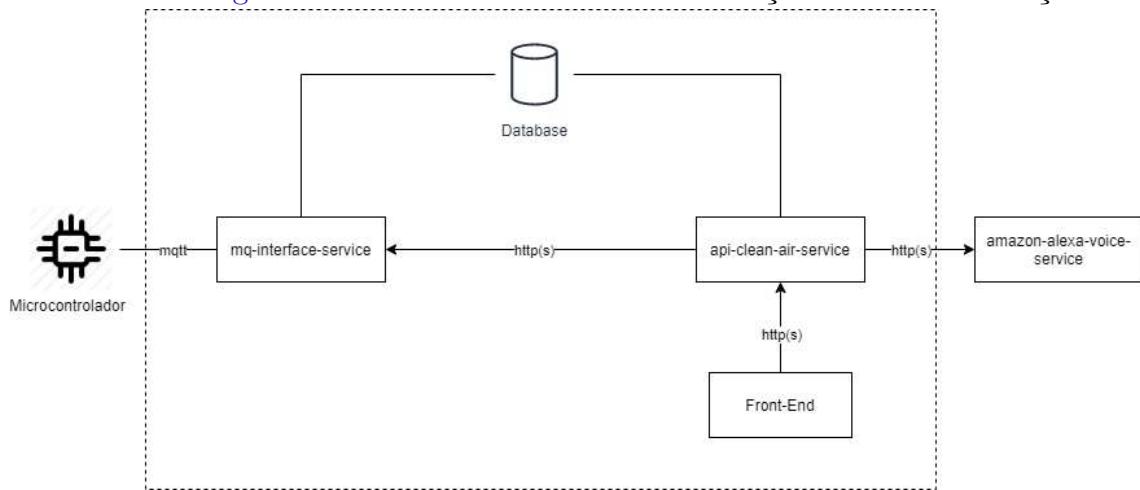


Figura 60 – Arquitetura da solução de software.

As comunicações entre as APIs são feitas em protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*), transmitindo documentos JSON (*JavaScript Object Notation*). A comunicação com o microcontrolador é feita com o protocolo **MQTT** (*Message Queue Telemetry Transport*).

O diagrama da Figura 61 mostra quais são as tecnologias usadas em cada parte do sistema. As subseções seguintes explicam com mais detalhes essas partes.

3.7.1.1 Serviço *mq-interface*

Esse serviço é responsável por fazer a interface de comunicação entre o microcontrolador do purificador e o serviço *api-clean-air*.

O serviço é *Publish–Subscribe* (publicar-assinar) que consiste em um padrão de troca de mensagens em que os assinantes demonstram interesse em receber mensagens e os publicadores publicam as mensagens sem especificar destinatários (MICROSOFT, 2018). Para essa troca de mensagens com o purificador é usado o protocolo de mensagem

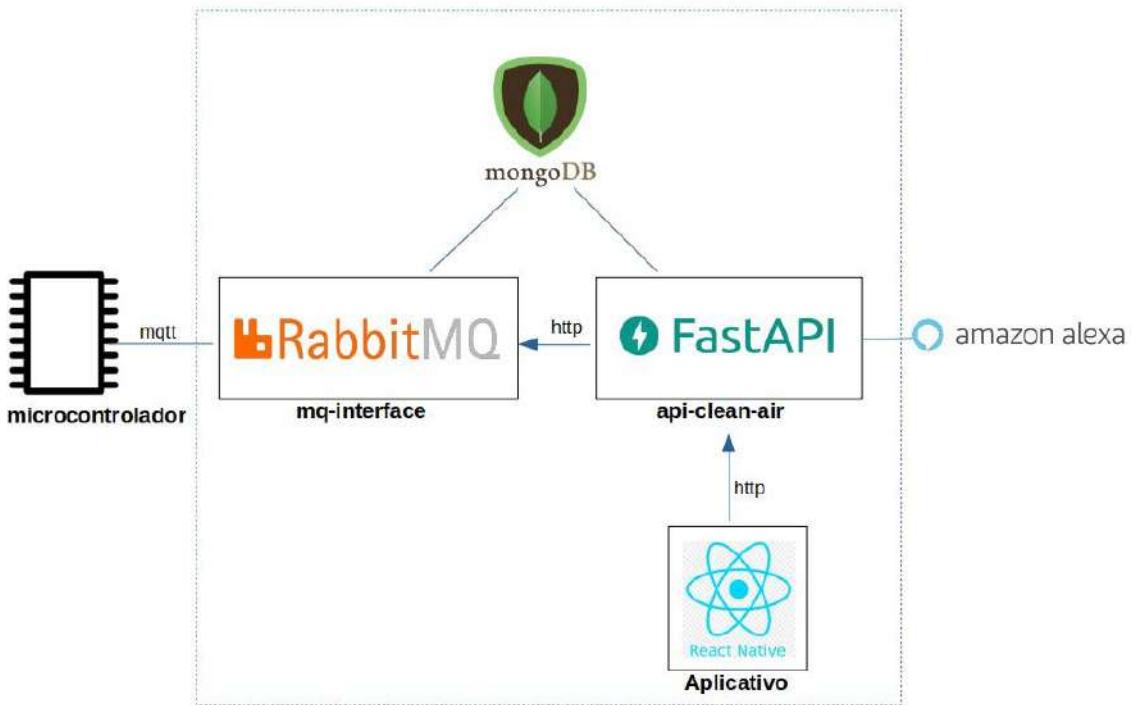


Figura 61 – Tecnologias da solução de software.

Message Queue Telemetry Transport (MQTT) que suporta comunicação assíncrona entre as partes (YUAN, 2017).

O serviço *api-clean-air* se comunica com este utilizando *Hypertext Transfer Protocol (HTPP)* que é um protocolo de transmissão de documentos hipermídia (MOZILLA, 2021), então é preciso de um *broker* (corretor) de mensagens para tradução entre os protocolos MQTT e HTPP. O corretor que está sendo utilizado é o *RabbitMQ* que é de código aberto e também é usado para gerenciar as filas de publicação das mensagens.

Há duas filas de mensagens, a primeira é para o microcontrolador publicar os dados dos sensores e tem como assinante o serviço *mq-interface* que, com ajuda do RabbitMQ, obtém esses dados e salva no *MongoDB*, um banco de dados não relacional. Já a segunda fila serve para o *mq-interface* publicar comandos para o microcontrolador tratar, então este último é o assinante desta fila.

O serviço é codificado em Python e no [repositório](#) está o código fonte que está organizado como mostra a Figura 62, em que:

- **src/** - Diretório que contém todo o código fonte do serviço;
- **main.py** - Arquivo que tem a responsabilidade de inicializar o serviço. Nele é criada a instância da aplicação utilizada para sua execução através do uso das configurações já estabelecidas;

- **controllers/** - Diretório que implementa as *controllers* do serviço para intermediar a comunicação com o banco de dados. As *controllers* são responsáveis pela validação dos dados e demais regras de negócio;
- **mq/** - Diretório responsável pelo gerenciamento das filas de mensagens com RabbitMQ;
- **mocks/** - Onde estão os *mocks* de dados para que seja possível realizar as simulações e testar a execução do software;
- **tests/** - Contém os testes unitários realizados sobre as funcionalidades das *controllers*;
- **settings.py** - Arquivo que contém todas as configurações do servidor, do *broker* e de *log*.

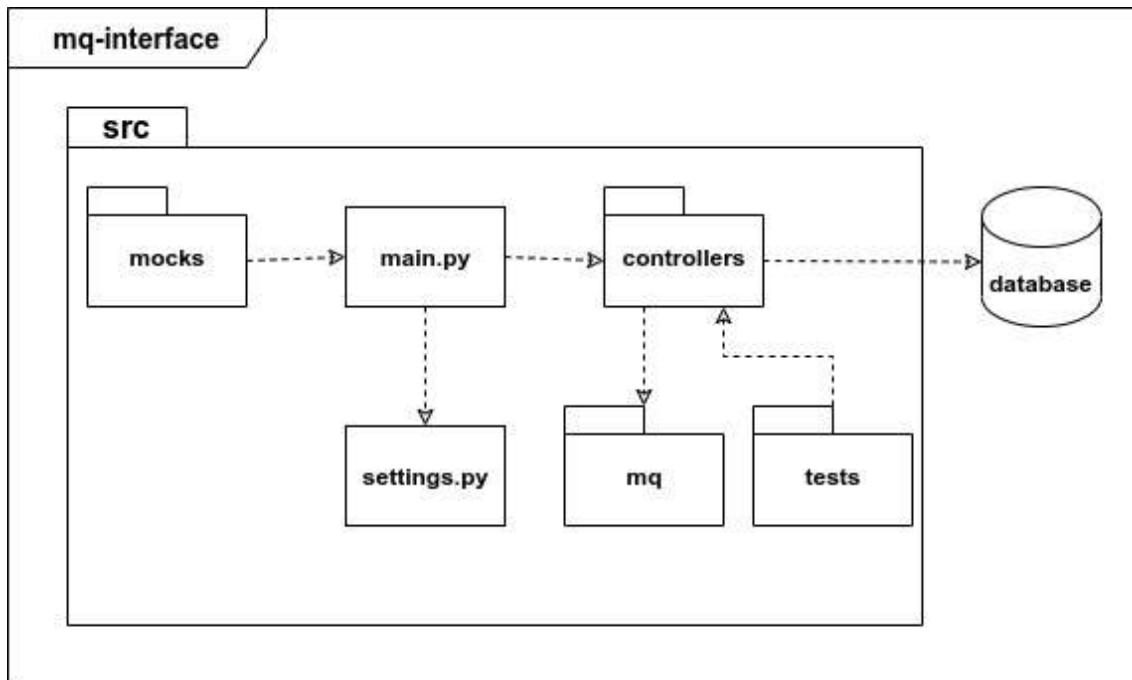


Figura 62 – Serviço *mq-interface*.

3.7.1.2 Serviço *api-clean-air*

O serviço *api-clean-air* é uma *Application Programming Interface (API)* com os princípios do *Representational State Transfer (REST)*, esses conceitos juntos formam um conjunto de rotinas e padrões de desenvolvimento que viabiliza uma comunicação cliente-servidor ([HAT](#),). Este serviço recupera os dados do banco, o mesmo que é alimentado pelo *mq-interface*, e trata-os para servir o aplicativo que é o cliente. Os dados trocados entre o aplicativo e o *api-clean-air* são no formato *JavaScript Object Notation (JSON)*.

O *api-clean-air* é responsável também por receber os comandos de voz feitos pela [Alexa](#), assistente virtual da empresa Amazon, e os comandos feitos através da interface do aplicativo. Ele envia esses comandos para o *mq-interface* usando o método *post* do HTTP.

Este serviço é feito usando o [FastAPI](#) que é um *framework* de código aberto para desenvolver APIs na linguagem de programação Python. Ele opera de forma assíncrona, oferecendo alta performance e facilidade na escrita dos códigos.

Neste [repositório](#) está o código fonte do serviço que está organizado como mostra a [Figura 63](#), em que:

- **src/** - Diretório que contém todo o código fonte do serviço;
- **main.py** - Arquivo que tem a responsabilidade de inicializar o serviço. Nele são definidos os *endpoints* e quais métodos HTTP são utilizados. É nele que será feita a interação com o serviço da Alexa;
- **controllers/** - Diretório que implementa as *controllers* do serviço para intermediar a comunicação com o banco de dados. As *controllers* são responsáveis pela validação dos dados e demais regras de negócio;
- **tests/** - Contém os testes unitários realizados sobre as funcionalidades das *controllers*;
- **settings.py** - Arquivo que contém todas as configurações do servidor, do *broker* e de *log*.

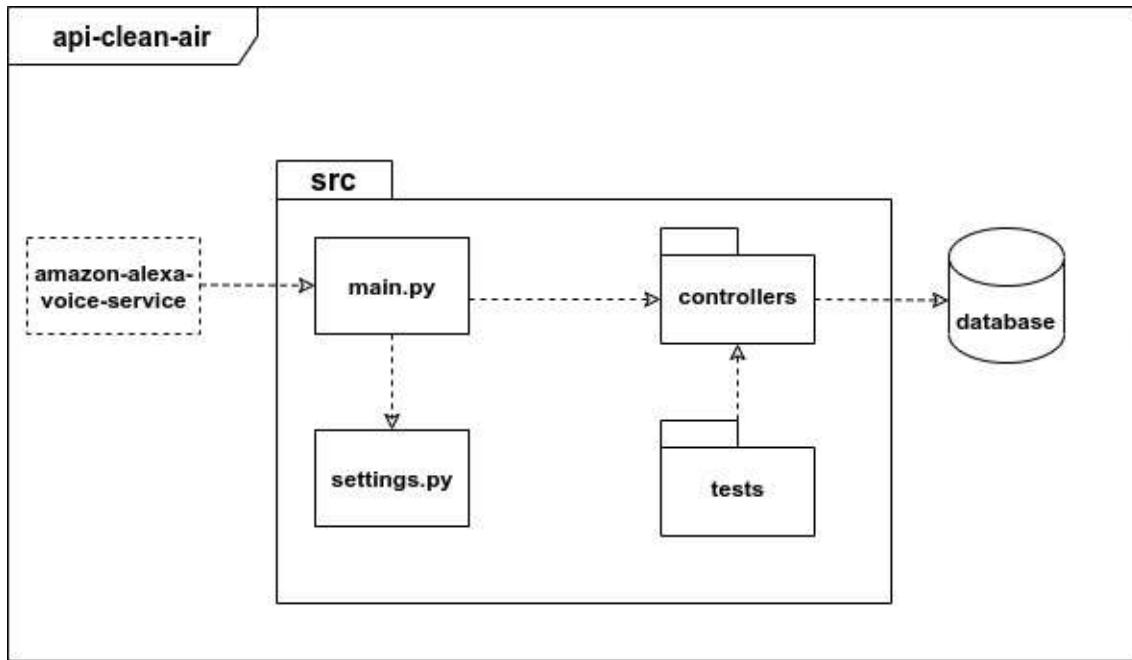
3.7.1.3 Front-end mobile

O aplicativo é acessado por dispositivos móveis que possuam conexão com a internet e sistema operacional Androind. É através dele que o usuário poderá visualizar, de forma amigável, os dados do purificador e dos ambientes de interesse e também realizar ações sobre o purificador. Para uso completo do aplicativo é necessário que o dispositivo móvel esteja conectado na mesma rede *Wi-Fi* que o purificador.

O aplicativo se comunica com o *api-clean-air* utilizando requisições HTTP. Ele é desenvolvido com [React Native](#) que é um *framework* de código aberto da empresa *Facebook* feito com a linguagem de programação JavaScript para desenvolver aplicações nativas para *smartphones*.

Neste [repositório](#) está o código fonte do serviço que está organizado como mostra a [Figura 64](#), em que:

- **App.js** - Arquivo que chama o componente principal do app que são as rotas;

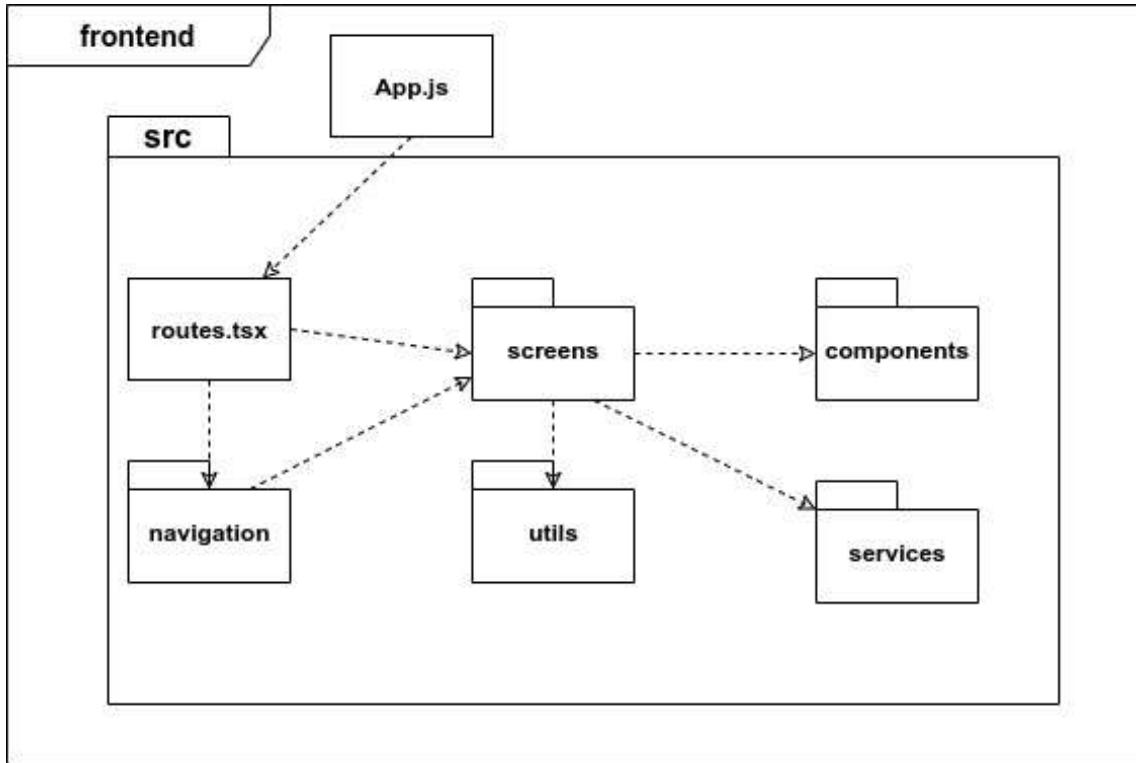
Figura 63 – Serviço *mq-interface*.

- **src/** - Diretório que contém todo o código fonte do serviço;
- **routes.tsx** - Arquivo responsável por carregar todas as telas. Para isso ele utiliza os módulos de *navigation* e de *screens*;
- **navigation/** - Diretório que controla o fluxo de navegação entre as telas. Ele faz uso do componente de *screens*;
- **screens/** - Contém as telas da aplicação. Para que as telas funcionem corretamente, esse módulo utiliza os diretórios de *services* e de componentes;
- **services/** - Diretório que contém os *endpoints* necessários para realizar as requisições feitas no aplicativo;
- **components/** - Inclui os componentes que são comuns às telas da aplicação. Os componentes podem ser *modals*, *inputs* de formulários, botões, etc.

3.7.2 Inovação

O conceito de *IoT (Internet of things)* atende bem os requisitos do *CleanAir*, visto que o número de dispositivos conectados é variável para cada ambiente e podem ser mudados conforme as necessidades do usuário. Para isso, é necessário um protocolo adequado para a transmissão de mensagens num sistema descentralizado.

MQTT é a sigla para *Message Queuing Telemetry Transport*, um protocolo de mensagens originalmente criado pela *IBM* que utiliza do modelo de Publish-Subscribe

Figura 64 – Serviço *mq-interface*.

para transmitir mensagens entre dispositivos e servidores de forma assíncrona e, assim como mensagens na internet, são enviados por meio de protocolos *TCP/IP*. Ao contrário de outros protocolos, como o *HTTP* esse tipo de transmissão de mensagens é mais adequado para o encaminhamento de mensagens a múltiplos dispositivos sem muitas restrições. (YUAN, 2017)

Dois principais agentes estão presentes na arquitetura do *MQTT*: o cliente, que se comunica com um servidor *broker*. Toda vez que um cliente (agora chamado de *publisher*) manda uma mensagem sobre um determinado assunto, ele irá publicar para todos aqueles que estiverem inscritos naquele assunto (os *subscribers*). Além disso, é possível configurar um nível de *QoS* (*Qualidade de Serviço*) para a mensagem enviada, com variados níveis de garantia de chegada ao recipiente. Mensagens via *MQTT* podem ser facilmente mandadas para serviços como *Amazon Web Services* ou, no caso do *CleanAir*, por meio da assistente *Alexa*.

3.7.3 Arquitetura da informação

O fluxo das informações da aplicação é representado através do [protótipo](#) que foi feito utilizando o [Figma](#). Ele serve como um guia para o desenvolvimento da interface e para usabilidade do aplicativo. Algumas telas do protótipo podem ser vistas no [Apêndice J](#).

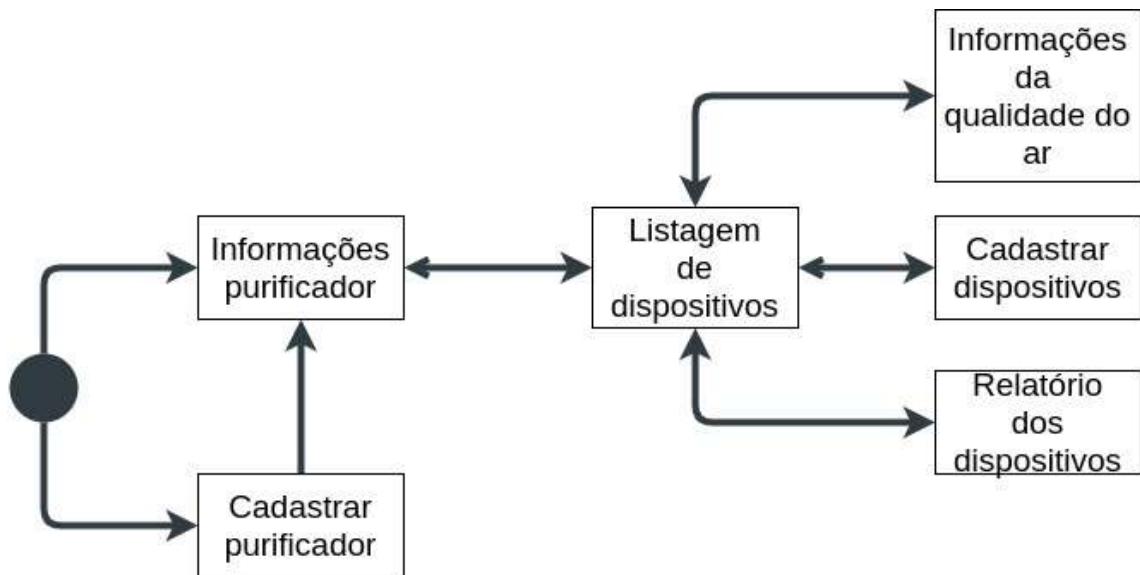


Figura 65 – Diagrama de *arquitetura da informação*.

Na Figura 65 está representado como é a interação entre as funcionalidades do aplicativo.

4 Custo e Precificação

Tabela 19 – Custos do Projeto

ID	Componente	Quantidade	Unitário	Final
01	Fast API	-	R\$ 0,00	R\$ 0,00
02	React Native	-	R\$ 0,00	R\$ 0,00
03	Digital Ocean	2 meses	R\$ 55,92*	R\$ 111,85
04	MongoDB Atlas	-	R\$ 0,00	R\$ 0,00
05	RabbitMQ	-	R\$ 0,00	R\$ 0,00
06	Sensor PMSA003I	1	R\$ 257,11*	R\$ 257,11*
07	Sensor Adafruit BME680	1	R\$ 108,39*	R\$ 108,39*
08	Sensor DGS-SO2	1	R\$ 411,80*	R\$ 411,80*
09	Sensor de MICS-6814	1	R\$ 233,22*	R\$ 233,22*
10	Sensor MQ-2	1	R\$ 20,90	R\$ 20,90
11	Sensor MQ-131	1	R\$ 73,38	R\$ 73,38
12	Display LCD	1	R\$ 189,90	R\$ 189,90
13	Botão Liga/Desliga	1	R\$ 26,90	R\$ 26,90
14	Botão Membrana Matricial	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00
15	ESP32	2	R\$ 49,70	R\$ 99,40
16	Indicador de Bateria	1	R\$ 16,06	R\$ 16,06
17	Micro Cooler Ventoinha	1	R\$ 12,90	R\$ 12,90
18	Estrutura externa (ACM)	0,27 m ²	R\$ 82,35	R\$ 22,50
19	Estrutura externa sensor (PETG)**	120g	R\$ 119,90	R\$ 25,00
20	Estrutura externa (Aço Inox 304 perfurado)	0,3 m ²	R\$ 1.376,20	R\$ 412,85
21	Jogo de rodizio 25 mm	4	R\$ 3,55	R\$ 14,20
22	Grelha de ventilação (PETG)**	250 g	R\$ 119,90	R\$ 35,00
23	Longarinas e junções (Barra chata de alumínio 6063-T5)	3	R\$ 25,80	R\$ 77,40
24	Vedaçao - Silicone	500g	R\$ 24,00	R\$ 48,00
25	Tampas de vedação (PETG)**	350 g	R\$ 119,90	R\$ 45,00
26	Peças plásticas em contato com a lâmpada UV - ASA WP	200 g	R\$ 138,00	R\$ 34,00
27	Parafusos allen cilíndrico M3 15 mm inox AISI 304	50	R\$ 0,22	R\$ 10,95

28	Parafusos allen cilíndrico M4 15 mm inox AISI 304	4	R\$ 0,75	R\$ 3,00
29	Moldura do filtro (PETG)**	210 g	R\$ 119,90	R\$ 32,50
30	Rebite Rosca M3 de alumínio	26	R\$ 0,98	R\$ 25,50
31	Chapa de aço inox 304 polido	0,07 m ²	R\$ 1.163,00	R\$ 81,45
32	Cianoacrilato	300g	R\$ 33,00	R\$ 99,00
33	Ventilador com Motor DC	1	R\$ 126,00*	R\$126,00
34	Bateria íon-lítio - AERDU 6S2P 24V 5Ah	2	R\$ 197,56	R\$395,12
35	Bateria lítio - INVENTO 5V 1800 mAh	1	R\$ 30,39	R\$30,39
36	Lâmpada UV	1	R\$249,00	R\$ 249,00
37	Filtro Hepa	2,5 m ²	R\$ 6,60	R\$ 16,50
38	Módulo Controlador De Carga Para Bateria De Lítio Tp4056	1	R\$ 20,40	R\$20,40
39	Filtro Manta De Carvão Ativado	100m ²	R\$ 36,90	R\$36,90
			Total	R\$ 3.417,47

*Valor convertido em real pela cotação do dólar do dia 17/03/2021.

**Inclui o custo total de fabricação de todos os componentes feitos em PETG.

5 Análise de Riscos

O gerenciamento dos riscos do projeto tem por objetivo aumentar a probabilidade e/ou impacto dos riscos positivos e diminuir a probabilidade e/ou o impacto dos riscos negativos, a fim de otimizar as chances de sucesso do projeto ([INSTITUTE, 2017](#)).

Através da Estrutura Analítica de Riscos (EAR), pode-se dimensionar com uma estrutura hierárquica de possíveis riscos nas seguintes categorias:

- Técnicos: Envolvem os requisitos, tecnologia, ferramentas, infraestrutura e operação
- Projeto: Envolve estratégia, estrutura e prioridade de processos
- Externos: Envolvem fornecedores, legislação e condições ambientais
- Produto: Envolvem mudanças no escopo, prazo, custos, falta e/ou inadequações dos recursos humanos, interesse das partes e comunicação.

5.1 Análise Quantitativa de Riscos

A análise quantitativa de riscos utiliza duas métricas para analisar os riscos do projeto:

- Probabilidade: chances de um risco ocorrer. Portanto, para a quantificação desse parâmetro utiliza-se o intervalo: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta, de acordo com a tabela 20.

Tabela 20 – Probabilidade de Risco

Probabilidade	Certeza	Peso
Muito Baixa	0 a 20%	1
Baixa	20 a 40%	2
Média	40 a 60%	3
Alta	60 a 80%	4
Muito Alta	80 a 100%	5

- Impacto: indica o quanto o risco impacta no projeto. Sendo quantificado a partir do mesmo intervalo da probabilidade: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta, como na tabela 21.

Tabela 21 – Probabilidade de Risco

Probabilidade	Descrição	Peso
Muito Baixa	Pouco Expressivo	1
Baixa	Pouco Impacto	2
Média	Impacto Médio	3
Alta	Grande Impacto	4
Muito Alta	Impacto Limitante de Continuidade	5

Com isso, pode-se obter uma matriz de probabilidade e impacto de cada risco a partir da tabela 22.

Tabela 22 – Matriz Probabilidade e Impacto

Ip	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
Muito Baixa	1	2	3	4	5
Baixa	2	4	6	8	10
Média	3	6	9	12	15
Alta	4	8	12	16	20
Muito Alta	5	10	15	20	25

Sendo que:

1. Risco ≥ 15 : Elevado
2. $5 < \text{Risco} < 15$: Médio
3. Risco ≤ 5 : Baixo

5.2 Descrição dos Riscos

5.2.1 Riscos do Projeto, Externos e do Produto

Tabela 23 – Riscos do Projeto

ID	Risco	Consequência
1	Mudança do Escopo	Alteração de cronograma e mudança de requisitos
2	Mudança de arquitetura	Necessidade de retrabalho
3	Desistência de membros	Alteração de quantidade de trabalho individual
4	Descompromisso da equipe	Falta de entregas nos prazos e baixa qualidade de projeto
5	Erro de Priorização	Não realizar atividades importantes para o desenvolvimento do projeto
6	Tamanho da equipe	Diminui a qualidade das entregas, aumenta o custo do projeto, afeta o planejamento e dificulta a comunicação entre os membros

Tabela 24 – Riscos Externos

ID	Risco	Consequência
7	Integrante ser acometido de alguma doença e/ou acidente	Sobrecarga da equipe
8	Problemas na estação de trabalho	Falta de comunicação e desenvolvimento de projeto
9	Conflito com outras atividades acadêmicas	Atraso nas entregas do projeto

Tabela 25 – Riscos do Produto

ID	Risco	Consequência
10	Falta de testes experimentais	Solução pouco assertiva
11	Falta de direcionamento por não possuir cliente real	Falta de soluções condizentes com a real necessidade
12	Alta concentração de poluentes no ambiente	Perda da efetividade dos filtros
13	Falta de conexão de internet	Funcionalidades limitadas
14	Má manutenção do produto	Perda de funcionalidades e desempenho do produto
15	Má utilização do produto	Danificação na estrutura e em conexões elétricas

Tabela 26 – Riscos e Ações

ID	Ação	Ação Reativa	Probabilidade	Impacto	Prioridades
1	Prevenir	Acompanhamento de atividades desenvolvidas constante	3	4	12
2	Mitigar	Procurar suportes com professores e pesquisa de novas soluções	3	5	15
3	Aceitar	Redistribuição de atividades	2	4	8
4	Mitigar	Responsabilização de atividades e impacto do projeto para o todo, como a aproximação de decisão da equipe	3	4	12
5	Prevenir	Utilização de metodologias de priorização e reavaliação das prioridades	3	5	15
6	Aceitar	Gerenciamento de recursos humanos e acompanhamento diário	2	3	6
7	Aceitar	Redistribuição de atividades até o retorno do membro	3	2	6
8	Aceitar	Redistribuição de atividades até reestabelecimento da estação de trabalho	2	3	6
9	Mitigar	Gerenciamento de tempo e organização de atividades acadêmicas	4	4	16
10	Aceitar	Realizar simulações procurando aproximar da realidade	5	4	20
11	Mitigar	Pesquisas de mercado com potenciais clientes	4	2	8
12	Prevenir	Alertar por meio de manual de uso	3	3	9
13	Aceitar	Controle manual do sistema com funcionalidades básicas	4	2	8
14	Prevenir	Notificações para o usuário sobre troca de componentes e instruções em manual	3	4	12
15	Prevenir	Instruções em manual de uso	4	4	16

5.3 Riscos Técnicos

5.3.0.1 Riscos Estruturais

Foram elencados os seguintes riscos para a área:

Tabela 27 – Riscos Técnicos Estruturais

ID	Risco	Consequência
1	Formação de trinca e fratura na estrutura	Mau funcionamento e instabilidade
2	Falha na integração dos compartimentos ao corpo principal	Gerar ruído, vibração e temperatura elevada
3	Travamento das peças móveis do mecanismo	O mau dimensionamento de algumas peças ou a má lubrificação pode causar travamento do mecanismo
4	Conflitos entre peças do mecanismo	O mecanismo pode atrapalhar a montagem e posicionamento do sistema eletrônico
5	Falha na vedação	Perda de eficiência do mecanismo purificador

Tabela 28 – Riscos e Ações Estruturais

ID	Ação	Ação Reativa	Probabilidade	Impacto	Prioridades
1	Mitigar	Simulações numéricas com testes de tração, de impacto e de cisalhamento	2	5	15
2	Prevenir	O design dos suportes será feito em conjunto com os componentes a serem utilizados.	1	3	10
3	Mitigar	Utilizar mecanismo previamente testados e com alta qualidade antes de integrá-lo. Lubrificação das devidas partes	3	4	12
4	Prevenir	Pré-montagem no CAD para assegurar o correto dimensionamento	2	5	10
5	Prevenir	Projetar os componentes complexos com as devidas especificações e utilizar materiais para a correta selagem	4	5	20

5.3.0.2 Riscos Eletrônicos

Foram elencados os seguintes riscos para a área:

Tabela 29 – Riscos Técnicos de Eletrônica

ID	Risco	Consequência
1	Falha de sensoriamento	Perda de dados essenciais
2	Falha no barramento de dados	Perda da comunicação dos sensores ou atuadores
3	Falha no sistema de alimentação dos componentes eletrônicos	Perda de todas funcionalidades
4	Falha no sistema de controle central	Perda de todas funcionalidades
5	Erro de dimensionamento do microcontrolador	Falta de quantidade de portas
6	Distância maior que o alcance do Wi-Fi	Perda de comunicação entre dispositivos e recursos mobile
7	Obstrução de entrada e saída de ar	Medição imprecisa dos sensores
8	Curto-circuito	Mau funcionamento de todas as funções
9	Interferência eletromagnética	Dificuldade de comunicação entre dispositivos e inconstância no funcionamento do sistema
10	Corrompimento de banco de dados	Perda de dados atualizados
11	Falha na comunicação de internet	Perda de alguns recursos do aplicativo <i>Mobile</i> .

Tabela 30 – Riscos e Ações Eletrônica

ID	Ação	Ação Reativa	Probabilidade	Impacto	Prioridades
1	Mitigar	Desenvolver testes individuais para os sensores e desenvolver um sistema de aviso	2	5	10
2	Mitigar	Desenvolver um sistema de avisos	3	5	15
3	Prevenir	Melhor disposição para o bom funcionamento do microcontrolador	2	5	10
4	Prevenir	Assegurar dimensionamento correto para os parâmetros estabelecidos	1	5	5
5	Mitigar	Escolher a melhor configuração adequada para não ter muito gasto com placas , além de definir bem a quantidade de portas necessárias para o projeto	1	4	4
6	Prevenir	Fazer recomendações ao usuário que os dois dispositivos devem estar conectados a internet	4	5	20
7	Prevenir	Alertar o usuário sobre o uso correto do sensor	1	5	5
8	Mitigar	Realizar manutenção da máquina	2	5	10
9	Prevenir	Blindar o equipamento contra interferência eletromagnética externa	1	4	4
10	Mitigar	Restaurar banco de dados do servidor	2	3	6
11	Mitigar	Armazenar dados necessários e enviar quando a conexão for restabelecida	4	3	12

5.3.0.3 Riscos Energéticos

Foram elencados os seguintes riscos para a área:

Tabela 31 – Riscos Técnicos Energéticos

ID	Risco	Consequência
1	Tensão de flutuação gerando sobre-carga	Reducir a vida útil da bateria
2	Falha no sistema de carregamento da bateria	Não acionamento da bateria
3	Falha no motor DC	Travamento do eixo da carga, causando dificuldade na partida do motor, devido a elevada queda de tensão, inércia e torque de carga muito elevados
4	Mau dimensionamento do motor	Possibilidade do motor não ser aplicável no projeto
5	Superaquecimento da bateria	Causar incêndio
6	Mau dimensionamento do local	A eficiência irá diminuir
7	Porcentagem de filtração menor que 99,95%	Passagem de partículas indesejadas
8	Passagem de partículas indesejadas	Ruído excessivo, podendo causar incômodo no usuário, poluição sonora

Tabela 32 – Riscos e Ações Energia

ID	Ação	Ação Reativa	Probabilidade	Impacto	Prioridades
1	Prevenir	Instalar um filtro de linha em sua placa de distribuição.	2	4	8
2	Prevenir	Instalar um Sistema de Gestão da bateria (BSM)	2	5	10
3	Mitigar	Realizar manutenções no motor	3	5	15
4	Prevenir	Desenvolver testes com o motor	2	4	8
5	Mitigar	Instalar um Sistema de Gestão da bateria (BMS)	3	4	12
6	Prevenir	Recomendações de uso ao usuário	1	3	3
7	Prevenir	Manutenção no filtro	2	3	6
8	Mitigar	Calibrar o motor	2	3	6

5.3.0.4 Riscos Software

Foram elencados os seguintes riscos para a área:

Tabela 33 – Riscos Técnicos de Software

ID	Risco	Consequência
1	Falha de conexão da aplicação com o purificador	Não é possível a aplicação exibir os dados e enviar notificações
2	Atraso na comunicação entre o purificador e a aplicação	A aplicação demora pra responder aos comandos. Usabilidade ruim
3	Falha na conexão com a Alexa	Usuário não pode usar as funcionalidades de comando por voz
4	Dificuldades com as tecnologias escolhidas	Atrasos nas entregas
5	Alteração das tecnologias	Refatoração e atrasos nas entregas

Tabela 34 – Riscos e Ações Software

ID	Ação	Ação Reativa	Probabilidade	Impacto	Prioridades
1	Prevenir	Usar tecnologias e protocolos que evitem essa situação	3	4	12
2	Mitigar	Dar prioridade aos processos relacionados à recuperação dos dados sensores	5	5	16
3	Prevenir	Usar tecnologias e protocolos que evitem essa situação	3	2	6
4	Prevenir	Estudo regular e rotação de conhecimento dentro da equipe	3	4	12
5	Mitigar	Incluir todos os membros na refatoração para que ela seja executada o mais rápido possível	1	5	5

6 Considerações Finais

Com o impacto de como poluentes podem afetar as nossas vidas, a preocupação com o ar que respiramos se torna cada vez mais importante, tendo em vista que em grande parte do dia a dia, indivíduos encontram-se em ambientes fechados, onde a qualidade do ar interfere diretamente a sua saúde.

O projeto *CleanAir* vem com o objetivo de reduzir este problema, através da possibilidade de monitorar a qualidade do ar em locais fechados e fazer a purificação do ambiente. Todo o processo é feito com o posicionamento de um dispositivo sensor que irá monitorar a qualidade do ar do ambiente desejado, e caso necessário, a purificação é realizada com o uso de um purificador móvel, que irá filtrar partículas contaminantes, bactérias e germicidas do ambiente. Todo este processo é gerenciável por aplicativo, onde estará disponível ao usuário a visualização da qualidade do ar do ambiente, a visualização de ambientes com o IQA abaixo do recomendado, controle do purificador e demais utilidades. As principais funcionalidades também estarão disponível por controle de voz, para uma maior praticidade de uso.

Referências

ABNT. *Norma ABNT NBR 16401-3*. 2008. Citado 5 vezes nas páginas 56, 58, 59, 69 e 142.

ABNT, N. 5410: 2004. *Instalações elétricas de baixa tensão*, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 143 e 144.

ABNT, N. Plugues e tomadas para uso doméstico e análogo até 20a/220v em corrente alternada. 2012. Citado na página 136.

AFINKO. *EPDM ou Silicone? Qual a melhor borracha?* 2018. <<https://afinkopolimeros.com.br/epdm-ou-silicone/>>. Acesso em: 20 mar. 2021. Citado na página 98.

AHMAD, Z. *Principles of corrosion engineering and corrosion control*. [S.l.]: Elsevier, 2006. Citado na página 79.

ANVISA. *Guia da Qualidade para Sistemas de Tratamento de Ar e Monitoramento Ambiental na Indústria Farmacêutica*. 2013. Disponível em: <https://conforlab.com.br/legislacao/qualidade_do_ar_final.pdf>. Citado na página 59.

ASM. *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. 2. ed. [S.l.]: Metals Handbook, 1995. Citado na página 96.

ATHOS ELECTRONICS. *Relé – O que é e como funciona*. 2020. Disponível em: <<https://athoselectronics.com/rele/>>. Acesso em: 16 mar. 2021. Citado na página 35.

BASTO, J. E. Qualidade do ar interno. *Itajaí, SC, Brasil*. [citado 2017/out/14]. Disponível em: [\(Acessado em 10/09/2019\)](http://www.anest.org.br), 2007. Citado na página 24.

BEER, F. P. et al. *Vector mechanics for engineers*. [S.l.]: Tata McGraw-Hill Education, 1977. v. 1. Citado na página 95.

BOSH. Datasheet bme680. 2017. Disponível em: <<https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/3660/BME680.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2021. Citado na página 40.

BRANDT, A. . R. . *Retificadores semicondutores não controlados*. 1975. Citado na página 137.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. *Ciência e engenharia de materiais:uma introdução*. 8. ed. [S.l.]: Rio de Janeiro: LTC, 2012. Citado na página 97.

CETESB. Qualidade do ar- poluentes. 2021. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>>. Acesso em: 02 mar. 2021. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.

CIPELLI, A. M. V. *Teoria e desenvolvimento de projetos de circuitos eletrônicos*. [S.l.]: Érica, 1988. Citado na página 138.

COMPONENTS INFO. *IRF540 Pinout, Equivalent, Specs, Applications More*. 2020. Disponível em: <<https://www.componentsinfo.com/irf540-pinout-equivalent/>>. Acesso em: 16 mar. 2021. Citado na página 37.

CONAMA. *Resoluções CONAMA: 1984 a 1991*. [S.l.]: Secretaria do Meio Ambiente da Presidência da República, Conselho Nacional . . . , 1992. Citado na página 22.

CONAMA. *RESOLUÇÃO Nº 491*. 2018. <https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TzC2Mb/content/id/51058895#:~:text=SO2%3D%20di%C3%B3xido%20de%20enxofre%3B%20MP10,%3B%20ppm%20%3D%20partes%20por%20milh%C3%A3o.> Acesso em: 17 mar. 2021. Citado na página 38.

DUARTE, J. Épico - conceitos e aplicações dentro das metodologias Ágeis. GP4US, 2020. Citado na página 29.

ELÉTRICAS, T. F. d. D. I. et al. Fusíveis elétricos. 1992. Citado na página 50.

ELETROGATE. *Micro Cooler Ventoinha DC - 5V*. 2020. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/micro-cooler-ventoinha-dc-5v?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&gclid=Cj0KCQjw0caCBhCIARIsAGAfuMwirTAUf9UQbde0szGC0y0lGgMKNOeyFDBer7ucgULO8H3ZPzwCwB. Acesso em: 17 mar. 2021. Citado na página 48.

ELETRONICS, H. *MQ2-DATASHEET*. 2020. Disponível em: <<https://www.mouser.com/datasheet/2/321/605-00008-MQ-2-Datasheet-370464.pdf>>. Citado na página 41.

ELETRONICS, W. *MQ131-DATASHEET*. 2020. Disponível em: <<https://datasheetspdf.com/pdf/770517/ETC/MQ-131/1>>. Citado na página 44.

ESP32. Esp32 - datasheet. p. 43, 2016. Disponível em: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/IoT/esp32_datasheet_en.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2021. Citado na página 49.

ESPRESSIF. *ESP-NOW*. 2021. Disponível em: <<https://www.espressif.com/en/products/software/esp-now/overview>>. Citado na página 51.

FALLER, R. R. *Engenharia e Design: Contribuição ao Estudo da Seleção de Materiais no Projeto de Produto com Foco nas Características Intangíveis*. 216 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia - Programa de Pós-Graduação em Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM) — UFGRS, Porto Alegre, 2009. Citado na página 96.

FERNANDES, A. R. Análise da qualidade do ar e preocupações com a saúde. p. 80, 2017. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/102619/2/180885.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2021. Citado na página 23.

FIGUEIREDO, E. Requisitos funcionais e não funcionais. UFMG, 2016. Citado na página 29.

FILAMENT2PRINT. *Que é o ASA na impressão 3D?* 2018. Disponível em: <https://filament2print.com/pt/blog/43_asa-impressao-3d.html>. Acesso em: 20 mar. 2021. Citado na página 98.

FIORIO, R. *Efeitos da incorporação de Oligouretonos de Baixa Massa Molar nas Propriedades Térmicas, Mecânicas e Reológicas do Poliuretano Termoplástico*. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia - Programa de Pós-Graduação em Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM) — UFGRS, Porto Alegre, 2007. Citado na página 97.

- FLUENT, A. Fluent 14.0 user's guide. *ANSYS FLUENT Inc*, 2011. Citado na página 68.
- GUPTA, Y. et al. Design and fabrication of air purifier using hepa filter. *Lovely Professional University- Índia*, 2019. Citado na página 58.
- HARDMAN, K. Calendering. In: *Processing Plastics*. [S.l.]: Springer, 1972. p. 69–74. Citado na página 79.
- HAT, R. *O que é API REST?* Disponível em: <<https://www.redhat.com/pt-br/topics/api/what-is-a-rest-api>>. Acesso em: 15 mar. 2021. Citado na página 102.
- HATCH, J. *Aluminum: Properties and Physical Metallurgy*. [S.l.]: ASM, 1984. Citado na página 96.
- INSTITUTE, P. M. *Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos- Guia PMBOK*. [S.l.: s.n.], 2017. 726 p. Citado na página 109.
- ISO16000. Geneva, CH, 2014. v. 2014. Citado na página 40.
- JARDIM, C. H. Relações entre entre temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica em área urbana: comparação horária entre dois bairros no município de são paulo-sp. *Revista Geografias*, p. 128–142, 2011. Citado na página 23.
- KELLY, F.; FUSSELL, J. Air pollution and airway disease. *Clinical & Experimental Allergy*, Wiley Online Library, v. 41, n. 8, p. 1059–1071, 2011. Citado na página 24.
- LARA, A. R. *Doenças relacionadas à poluição do ar*. 2020. <<https://www.msdmanuals.com/pt/casa/dist%C3%BArbios-pulmonares-e-das-vias-respirat%C3%B3rias/doen%C3%A7as-pulmonares-ambientais/doen%C3%A7as-relacionadas-%C3%A0-polui%C3%A7%C3%A7%C3%A3o-do-ar>>. Acesso em: 17 mar. 2021. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 43.
- LIMA, C. B. Técnicas de projetos eletrônicos com os microcontroladores avr. *Edição do autor-Clube de Autores*, 2010. Citado na página 53.
- MADENCI, E.; GUVEN, I. *The finite element method and applications in engineering using ANSYS®*. [S.l.]: Springer, 2015. Citado na página 92.
- MALHEIROS, T. F.; JR, A. P.; COUTINHO, S. M. V. Agenda 21 nacional e indicadores de desenvolvimento sustentável: contexto brasileiro. *Saúde e Sociedade*, SciELO Public Health, v. 17, p. 7–20, 2008. Citado na página 22.
- MATWEB. *Overview of materials for PETG copolyester*. 2021. Disponível em: <http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=4de1c85bb946406a86c52b688e3810d0>. Acesso em: 16 mar. 2021. Citado na página 98.
- MATWEB. *Overview of materials for Thermoplastic Polyurethane, Elastomer, Glass Filled*. 2021. Disponível em: <<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=2fe782a31c4b4bed984b49651762b086&ckck=1>>. Acesso em: 16 mar. 2021. Citado na página 97.
- MEGSON, T. *An Introduction To Aircraft Structural Analysis*. 1. ed. [S.l.]: Elsevier, 2010. Citado na página 76.

- MICROSOFT. *Padrão Publisher-Subscriber*. 2018. Disponível em: <<https://docs.microsoft.com/pt-br/azure/architecture/patterns/publisher-subscriber>>. Acesso em: 16 mar. 2021. Citado na página 100.
- MOHANEY, P.; SONI, E. G. Aluminium composite panel as a facade material. *International journal of engineering trends and technology (IJETT)–Volume*, v. 55, 2018. Citado na página 96.
- MOZILLA. *HTTP Tutoriais*. 2021. Disponível em: <<https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/HTTP>>. Acesso em: 15 mar. 2021. Citado na página 101.
- NORTON, R. L. *Projeto de máquinas: uma abordagem integrada*. 4. ed. [S.l.]: Porto Alegre: Bookman, 2013. Citado na página 97.
- OMS. Who. air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide. global update 2005. *Summary of Risk Assessment*, 2006. Citado na página 23.
- OMS. *How air pollution is destroying our health*. 2020. Disponível em: <<https://www.who.int/news-room/spotlight/how-air-pollution-is-destroying-our-health>>. Acesso em: 16 mar. 2021. Citado na página 126.
- POLLUTANTS, C. on the Medical Effects of A. The effects of long-term exposure to ambient air pollution on cardiovascular morbidity: Mechanistic evidence. 2018. Citado na página 23.
- PRUSSIN et al. Total virus and bacteria concentrations in indoor and outdoor air. *Environmental science & technology letters*, NIH Public Access, v. 2, n. 4, p. 84, 2015. Citado na página 24.
- RIBEIRO, H.; ASSUNÇÃO, J. V. d. Efeitos das queimadas na saúde humana. *Estudos avançados*, SciELO Brasil, v. 16, n. 44, p. 125–148, 2002. Citado na página 41.
- RIZZO, M. C. O impacto do meio ambiente no trato respiratório. *J pediatr*, v. 74, n. Supl 1, p. S12–20, 1998. Citado na página 24.
- SCHIRMER, W. N. et al. A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes. *Ciência & Saúde Coletiva*, SciELO Brasil, v. 16, n. 8, p. 3583–3590, 2011. Citado na página 22.
- SCHNEIDER, R. P. et al. *Manuseio de Produtos Químicos*. [S.l.]: Capítulo, 2011. Citado na página 56.
- SHIGLEY, J. E.; MISCHKE; R BUDYNAS, R. G. C. *Projeto de Engenharia Mecânica*. 7. ed. [S.l.]: Porto Alegre: Bookman, 2005. Citado na página 95.
- SILVA, M. V. B. D. *Caracterização Mecânica de Materiais Utilizados em Prototipagem Rápida por Deposição de Material Fundido para Aplicação Aeroespacial*. 112 f. Monografia (Graduação em Engenharia Aeroespacial) — Faculdade do Gama, Universidade de Brasília, UnB, Brasília, 2018. Citado na página 98.
- SL, H. I. Ficha tÉcnica cianocrilato. p. 4, 2018. Disponível em: <<http://www.heypar.eu/wp-content/uploads/2018/02/CIANOCRILATO.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2021. Citado na página 99.

- SPARKS, T.; CHASE, G. *Filters and filtration handbook*. [S.l.]: Elsevier, 2016. Citado na página 59.
- SPEC. Datasheet dgs-so2. 2017. Disponível em: <<https://www.spec-sensors.com/wp-content/uploads/2017/01/DGS-SO2-968-038.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2021. Citado na página 41.
- STACBOND. *Technical data sheet ACM*. 2021. Disponível em: <<https://stacbond.es/en/paneles/stac-bond-pe/>>. Acesso em: 19 mar. 2021. Citado na página 96.
- TAGLIAFERRO, G. V. *Equação da Energia para Regime Permanente*. 2012. Citado na página 60.
- WINSEN. Mq131 - datasheet. p. 6, 2014. Disponível em: <<https://aqicn.org/air/view/sensor/spec/o3.winsen-mq131.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2021. Citado na página 44.
- XU, Z. *Fundamentals of Air Cleaning Technology and Its Application in Cleanrooms*. 1a edição. ed. [S.l.]: Springer, 2014. Citado na página 55.
- XU, Z.; ZHOU, B. *Fundamentals of air cleaning technology and its application in cleanrooms*. [S.l.]: Springer, 2014. Citado 3 vezes nas páginas 6, 81 e 82.
- YUAN, M. *Conhecendo o MQTT*. 2017. Disponível em: <<https://developer.ibm.com/br/technologies/iot/articles/iot-mqtt-why-good-for-iot/>>. Acesso em: 15 mar. 2021. Citado 2 vezes nas páginas 101 e 105.
- ZORAN, M. A. et al. Assessing the relationship between surface levels of pm2. 5 and pm10 particulate matter impact on covid-19 in milan, italy. *Science of the total environment*, Elsevier, v. 738, p. 139825, 2020. Citado na página 24.

Apêndices

APÊNDICE A – TERMO DE ABERTURA DE PROJETO (TAP)

A.1 Descrição do Projeto



Figura 66 – Logomarca do Produto *CleanAir*

O projeto é um sistema de purificação de ar que detecta moléculas de impurezas no ar, composto por duas partes um aparelho maior que filtra o ar e devolve para o ambiente e um aparelho menor responsável por averiguar se o local precisa de uma purificação.

- *What?* (O que) Purificador de ambiente portátil que seja capaz de medir a qualidade do ar e filtrar o ar de microorganismos contaminantes em casas.
- *Why?* (Por que) Aliviar a insegurança e resguardar a saúde respiratória do usuário.
- *Where?* (Onde) Residências.
- *When?* (Quando) O desenvolvimento será de fevereiro a maio de 2021.
- *Who?* (Quem) Grupo de estudantes de graduação de engenharia da Faculdade do Gama.
- *How?* (Como) Será desenvolvido um produto que faça a captação do ar e devolução do ar filtrado para o ambiente, analisando a periodicidade que deve ser feito de acordo com os níveis elencados como positivos para o índice de qualidade do ar interior.
- *How Much?* (Quanto) Custos foram estimados em R\$ 3.417,47.

A.2 Justificativa

A poluição do ar doméstico é uma das áreas que precisa de atenção no combate a doenças respiratórias, visto que há a tendência que cada vez mais as pessoas passem mais tempo em suas residências. De acordo com a [OMS \(2020\)](#), nove em cada dez pessoas estão expostas a partículas e agentes perigosos, que afetam o nosso sistema respiratório. Sendo a má qualidade do ar um dos ativos para crises de problemas respiratórios e doenças cardíacas, que afetam muitas pessoas no mundo inteiro. Logo, o projeto tem o intuito de desenvolver um purificador de ar com um preço de mercado equivalente a produtos similares para reduzir as partículas infecciosas no ar para que dessa forma possa diminuir o índice de problemas respiratórios.

A.3 Objetivo

Sensorear a qualidade do ar de uma área pré-determinada, analisando o nível dos gases e partículas poluentes, visando o registro e alerta para a purificação do ar naquele ambiente, notificando o usuário. A aplicação tem o objetivo de informar, alertar e notificar de possíveis agentes que possam prejudicar a saúde do usuário. Com integração em aplicativo para o melhor monitoramento dos ambientes residenciais, o intuito do projeto é auxiliar na qualidade do ar e consequentemente diminuir a frequência de doenças respiratórias devido ao acúmulo de poluentes nas residências.

A.4 Requisitos

Os requisitos de alto-nível elencados foram:

- Sensoriamento automatizado de gases e partículas infecciosas
- Purificar o ar de ambientes fechados com metragem entre 70-80 m^2 com densidade máxima de 0.3-5 pessoas/ m^2
- Possuir material resistente a impactos e água
- Autonomia energética
- O produto deverá possuir menor custo que similares
- O produto deverá ser recarregável
- O produto deverá ter mobilidade e até 1 metro de altura
- O produto não deverá produzir ruídos acima de 60 dB

- O produto deverá ser de fácil manutenção e uso
- O sistema deverá detectar quando não for necessário manter a purificação ligada
- O sistema deverá notificar o usuário sobre a qualidade do ar e quando for necessário ter a troca do filtro
- O produto deverá possuir um aplicativo para controle remoto

A.5 Riscos

A tabela 35, descreve os riscos elencados durante a abertura do projeto.

Tabela 35 – Riscos na Abertura do Projeto

ID	Risco	Consequência
1	Mudança do Escopo	Alteração de Cronograma e mudança de requisitos
2	Solução não atender os objetivos propostos	Mudança de produto e escopo
3	Desistência de membros	Alteração de quantidade de trabalho individual
4	COVID-19	Falta de membro e menor facilidade de comunicação pelo trabalho remoto

A.6 Marcos do Projeto

Durante a execução projeto, ocorrerão entregas principais, os Pontos de Controle (PC). Na tabela 36, é descrito os marcos e suas datas.

Tabela 36 – Marcos do projeto

Marco	Descrição	Data
PC 1	Problematização, concepção e detalhamento da solução	21/03
PC 2	Projeto e construção do subsistema da solução da proposta	18/04
PC 3	Projeto de subsistemas e integração da solução proposta	09/05

A.7 Stakeholders

A.7.1 Equipe

Engenharia Aeroespacial: Caio Araújo, Dérick Fernandes e Thaís Melo.

Engenharia Automotiva: Gabriel Castro e Natália Guimarães.

Engenharia Eletrônica: Daniela Oliveira, Manuella Ramos e Luisa Silva.

Engenharia de Energia: Ginette Schroetter e Lívia Moura

Engenharia de Software: Caio Moraes, Eduardo Ribeiro, Rossicler Junior e Sara Silva

A.7.2 Professores

Alex Reis (Engenharia de Energia)

Ricardo Matos Chaim (Engenharia de Software)

Rhander Viana (Engenharia Automotiva)

José Felício da Silva (Engenharia Eletrônica)

Paolo Gessini (Engenharia Aeroespacial)

Junpyo Lee (Engenharia Aeroespacial)

APÊNDICE B – Estrutura Analítica do Projeto (EAP)

B.1 Ponto de Controle 1

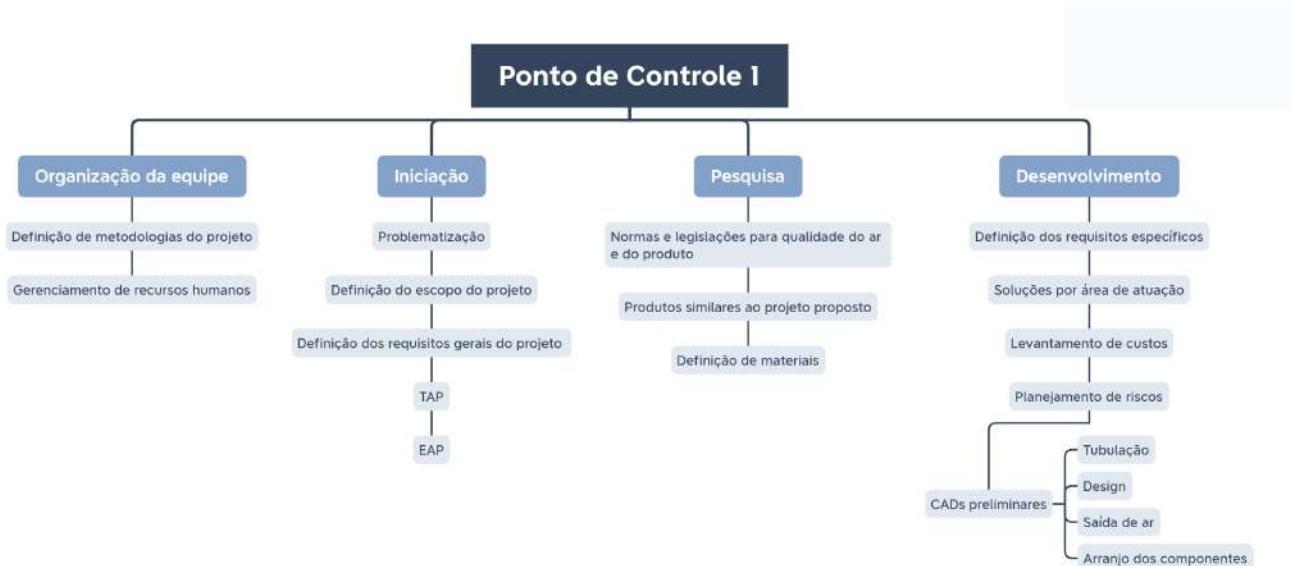


Figura 67 – Organograma da EAP para o ponto de controle 1.

B.2 Ponto de Controle 2

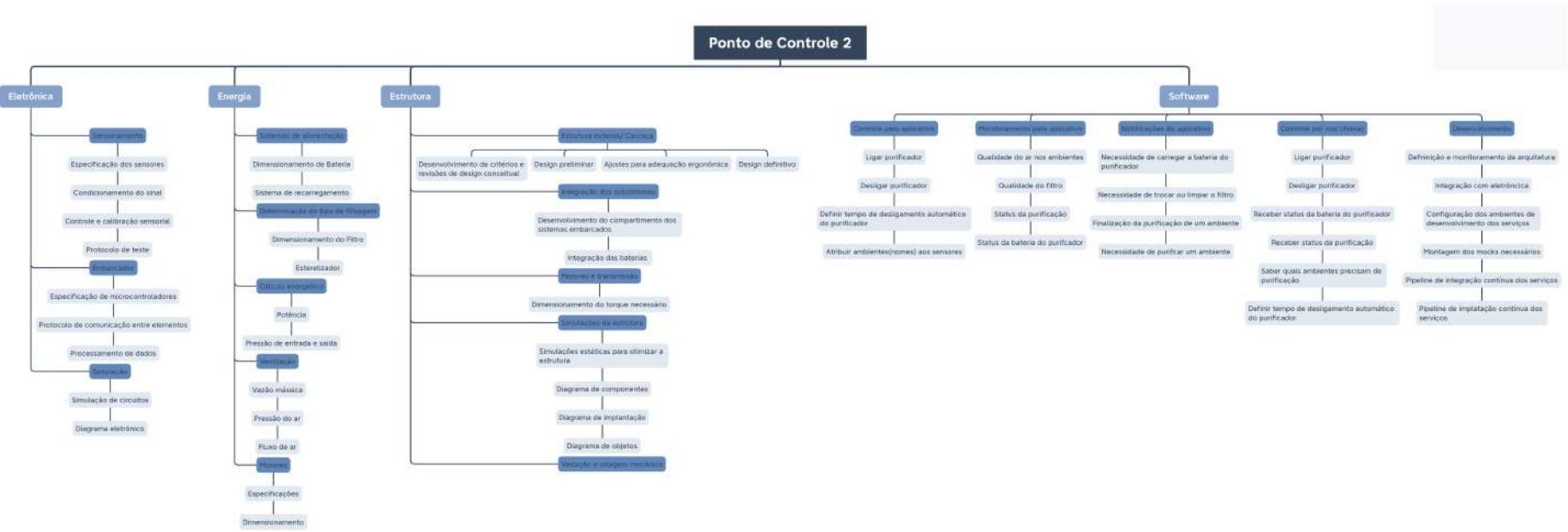


Figura 68 – Organograma da EAP para o ponto de controle 2.

B.3 Ponto de Controle 3



Figura 69 – Organograma da EAP para o ponto de controle 3.

APÊNDICE C – Principais Decisões de Software

Algumas decisões relevantes para software foram tomadas desde o começo do projeto. Este apêndice é destinado a manter esse histórico. As principais decisões foram:

- **(24/02/2021) Integração com Alexa:** Por decisão do grupo, foi retirado do escopo do projeto a locomoção autônoma do purificador, consequente foi tirado do escopo de software a funcionalidade de mapeamento automático e de desvio de obstáculos. Então, para aumentar as funcionalidades de software, a equipe decidiu incluir no escopo integração com a assistente virtual Alexa.
- **(12/03/2021) Uso do protocolo MQTT:** Em razão da decisão, feita pela equipe de Eletrônica, de usar um microcontrolador que já trabalha com protocolo MQTT, a equipe de Software também irá usar o protocolo para se comunicar com o purificador. Para auxiliar nessa comunicação, será utilizado o RabbitMQ, seu uso está explicado melhor na [seção 3.7](#).

C.1 Metodologia de desenvolvimento

Considerando as necessidades do projeto e a familiaridade dos integrantes com algumas práticas, a equipe de software decidiu usar para desenvolvimento uma metodologia híbrida que une alguns aspectos das metodologias Kanban e *Extreme Programming (XP)*. Nos tópicos seguintes essas duas metodologias são descritas e são listadas quais práticas são adotadas pela equipe que, por ser pequena, considera que os aspectos escolhidos são suficientes para o gerenciamento das atividades e desenvolvimento do sistema.

C.1.1 Kanban

O Kanban é um *framework* de gestão, utilizado principalmente para uma maior produtividade e otimização da gestão do trabalho. O termo tem o significado de "tabuleiro", que é um sistema orientado através de colunas, em que cada uma dessas colunas representa o estado de uma atividade (a fazer, fazendo, feito), assim, cada uma das atividades vão sendo movidas para a coluna que represente o estado atual da mesma.

Neste projeto, são utilizadas as seguintes colunas:

- **A fazer:** Todas as atividades do projeto que estão a espera para serem executadas.

- **Fazendo:** Atividades que já estão sendo executadas.
- **Em revisão:** Atividades prontas, a espera da revisão se um outro membro.
- **Feito:** Atividades concluídas.

A utilização do Kanban no projeto é motivada essencialmente pela facilidade da visualização do andamento atual das atividades, além de uma melhor forma de gerenciar o fluxo de trabalho da equipe. Com essa visão que o Kanban proporciona, é possível observar a quantidade de tarefas em andamento, auxiliando o planejamento para que a equipe não fique sobrecarregada e nem com uma baixa carga de atividades.

A equipe utiliza o [ZenHub](#) como Kanban digital em que cada atividade é uma *issue* do [GitHub](#).

C.1.2 *Extreme Programming(XP)*

Extreme Programming(XP) é uma metodologia ágil de desenvolvimento de software, bem dinâmica e flexível. O foco da metodologia é entregar o software com a qualidade necessária quando necessário. As práticas tem o objetivo de mitigar os riscos e aumentar as chances de sucesso do produto.

Alguns valores da metodologia adotados pela equipe são:

- Simplicidade: Fazer as coisas necessárias e manter a arquitetura do sistema o mais simples possível visando a facilidade de manutenção e de revisão.
- *Feedback Constante:* Sempre que possível, fazer comentários avaliativos sobre os esforços já investidos para melhor identificar pontos que podem ser melhorados e com isso revisar as práticas usadas pela equipe.

As práticas do XP utilizadas no projeto são:

- Programação Pareada: Programação em par em apenas um computador. A dupla costuma ser formada por um iniciante na tecnologia e outro que já tem algum conhecimento da tecnologia. Isso é feito na equipe quando for necessário e viável.
- Padronização do Código: Para facilitar a manutenção e legibilidade do código a equipe usa as folhas de estilo das linguagens de programação escolhidas como padrões a serem seguidos nos códigos.
- Refatoração: Caso alguma parte do código não esteja seguindo boas práticas de programação, tenha um potencial considerável de provocar erros no software ou possa ser simplificada, ela precisa ser refatorada.

- Integração Contínua: Sempre que uma funcionalidade estiver pronta ela é integrada à versão atual do sistema para que ele esteja sempre atualizado.

A principal motivação da equipe em usar o XP é que ele oferece condições para os desenvolvedores responderem com eficiência a mudanças no sistema.

APÊNDICE D – Cronograma

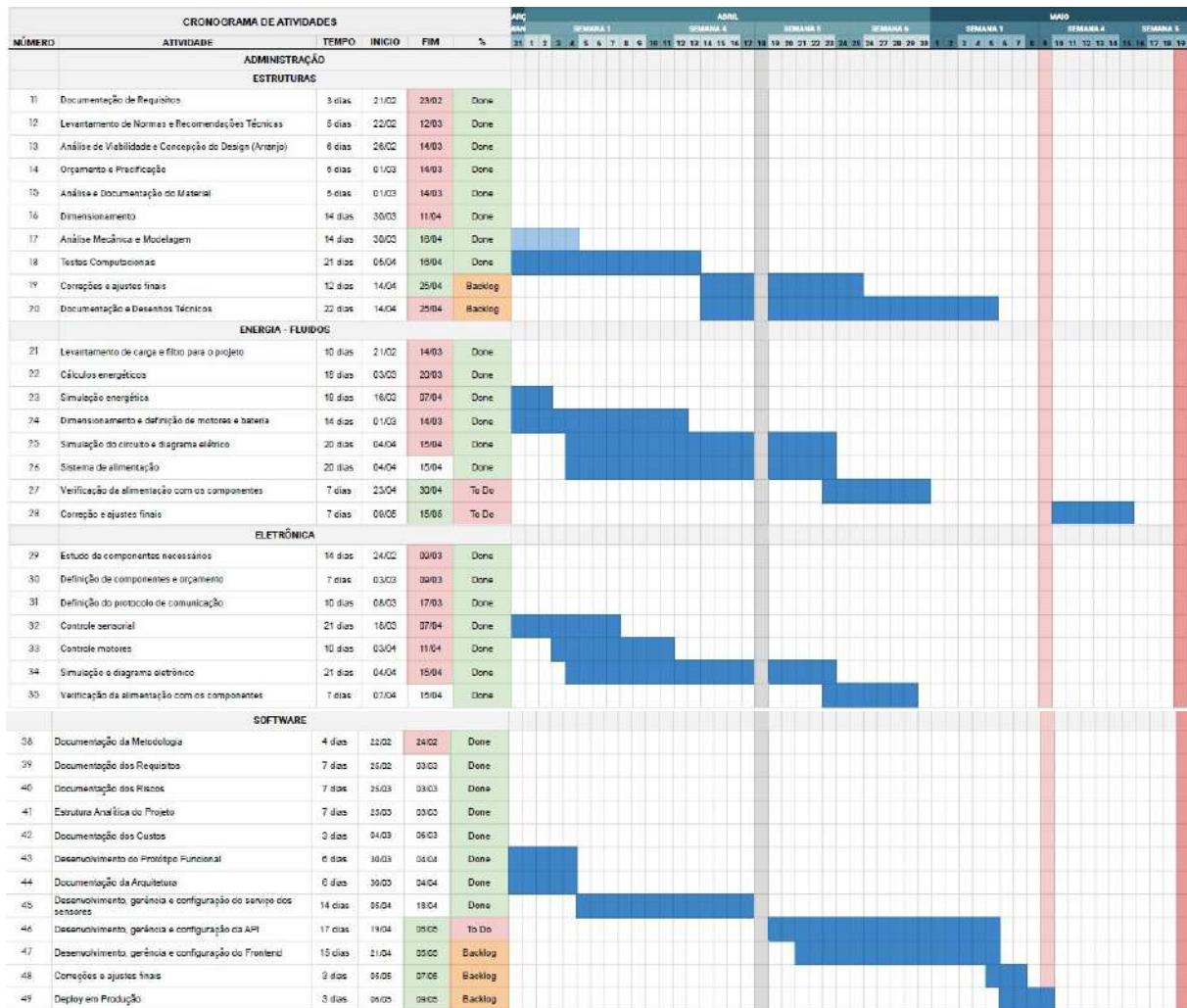


Figura 70 – Cronograma do Projeto

APÊNDICE E – Memorial de Cálculos da Solução Energética

E.1 Dimensionamento de Carregador do *Mobile Sensor*

E.1.1 Fonte de Tensão

Para calcular a fonte de tensão necessária foi preciso saber a tensão de pico (V_p) que estaria chegando ao circuito proposto, portanto utilizando a equação E.1, chegou-se ao seguinte resultado:

$$\begin{aligned} V_p &= V_{\text{entrada}} \cdot V_{rms} \\ &= 220 \cdot 1,414 \\ &= 311V \end{aligned} \tag{E.1}$$

Em que:

V_{entrada} é a tensão da rede elétrica (220V);

V_{rms} é a raiz quadrada média ou valor efetivo de uma forma de onda.

Sabendo que a frequência é de 60 Hz, obedecendo o padrão ABNT (2012) (tipo N).

E.1.2 Transformador

Para converter 220 V_{ca} da rede elétrica em 5 V_{cc} *Mobile Sensor*, primeiro é necessário o uso de um transformador abaixador para reduzir essa alta tensão. Nesta etapa, utilizamos o transformador abaixador 9-0-9, 1A, que converte 220 V_{ca} em 9 V_{ca} . No transformador, existem bobinas primárias e secundárias que aumentam ou diminuem a tensão de acordo com o número de voltas das bobinas.

A classificação da corrente depende do requisito de corrente do circuito de carga (circuito que usará a geração CC). A classificação de tensão deve ser maior do que a tensão necessária. Neste caso, se precisarmos de 5 V_{CC} , o transformador deve ter pelo menos uma classificação de 7V, pois o regulador de tensão IC 7805 precisa de pelo menos 2V a mais, ou seja, 7V para fornecer uma tensão de 5V.

E.1.2.1 Indutância

No transformador, o coeficiente de acoplamento é necessário para determinar a magnitude de abaixador de tensão. Assumindo um transformador ideal sem perdas, utilizou-se a equação E.2:

$$\begin{aligned} V_{saída} &= \frac{V_{entrada}}{\frac{L_p}{L_s}} \\ 9 &= \frac{220}{\frac{L_p}{L_s}} \\ \frac{L_p}{L_s} &= 24,4 \end{aligned} \tag{E.2}$$

Onde:

- $V_{entrada}$: Tensão de entrada (o lado primário do transformador);
- $V_{saída}$: Tensão de saída (o lado secundário de transformador);
- $\frac{L_p}{L_s}$: coeficiente de acoplamento entre os enrolamentos primário e secundário, e L_p e L_s são as indutâncias das bobinas primária e secundária, respectivamente.

E.1.3 Retificador

A ponte retificadora remove a parte negativa da V_{ac} , produzindo a V_{cc} parcial. Isso é feito usando 4 diodos. Os diodos permitem que a corrente flua apenas em uma direção. Na figura 71 pode-se observar a retificação do sinal de tensão de $9V_{ac}$ representada pela onda amarela, para $9V_{cc}$ que está representada pela meia-onda azul (BRANDT, 1975).

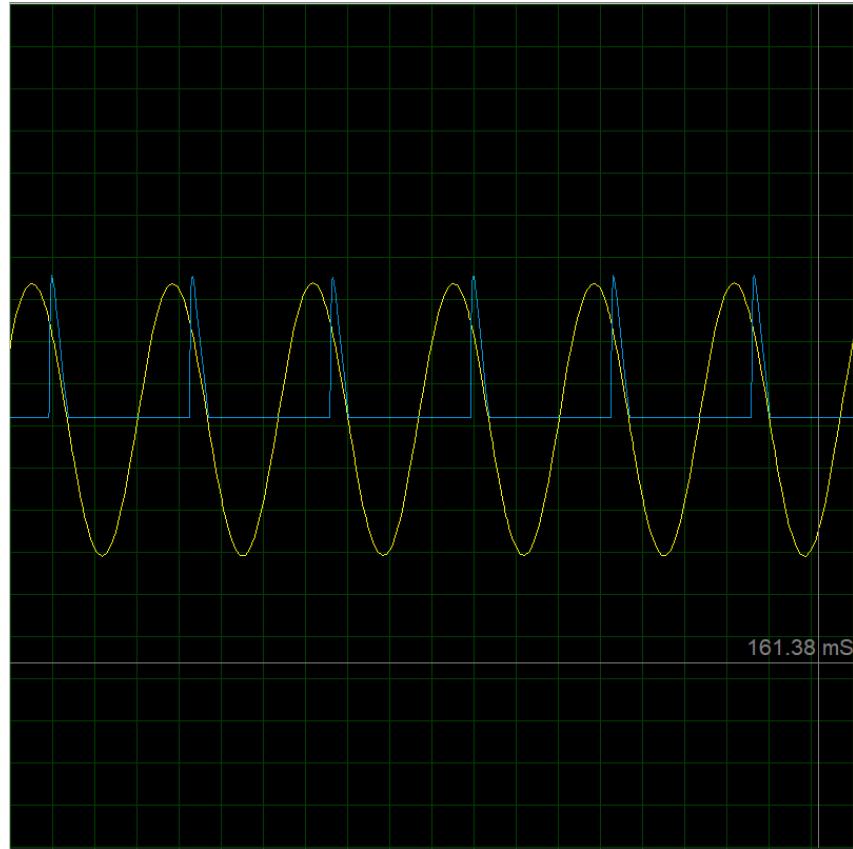


Figura 71 – Retificação da tensão alternada.

E.1.4 Filtração

A tensão da saída após a retificação não é uma tensão V_{cc} adequada, é uma saída pulsante e tem um fator de ondulação muito alto. Esta saída pulsante não é necessária e, portanto, um capacitor é necessário. Para achar a capacitância ([CIPPELLI, 1988](#)) necessária para este circuito, a equação [E.3](#):

$$C = \frac{I \cdot t}{V} \quad (\text{E.3})$$

Onde:

I é a corrente e saída máxima;

C é a capacitância;

t é o tempo;

Temos uma onda de frequência de 120Hz após a conversão de 60Hz AC em DC, através de um retificador de ponte de onda completa. Como a parte negativa do pulso é convertida em positiva, um pulso será contado como dois. Portanto, o período de tempo será de $1/120 = 0,0083\text{s} = 8,3\text{ms}$.

Sabendo que V_p é a tensão de pico, tensão fornecida ao regulador de tensão IC (+2 a mais do que a nominal, portanto, $5 + 2 = 7$) .

9-0-9 é o valor RMS das transformadas, então a tensão de pico V_p é:

$$\begin{aligned} V_p &= 1,414 \cdot V_{rms} \\ &= 9 \cdot 1,414 \\ &= 12,73V \end{aligned} \tag{E.4}$$

Agora, 1,4 V será descartado em 2 diodos (0,7 por diodo), pois 2 serão polarizados para frente para meia onda.

Então, $12,73 - 1,4 = 11,33V$

Quando o capacitor descarrega no circuito de carga, ele deve fornecer 7V a IC 7805 para funcionar, então finalmente a tensão de saída V é:

$$V = 11,33 - 7 = 4,33V$$

Com essa tensão da saída, a capacidade é:

$$\begin{aligned} C &= \frac{500mA \cdot 8,3ms}{4,33} \\ &= 958\mu F \end{aligned}$$

Após o capacitor ser adicionado no circuito, pode-se observar na figura 72 uma onda rosa que mostra a filtragem das ondas pulsantes.

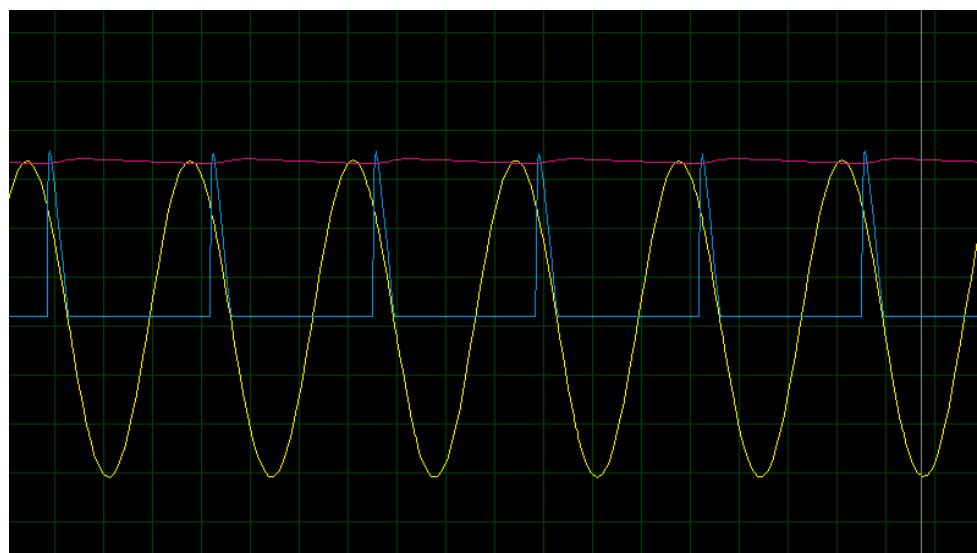


Figura 72 – Filtração de tensão alternada para tensão contínua.

E.1.5 Regulador de tensão

O regulador de tensão IC 7805 é usado para fornecer 5 V_{cc} regulado. A tensão de entrada deve ser 2 V a mais do que a tensão de saída nominal para o funcionamento adequado do IC, o que significa que pelo menos 7 V é necessário, embora possa operar na faixa de tensão de entrada de 7 a 20 V. Os reguladores de tensão têm todos os circuitos internos para fornecer uma CC regulada adequada. Um capacitor de $0,01\text{ }\mu\text{F}$ deve ser conectado à saída do 7805 para eliminar o ruído, produzido por mudanças transitórias na tensão.

E.2 Dimensionamento do Carregador do Purificador

E.2.1 Transformador

Semelhante ao circuito do *Mobile Sensor*, para converter 220 V_{ca} em 24 V_{ca} , primeiro é necessário o uso de um transformador abaixador. Para achar a magnitude de abaixador de tensão, temos que calcular o coeficiente de acoplamento.

E.2.1.1 Indutância

Para encontrar o coeficiente de acoplamento, do transformador, utilizou-se a equação E.2 mas para uma tensão de saída ($V_{saída}$) de 24V. Assim foi encontrado:

$$\frac{L_p}{L_s} = 9,17.$$

E.2.2 Retificador

De maneira semelhante ao retificador do *Mobile Sensor*, é utilizada a ponte de 4 diodos que permitem que a corrente flua apenas em uma direção. Na figura 73 pode-se observar a retificação do sinal de tensão de $24V_{ac}$, a onda amarela para $24V_{cc}$ a onda azul.

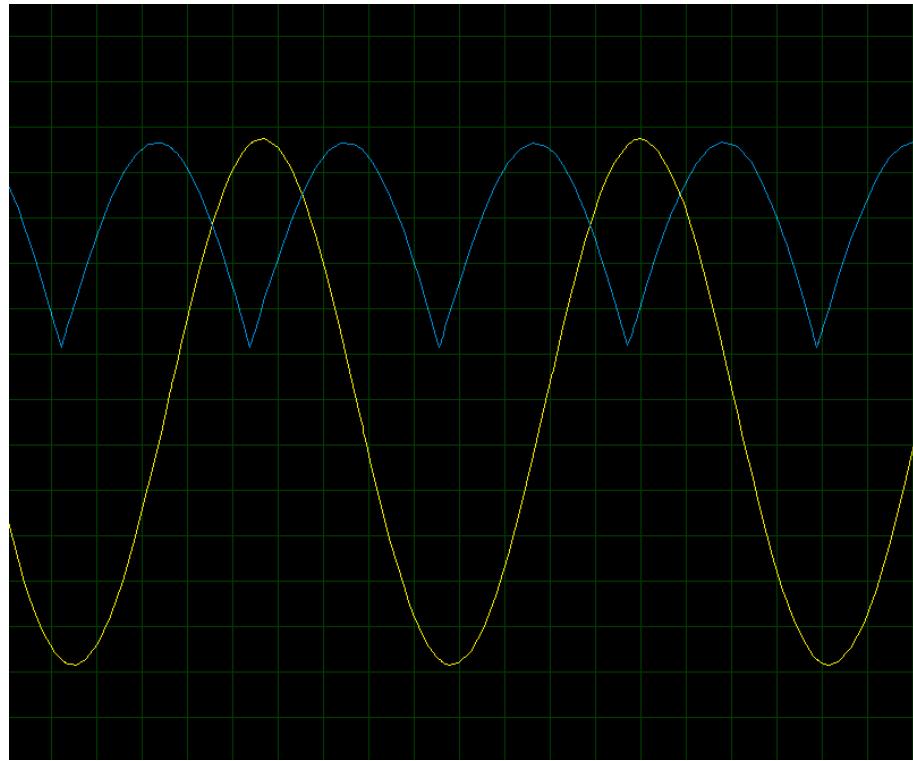


Figura 73 – Retificação da tensão alternada.

E.2.3 Filtração

A saída após a retificação não é uma V_{cc} adequada, é uma saída de oscilação e tem um fator de ondulação muito alto. Esta saída pulsante não é necessária, portanto, é preciso utilizar um capacitor. Considerando todas as características da rede elétrica já apresentada, mas considerando o carregador de 24V, encontrou-se a tensão de pico de:

$$\begin{aligned} V_p &= V_{rms} \cdot 1,414 \\ &= 1,414 \cdot 24 = 33,94V \end{aligned}$$

Considerando o mesmo método de filtração do *Mobile Sensor* temos que 1,4 V será descartado em 2 diodos (0,7 por diodo) assim obtendo $33,94 - 1,4 = 32,54V$. A partir disso, sabe-se que o capacitor descarrega no circuito de carga, e então ele deve fornecer 24v para a bateria funcionar, então $V = 32,54 - 24 = 8,54V$.

Por fim, a capacidade é calculada com a equação E.3 temos que:

$$C = 486\mu F$$

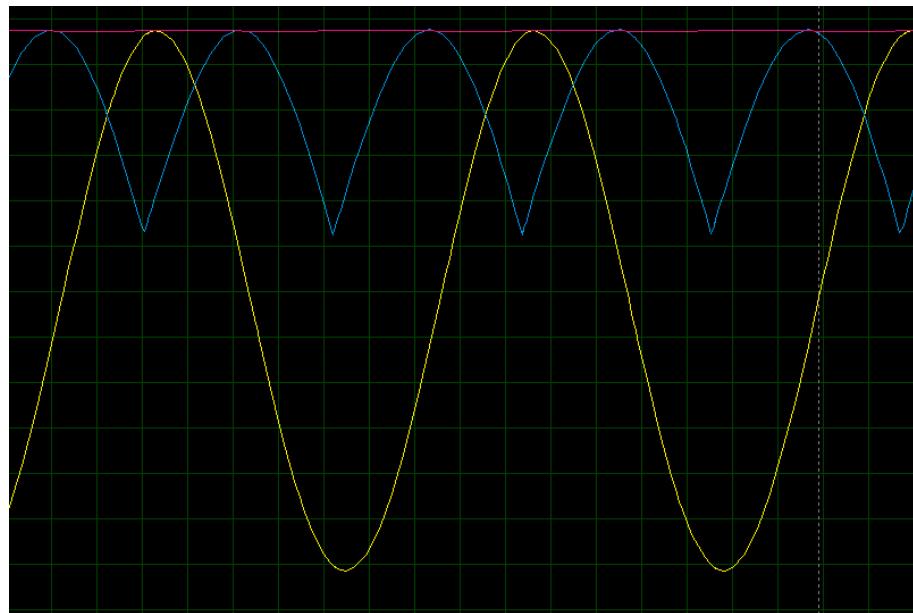


Figura 74 – Filtração.

Pode-se observar a simulação da filtragem do sinal na figura 74 no qual o sinal amarelo representa o sinal de $24V_{ac}$, o azul mostra o sinal já retificado e o rosa o sinal filtrado.

E.3 Classificação dos filtros

A classificação utilizada pela norma (ABNT, 2008) tem como base as normas EN 779:2012 e EN 1822:2009 que trazem tabelas com os critérios de classificação a serem analisados nas escolhas dos filtros presentes nas figuras 75 e 76 abaixo:

Classe de filtro	Retenção média [%]	Eficiência média [%]	Eficiência mínima (com tratamento IPA) [%]
G1	$50 \leq A_m < 65$	-	-
G2	$65 \leq A_m < 80$	-	-
G3	$80 \leq A_m < 90$	-	-
G4	$90 \leq A_m$	-	-
M5	-	$40 \leq E_m < 60$	-
M6	-	$60 \leq E_m < 80$	-
F7	-	$80 \leq E_m < 90$	35
F8	-	$90 \leq E_m < 95$	55
F9	-	$95 \leq E_m$	70

Figura 75 – Classificação de filtros de partículas.

Filter Class	Valor Integral		Valor Local	
	Eficiência %	Penetração %	Eficiência %	Penetração %
E10	85	15	-	-
E11	95	5	-	-
E12	99,5	0,5	-	-
H13	99,95	0,05	99,75	0,25
H14	99,995	0,005	99,975	0,025
U15	99,9995	0,0005	99,9975	0,0025
U16	99,99995	0,00005	99,99975	0,00025
U17	99,999995	0,000005	99,9999	0,0001

Figura 76 – Critérios de avaliação para filtros absolutos.

E.4 Dimensionamento dos cabos elétricos

A norma ABNT NBR 5410 ([ABNT, 2004](#)) estipula os critérios a serem levados em consideração no dimensionamento dos condutores elétricos. Segundo a Tabela 47 da norma a seção mínima de cabos condutores de circuitos de força é de 2,5mm². O tipo de linha que essa tabela estabelece é a de instalações fixas em geral para cabos e condutores isolados.

Para instalações residenciais o método de instalação mais comum é o número 7 disposto na tabela 33 da norma ([ABNT, 2004](#)) de condutores isolados ou cabos unipolares

em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria. Esse é o método de instalação para cabos embutidos em paredes, o qual a referência é a B1 que será usada para os cálculos seguintes.

Também é importante definir o tipo de isolamento e a temperatura máxima que esse cabo vai suportar. Segundo a tabela 36 da capacidade de condução de corrente para os métodos de referências é possível definir que para instalações residenciais o material utilizado será o PVC, os cabos devem suportar uma temperatura máxima de 70°C e uma temperatura ambiente de 30°C. A temperatura é um critério importante a ser analisado, pois ela modifica a capacidade de condução de corrente do cabo, quanto mais quente o ambiente e o cabo, menos corrente esse cabo suportará ([ABNT, 2004](#)).

Utilizando a corrente de projeto do circuito e seguindo o método de instalação B1 e o número de condutores carregados igual a 2, podemos encontrar a seção nominal dos cabos do purificador e do mobile sensor. Como o valor da corrente do circuito não ultrapassa o valor de 24A, a seção utilizada será a de 2,5mm² que é a mínima exigida pela norma, conforme figura [77](#).

Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33												
	A1		A2		B1		B2		C		D		
	Número de condutores carregados												
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	
	Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10	
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12	
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15	
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18	
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24	
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31	
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39	
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52	
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67	
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86	
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	125	103	
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	148	122	
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184	183	151	
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223	216	179	
120	210	188	192	172	269	239	232	206	299	259	246	203	

Figura 77 – Capacidades de condução de corrente, em ampères

A quantidade de circuitos no eletroduto interfere diretamente na temperatura, quanto mais circuitos passam por dentro do eletroduto mais ele esquenta e esse é um fator crucial para o dimensionamento dos cabos. Logo, utilizando a tabela 42 ([ABNT, 2004](#)) de fatores de correção aplicáveis a condutores agrupados em feixe e a condutores agrupados num mesmo plano, é possível observar que a seção nominal mínima atenderá

a demanda da corrente dos dois equipamentos conforme as temperaturas nela indicadas.

APÊNDICE F – Esquemáticos Elétricos

F.0.1 Esquemáticos Eletrônicos

Os esquemáticos de conexão entre os componentes da solução eletrônica foram divididos em 3 representações. Essa divisão foi feita de acordo com os sistemas do purificador e do *Mobile Sensor*, além de dividir a parte de potência sendo essa as que apresentam uma conexão separada com os atuadores. Assim, levou-se em consideração que cada esquemático será a base para criação da respectiva placa de circuito impresso (PCI).

No esquemático 1, na figura 78, temos representado as conexões com o motor DC, um circuito utilizando o mosfet IRF540N e um optoacoplador PC817 (além de resistores), com a lâmpada UV e relé de acionamento 12V. Também está representada a conexão da fonte de alimentação 24V (+24V e GND) e 12V (+12V e GND) fornecida pela solução energética.

Para o circuito do controle de rotação do motor DC, temos 2 pinos no *MOTOR_24V* que serão conectados no microcontrolador do purificador sendo um deles para a porta do PWM e o outro para o GND (melhor descrito na parte do esquemático 2). O motor é alimentado com 24V e conectado ao IRF540 e este mesmo é conectado com o optoacoplador ligado aos pinos que irão para o microcontrolador do sistema do purificador.

A mesma ideia é feita para o circuito do acionamento da lâmpada UV sendo os 2 pinos na *LAMPADA_12V* para um pino digital do microcontrolador e o outro para o GND (melhor descrito na parte do esquemático 2). A lâmpada é alimentada com 12V e conectada a um relé no pino NA (normalmente aberto) e o terra (GND) é conectado no NF (normalmente fechado), a parte da bobinas do relé tem a conexão com os 2 pinos que irão para o microcontrolador.

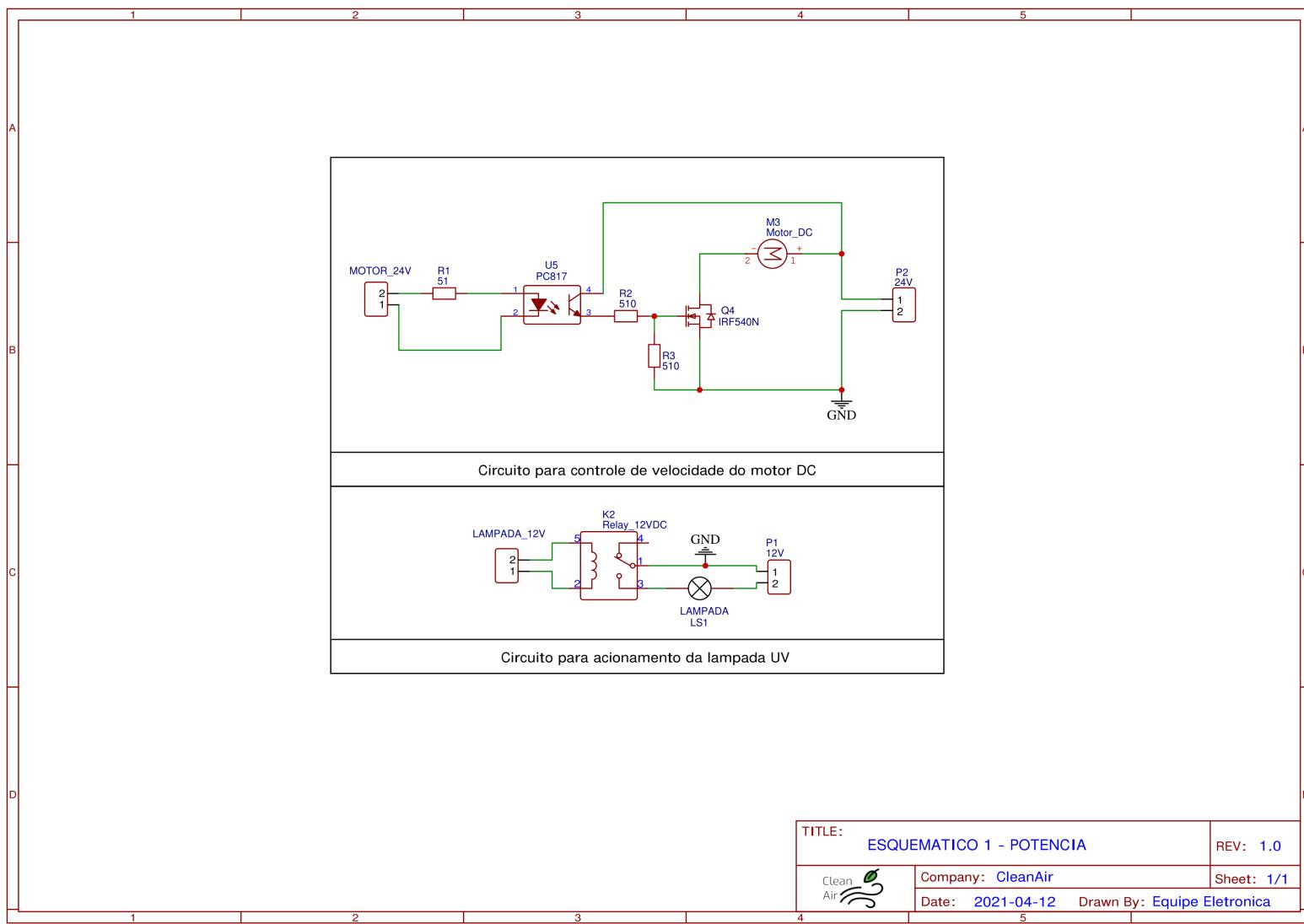


Figura 78 – Diagrama esquemático da conexão para o controle dos atuadores e com a fonte de alimentação.

O microcontrolador 1, sendo este a ESP32 presente no purificador, é responsável por receber os dados dos botões (que funcionam como interruptores) e traduzir a leitura das portas, se estiverem em estado de nível lógico baixo, é apresentado como botão pressionado. Além disso, é responsável também pelo controle de potência dos 3 níveis de velocidade do motor DC por meio da sua funcionalidade de *Pulse Width Modulation* (PWM). Para alimentar o microcontrolador com a bateria 5V por meio do botão de liga e desliga, é montado um circuito com relé, transistores npn, diodos, mosfet e resistores para que o acionamento seja feito de forma segura para o pino Vin do microcontrolador.

Neste esquemático temos representado a conexão entre o microcontrolador 1, os 3 botões ligados a 3 conectores (On/Off, Auto e Reset) em que cada um tem seu pino de dados e o terra comum para eles, os 2 pinos vindo do motor DC (para o controle de rotação por PWM - uma porta I/O do microcontrolador) e a lâmpada UV em um pino digital do microcontrolador. O display LCD 240x320px tem a conexão dos pinos de alimentação para 3.3V e do protocolo SPI com a ESP32.

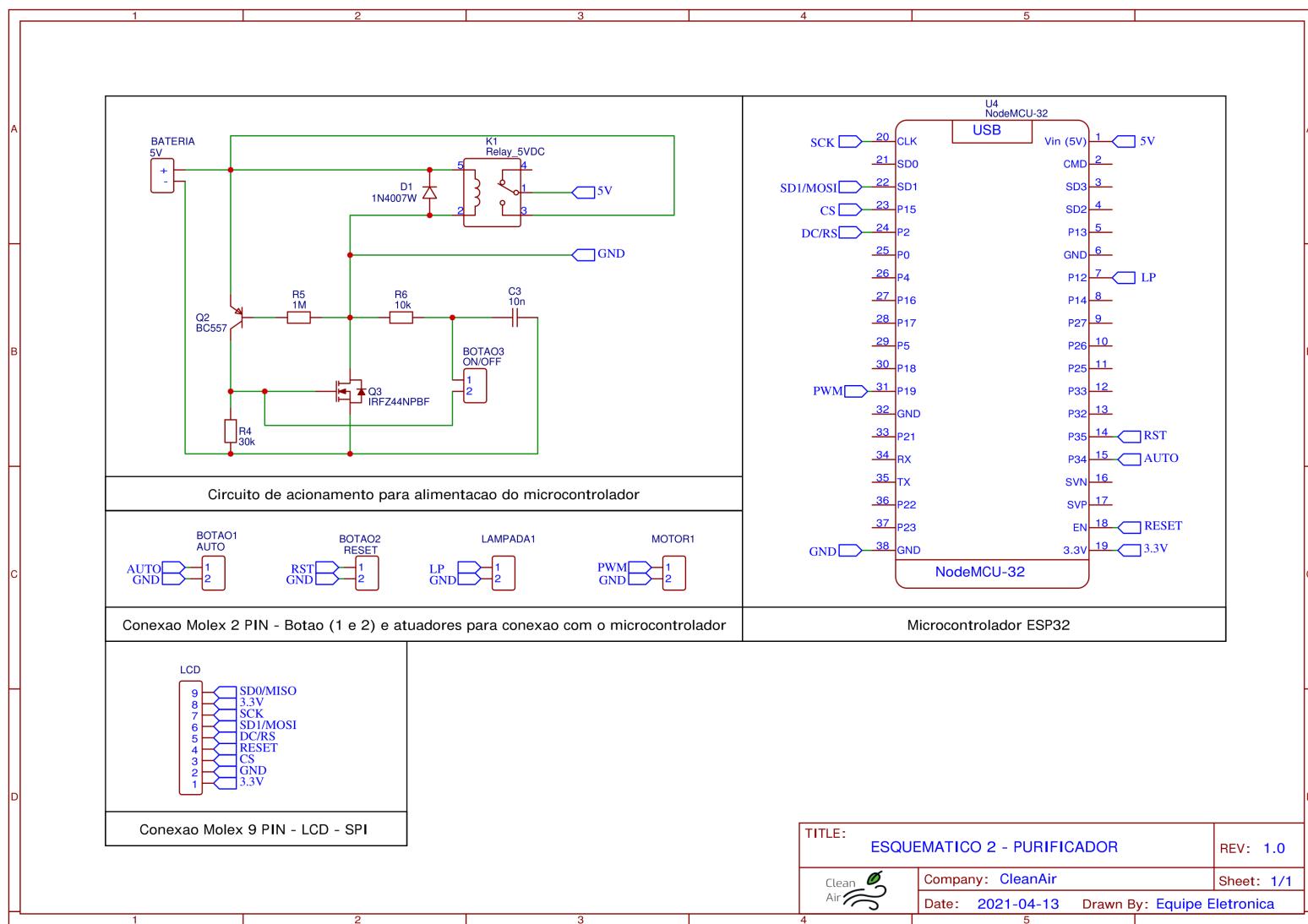


Figura 79 – Diagrama esquemático da conexão do microcontrolador 1 com a fonte de alimentação e os atuadores.

A ESP32 representada no esquemático da figura 80 é o microcontrolador que interpreta os sinais dos sensores, botão e atuador implementado ao *Mobile Sensor*. Assim, para ligar o sistema temos a bateria que possui suas 2 saídas, na qual o seu GND está conectado ao GND do microcontrolador e sua saída de 5V conectada um fusível (F2) de proteção que realiza a ligação com a entrada do botão on/off (2 pinos), e temos a outra extremidade do botão está conectada ao Vin da ESP32.

Em relação aos sensores, todos eles possuem 2 entradas de alimentação (VCC e GND) em comum, onde tem a função de mantê-los em pleno funcionamento. Para os sensores MQ-2 e MQ-131 apenas suas saídas digitais exclusivas D01 e D02 que estão conectadas em pinos I/O. De maneira semelhante, no sensor MICS-6814 é utilizado apenas a porta NO2 (analógica) conectada a um pino I/O. Já os demais sensores temos suas conexões em comum em SCL e SDA sendo elas utilizadas no protocolo I2C.

Para o micro-cooler temos uma tensão de alimentação vinda do microcontrolador que se difere dos sensores, em que suas conexões estão conectadas aos pinos Vin (5V) e GND (Ground) para manter ele ligado continuamente. O indicador de bateria possui o total de 8 pinos sendo 2 deles para alimentação (VCC e GND) e 6 pinos específicos para diferentes portas digitais (D1, D2, D3, D4, D5 e D6).

Na leitura do nível de bateria de forma segura também é utilizado um circuito composto por um amplificador, 2 diodos, um capacitor e 3 resistores. A saída desse circuito está conectado a uma entrada analógica do microcontrolador (A0), temos algumas extremidades do circuito conectadas ao terra (GND) comum a todos.

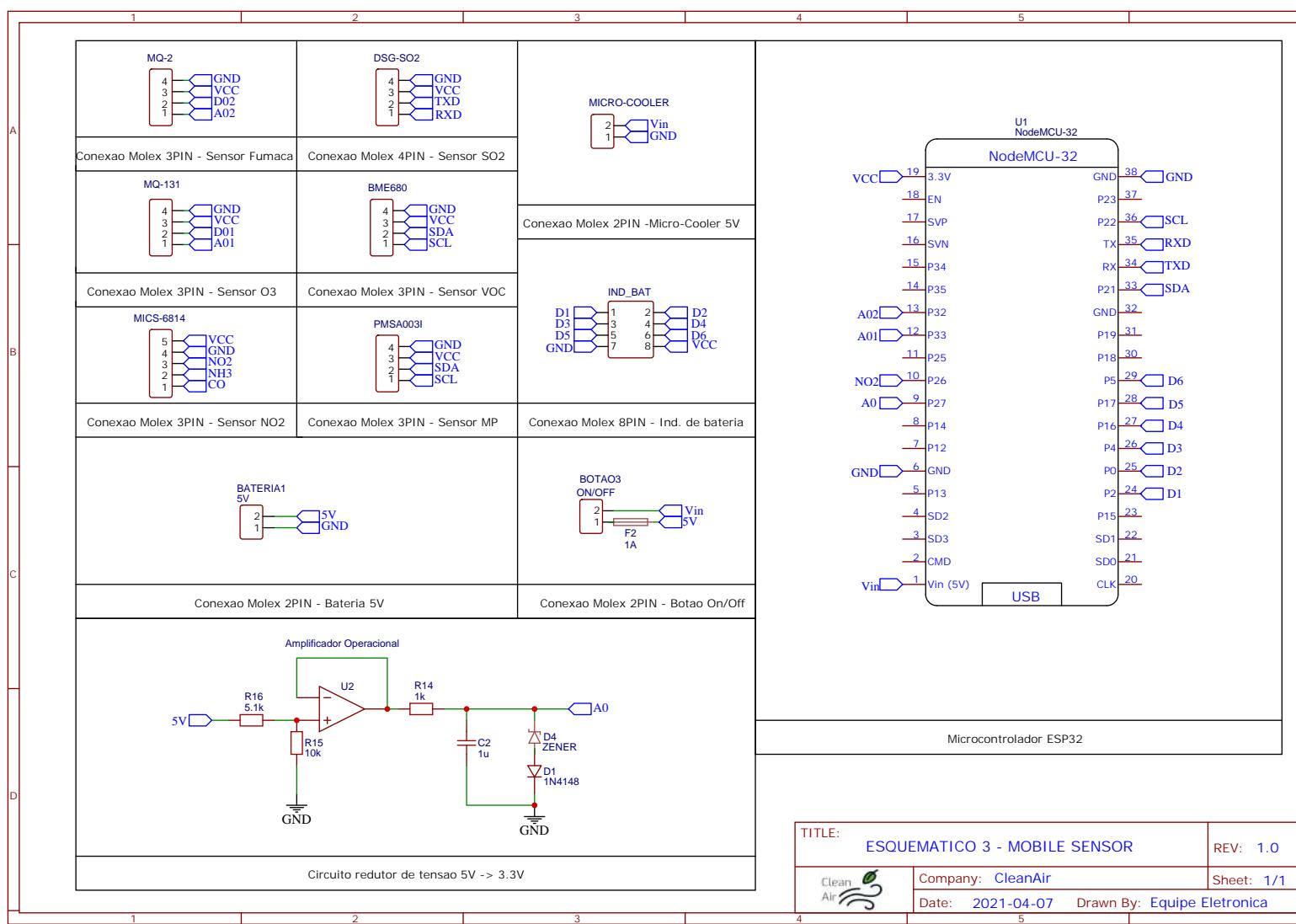


Figura 80 – Diagrama esquemático da conexão sensorial com microcontrolador 2.

F.0.2 Esquemáticos Energéticos

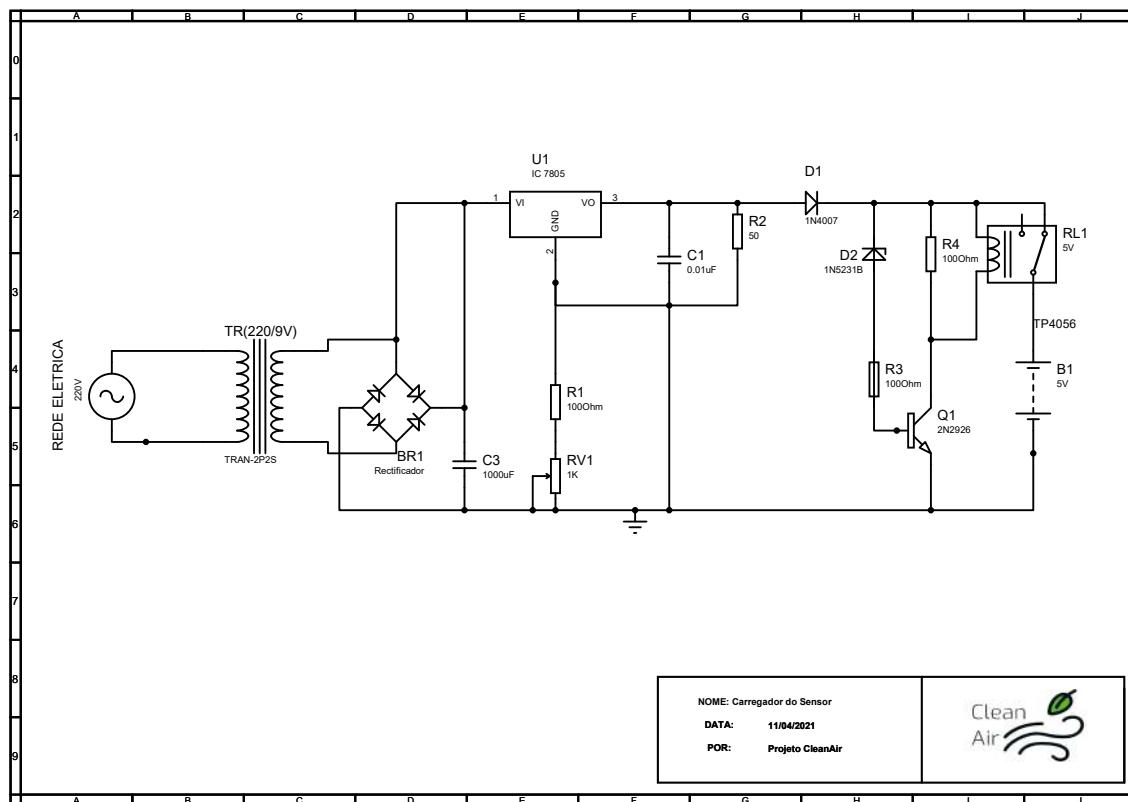


Figura 81 – Diagrama esquemático da fonte de alimentação do *Mobile Sensor*.

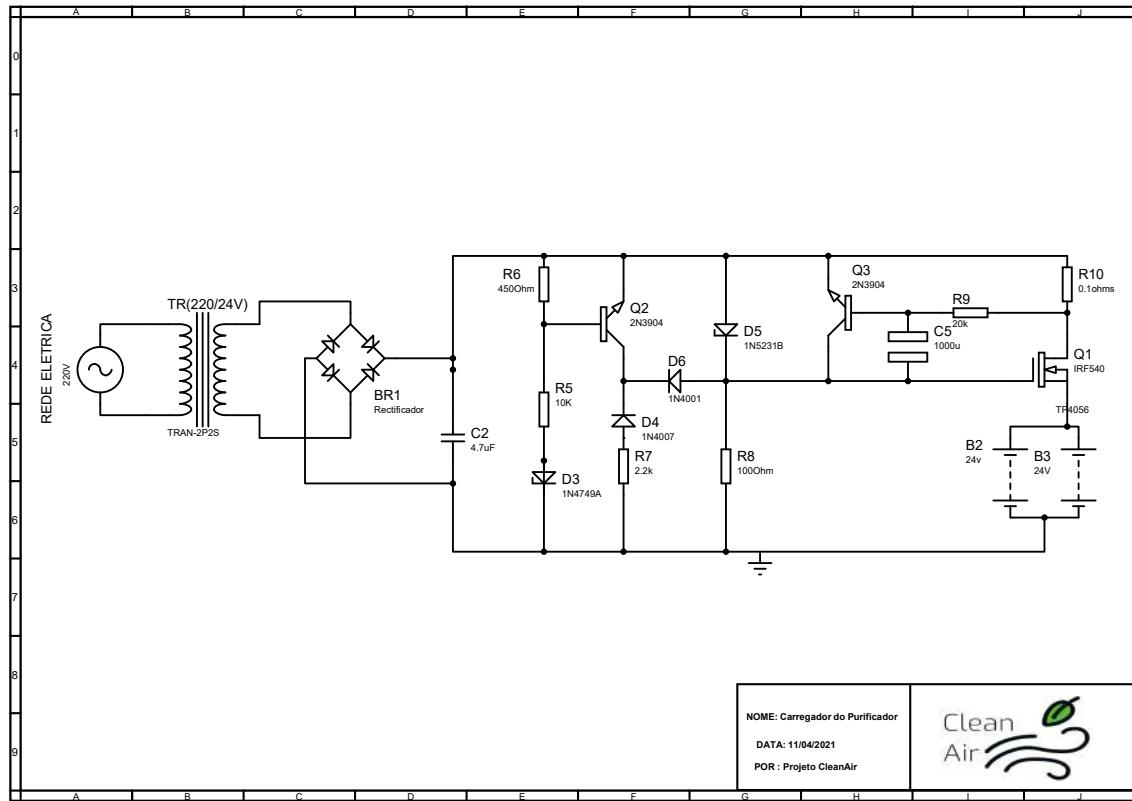


Figura 82 – Diagrama esquemático da fonte de alimentação do Purificador.

F.0.3 Diagramas Unifilares

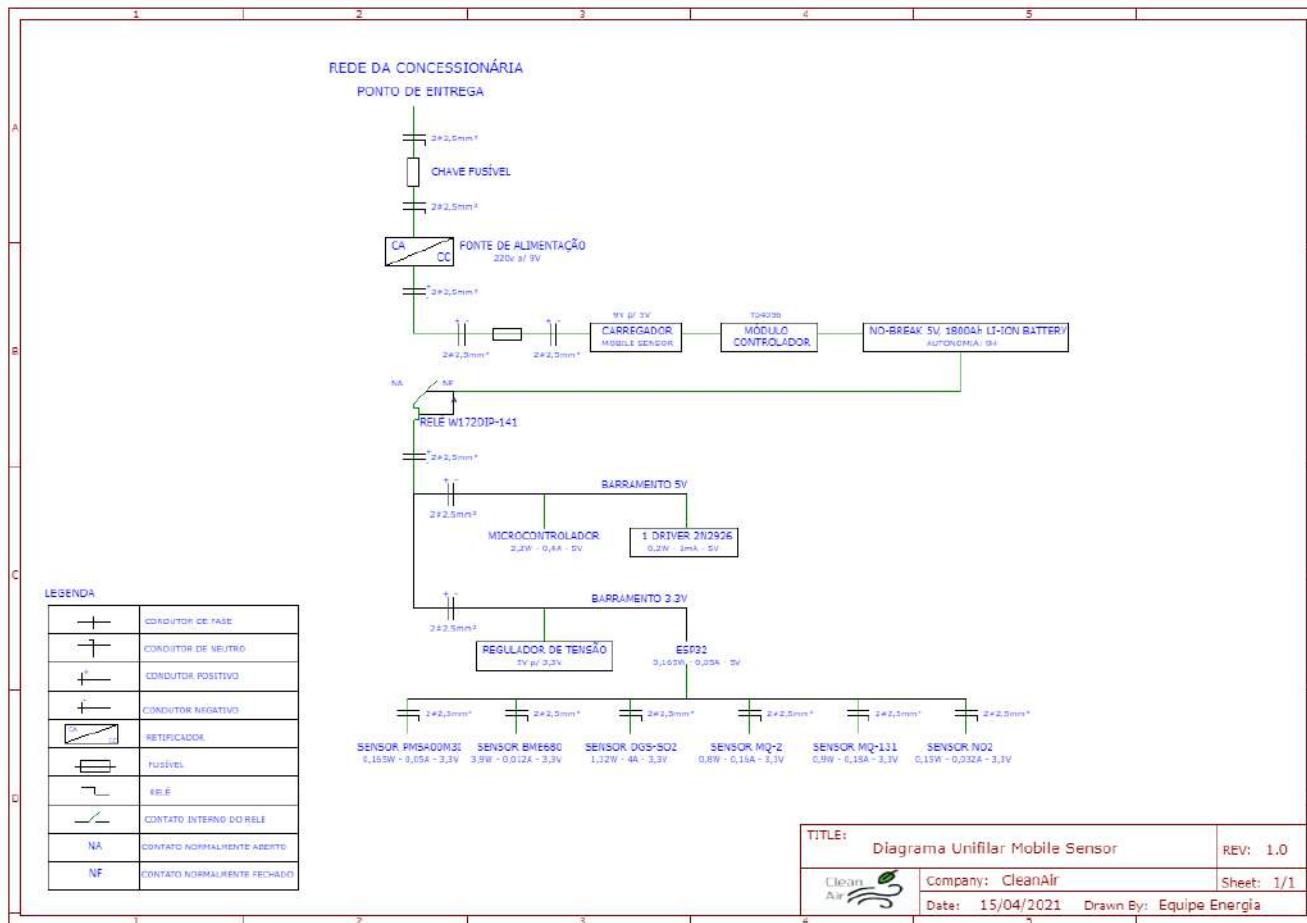


Figura 83 – Diagrama unifilar do circuito do *Mobile Sensor*

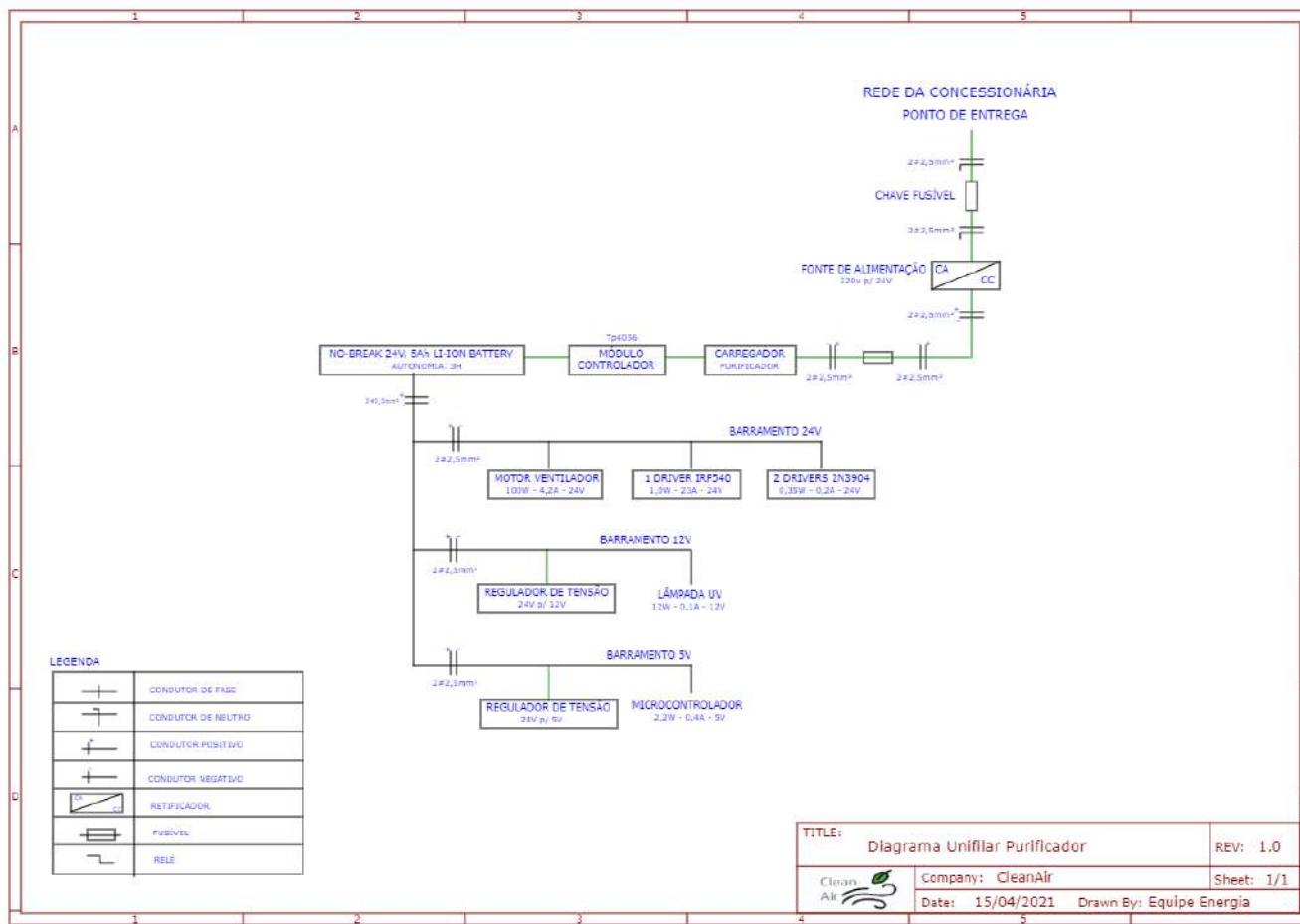
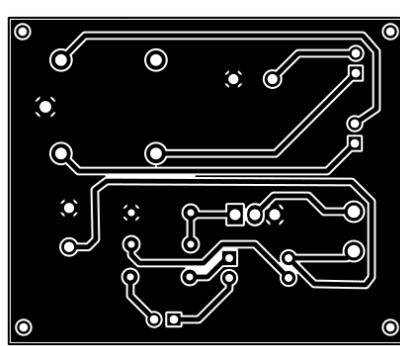


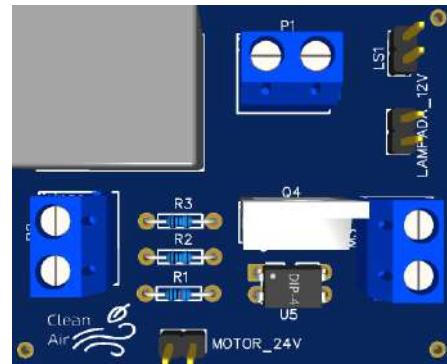
Figura 84 – Diagrama unifilar do circuito do Purificador.

APÊNDICE G – Placas dos Circuitos Impressos

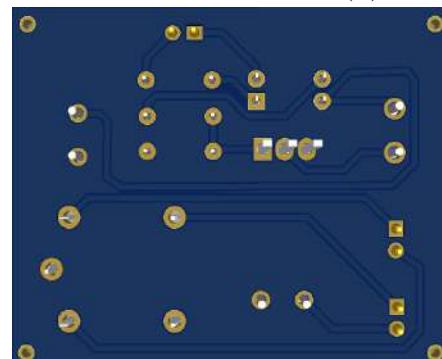
G.0.1 Placa dos Circuitos Impressos Eletrônicos



(a) Trilhas inferiores da PCI



(b) Vista superior da PCI



(c) Vista inferior da PCI

Figura 85 – Placa de circuito impresso da potência do Purificador

G.0.2 Placas dos Circuitos Impressos de Energia

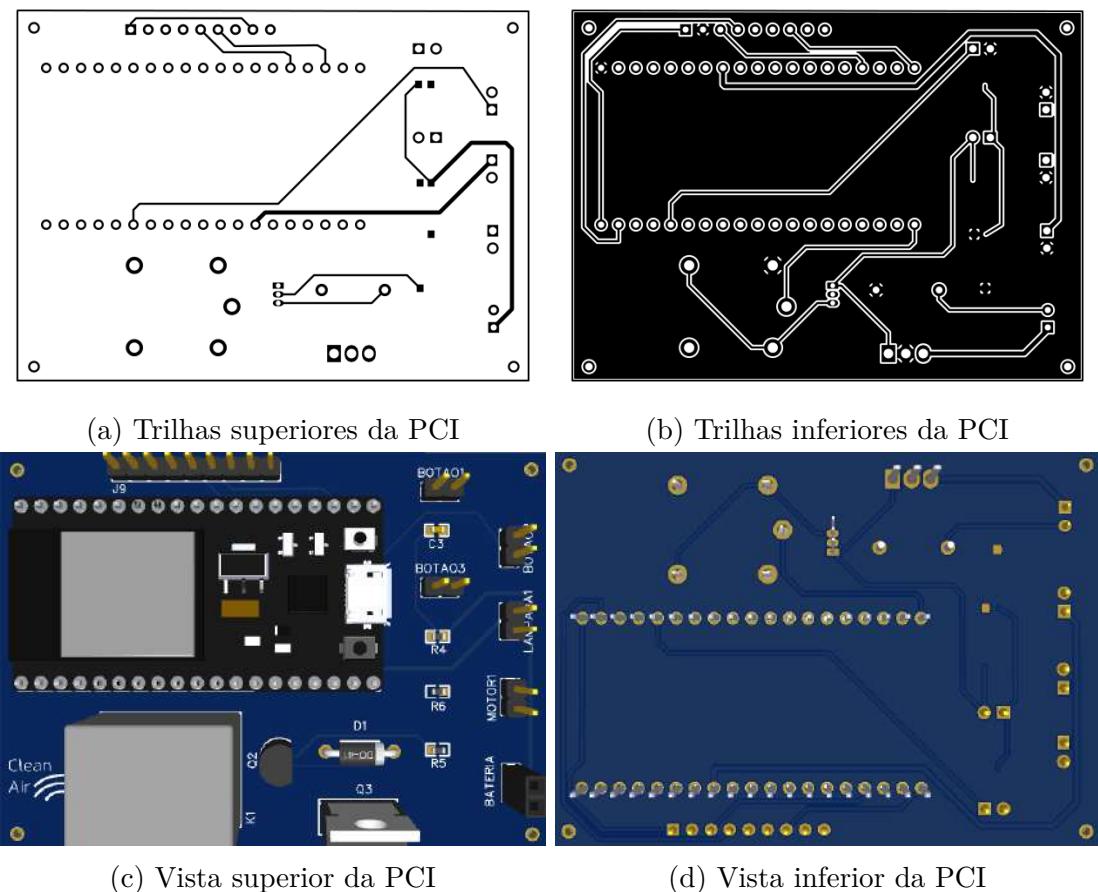


Figura 86 – Placa de circuito impresso do controle do Purificador

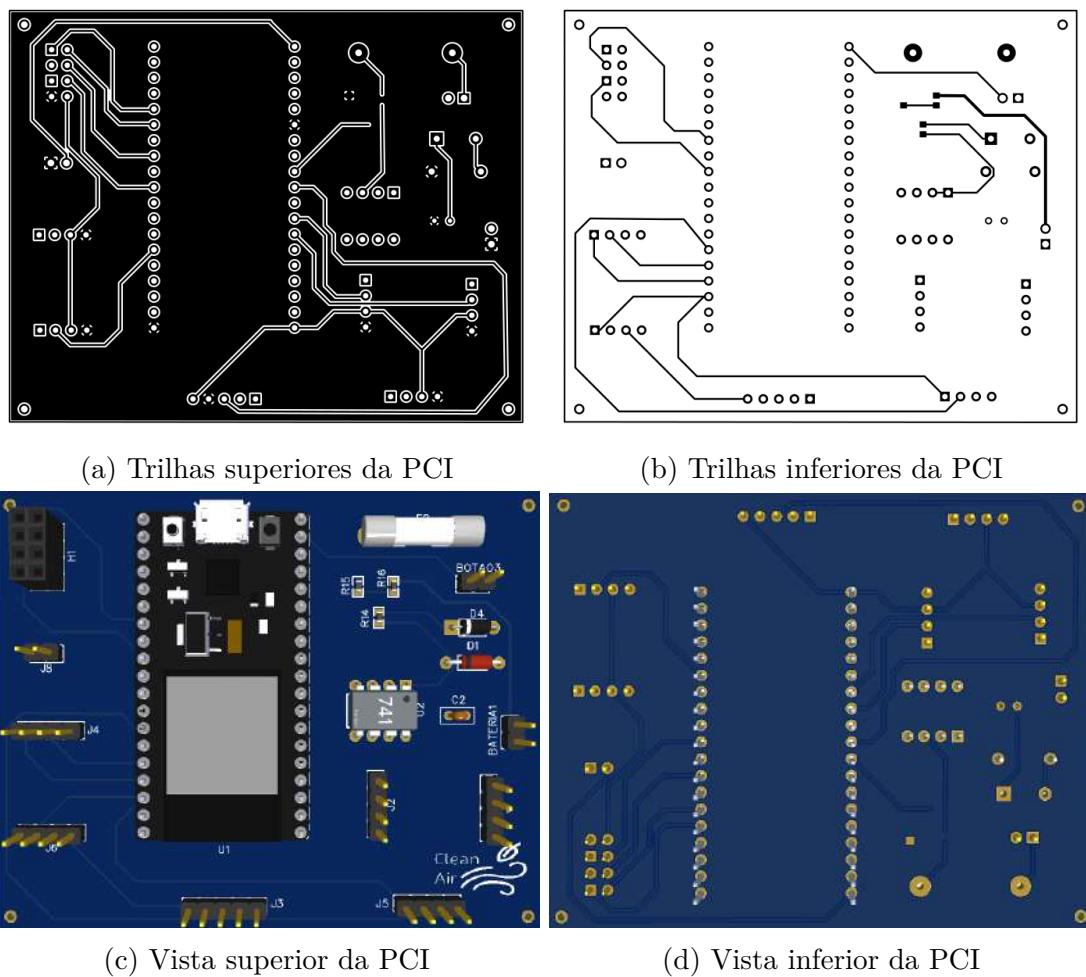
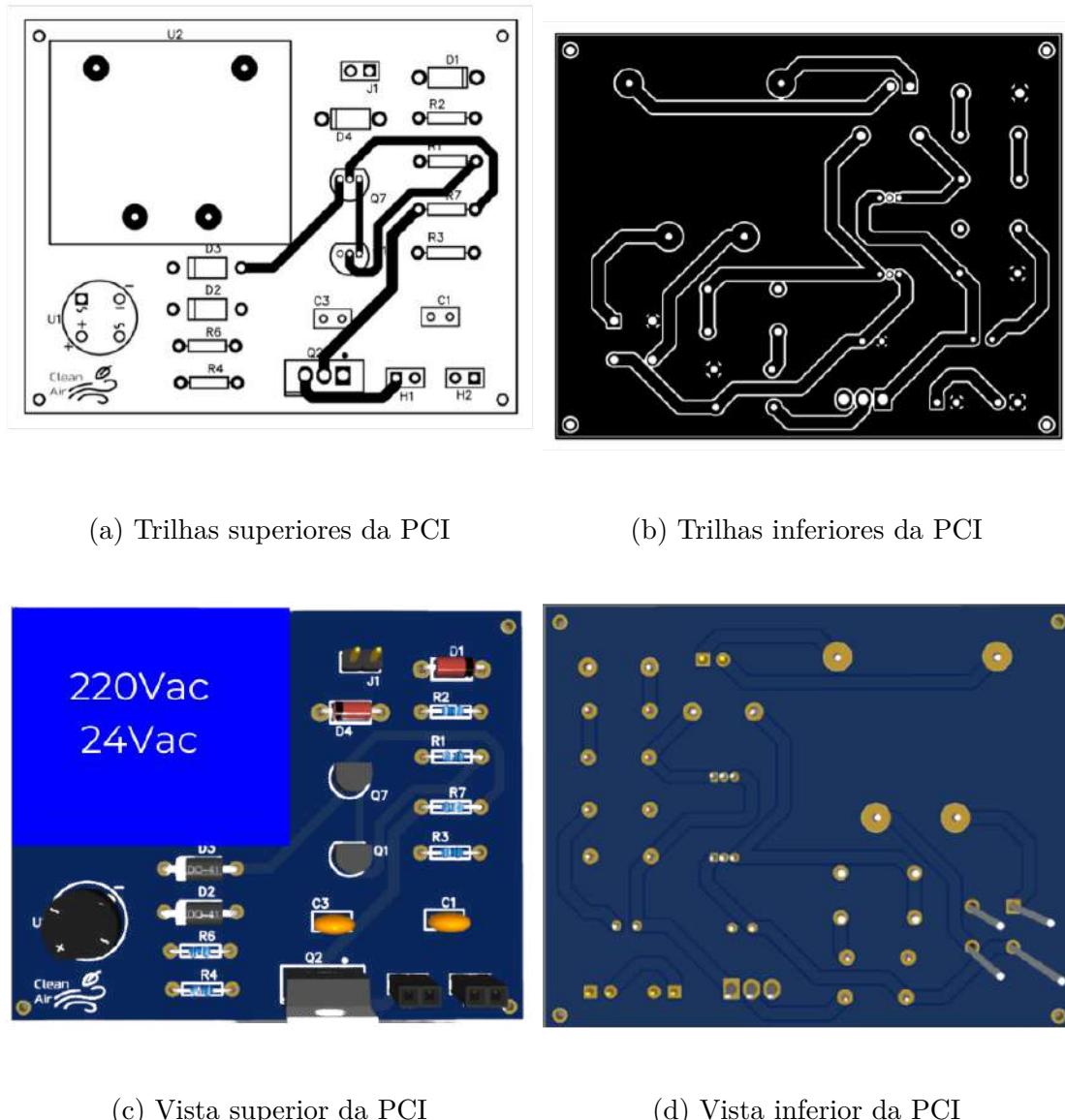


Figura 87 – Placa de circuito impresso do Mobile Sensor



(a) Trilhas superiores da PCI

(b) Trilhas inferiores da PCI

220Vac
24Vac

(c) Vista superior da PCI

(d) Vista inferior da PCI

Figura 88 – Placa de circuito impresso do Alimentação do Purificador

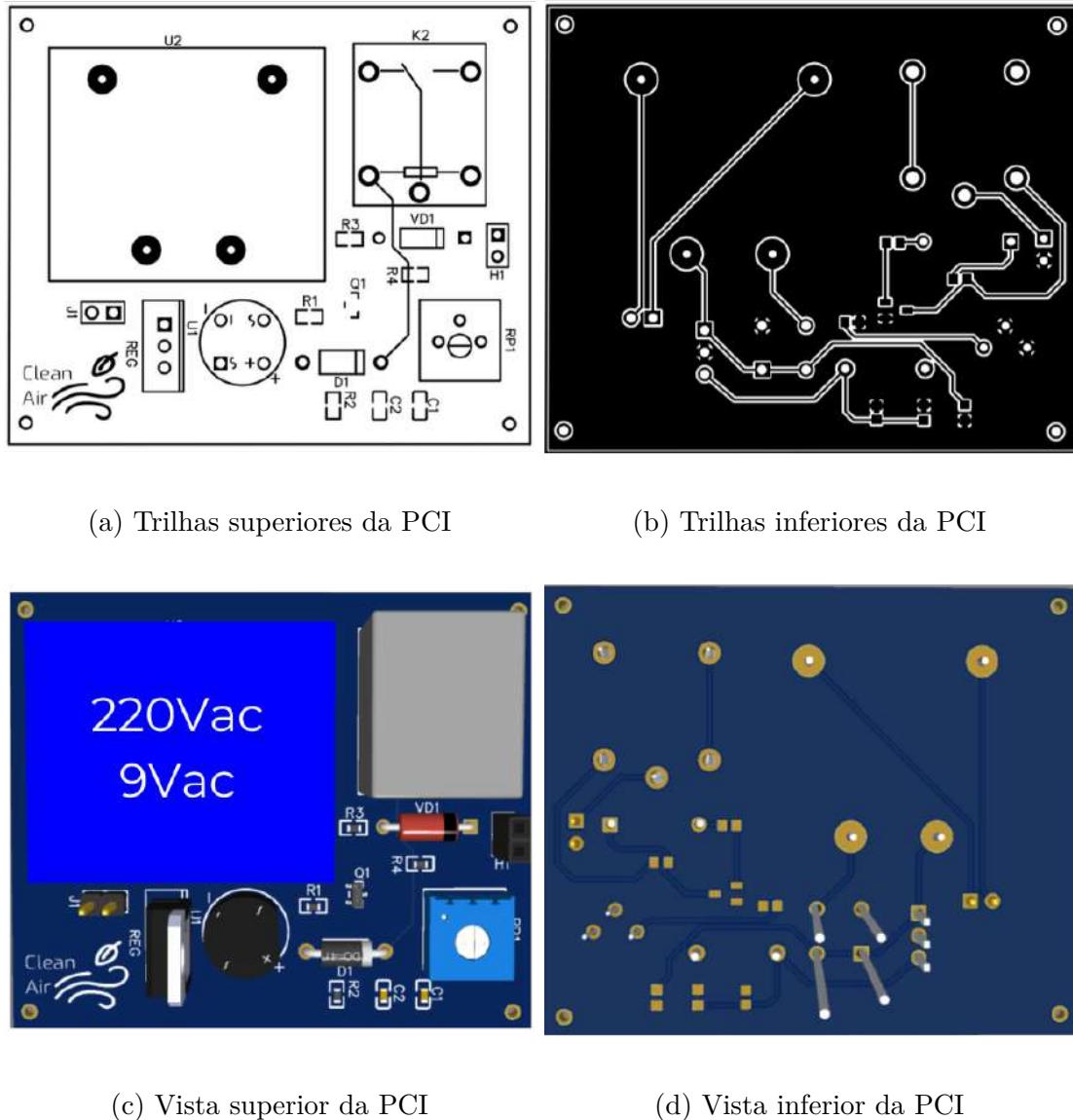


Figura 89 – Placa de circuito impresso do Alimentação do Sensor

APÊNDICE H – CADs do produto



Figura 90 – Vista isométrica do purificador de ar *CleanAir*



Figura 91 – Vista isométrica do sensor de ar *CleanAir*. Autoria própria.



Figura 92 – Vista superior do purificador de ar e do sensor *CleanAir*. Autoria própria.



Figura 93 – Renderização do purificador *CleanAir* com ambientação em uma sala de estar.
Autoria própria.

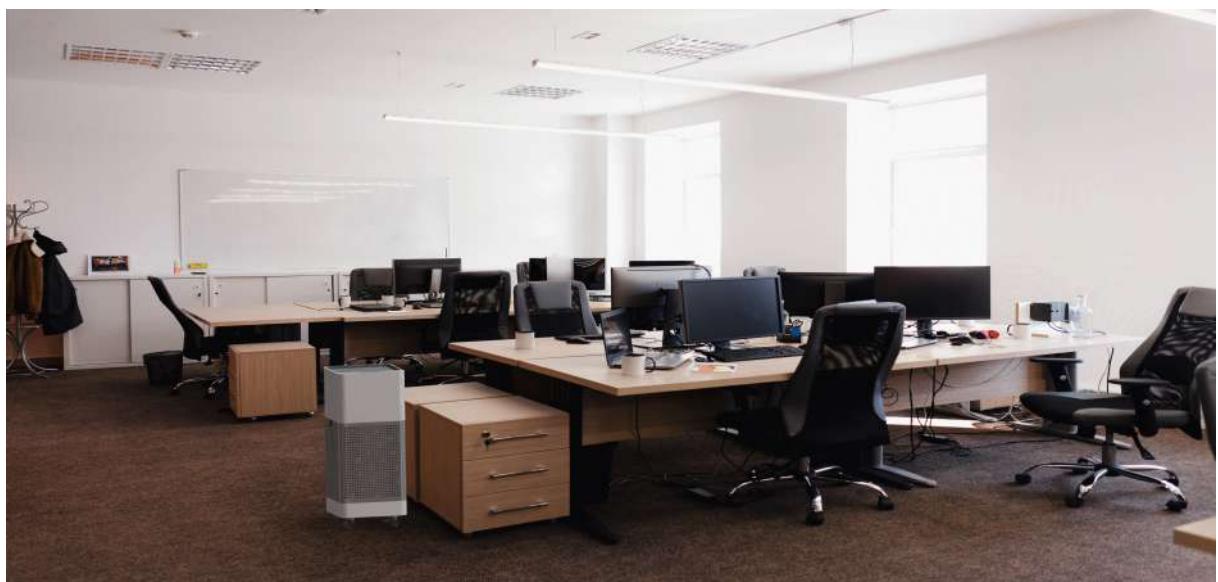


Figura 94 – Renderização do purificador *CleanAir* com ambientação em um escritório de alta densidade. Autoria própria.

APÊNDICE I – Desenhos Técnicos

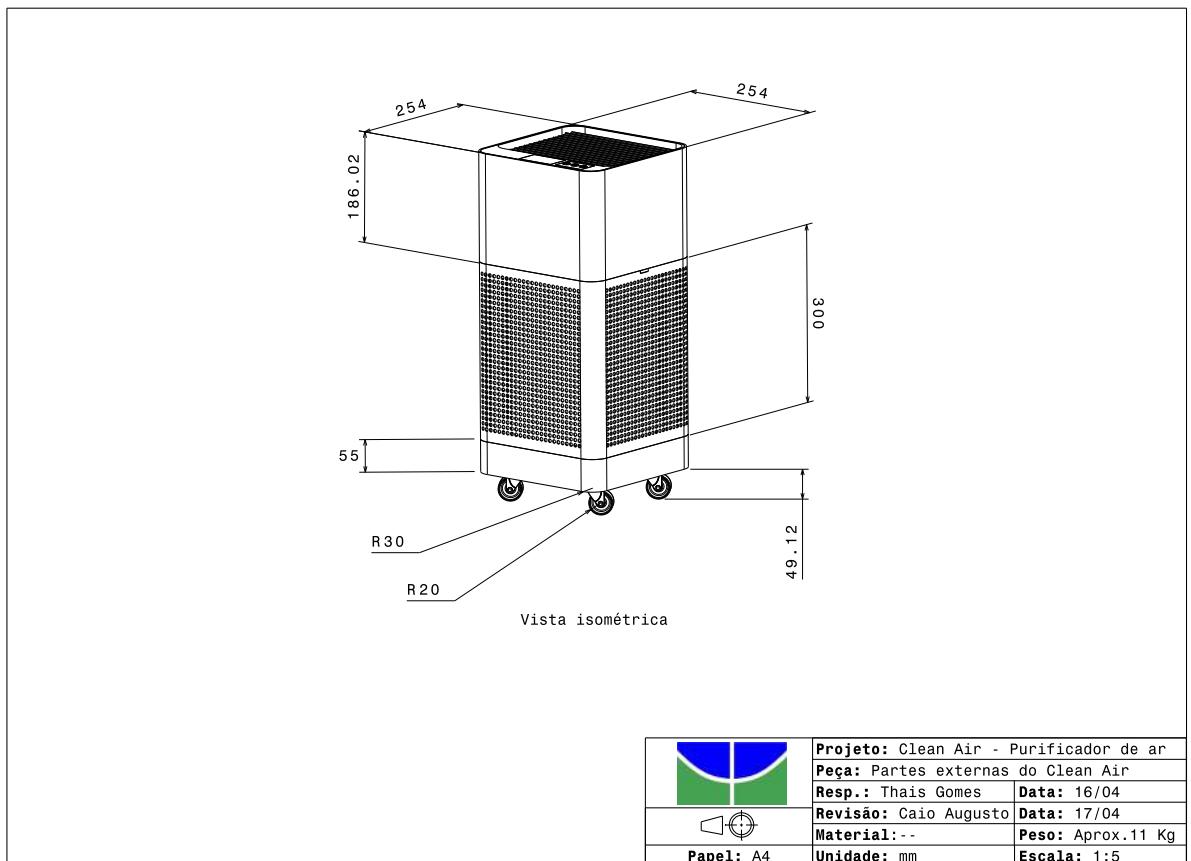


Figura 95 – Partes externas com as principais cotas do *CleanAir*

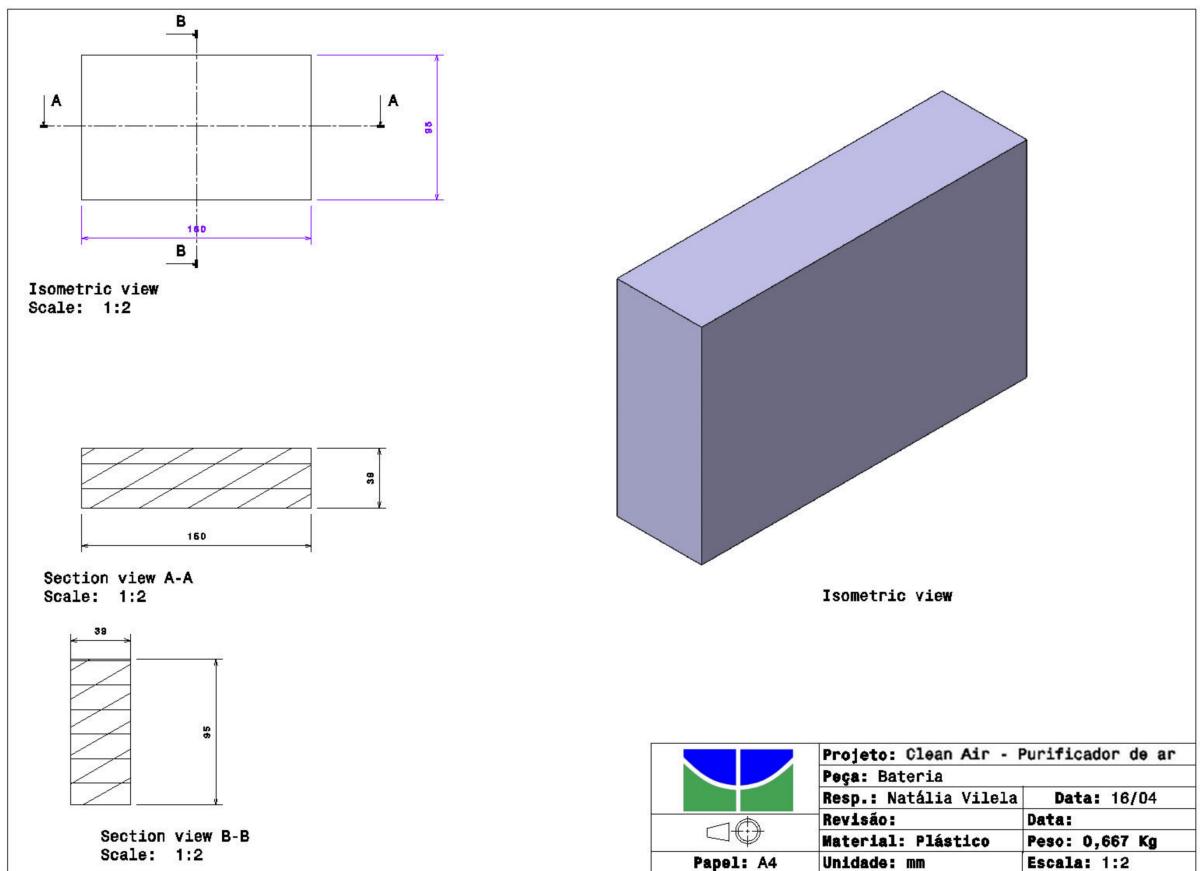
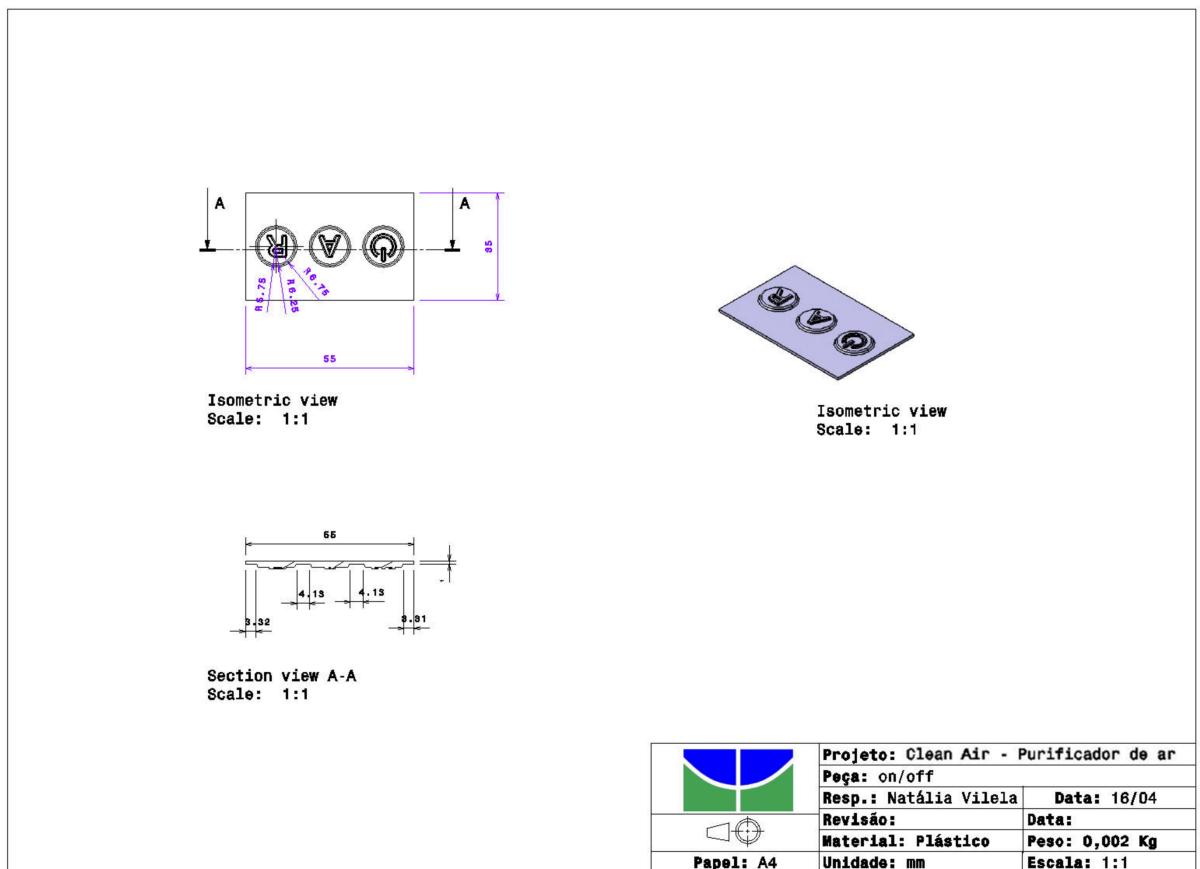
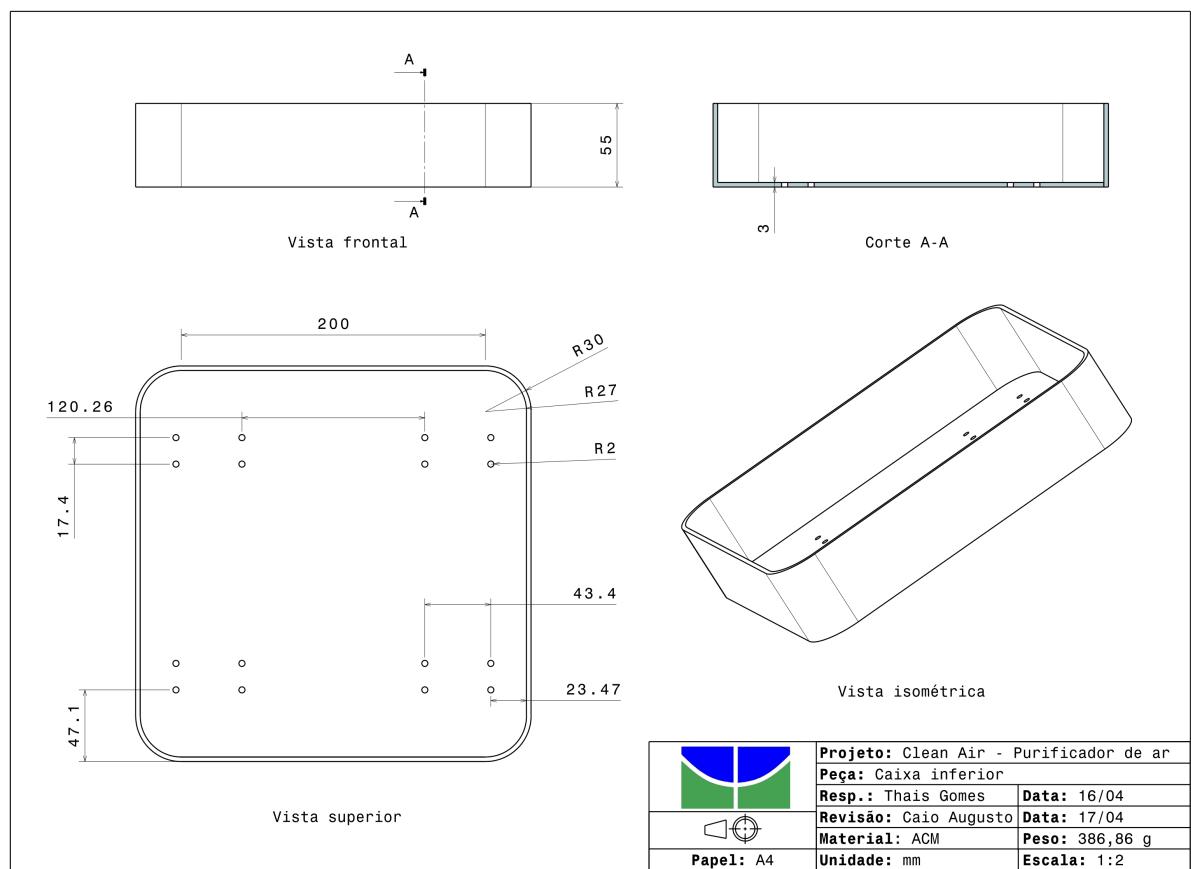
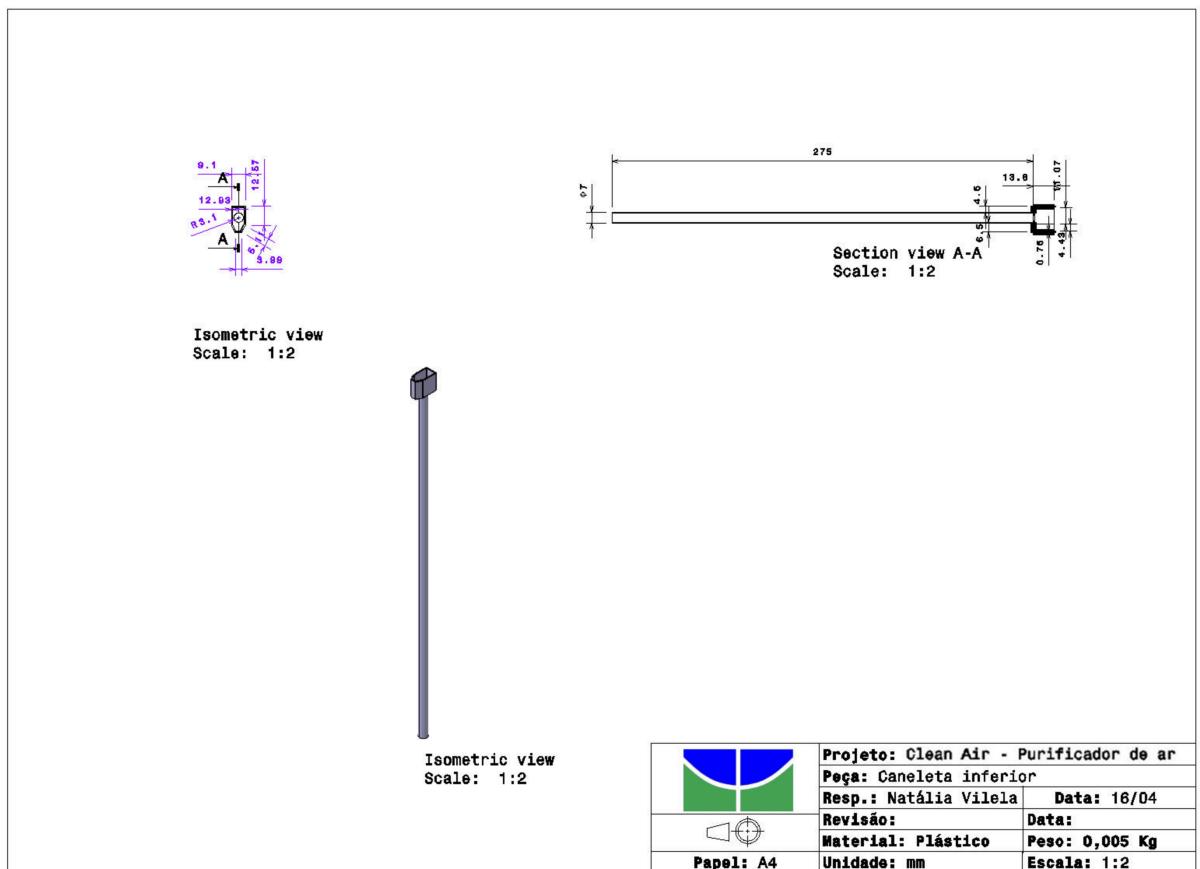


Figura 96 – Bateira CleanAir

Figura 97 – Botão On-Off *CleanAir*

Figura 98 – Caixa inferior do purificador *CleanAir*

Figura 99 – Canaleta inferior *CleanAir*

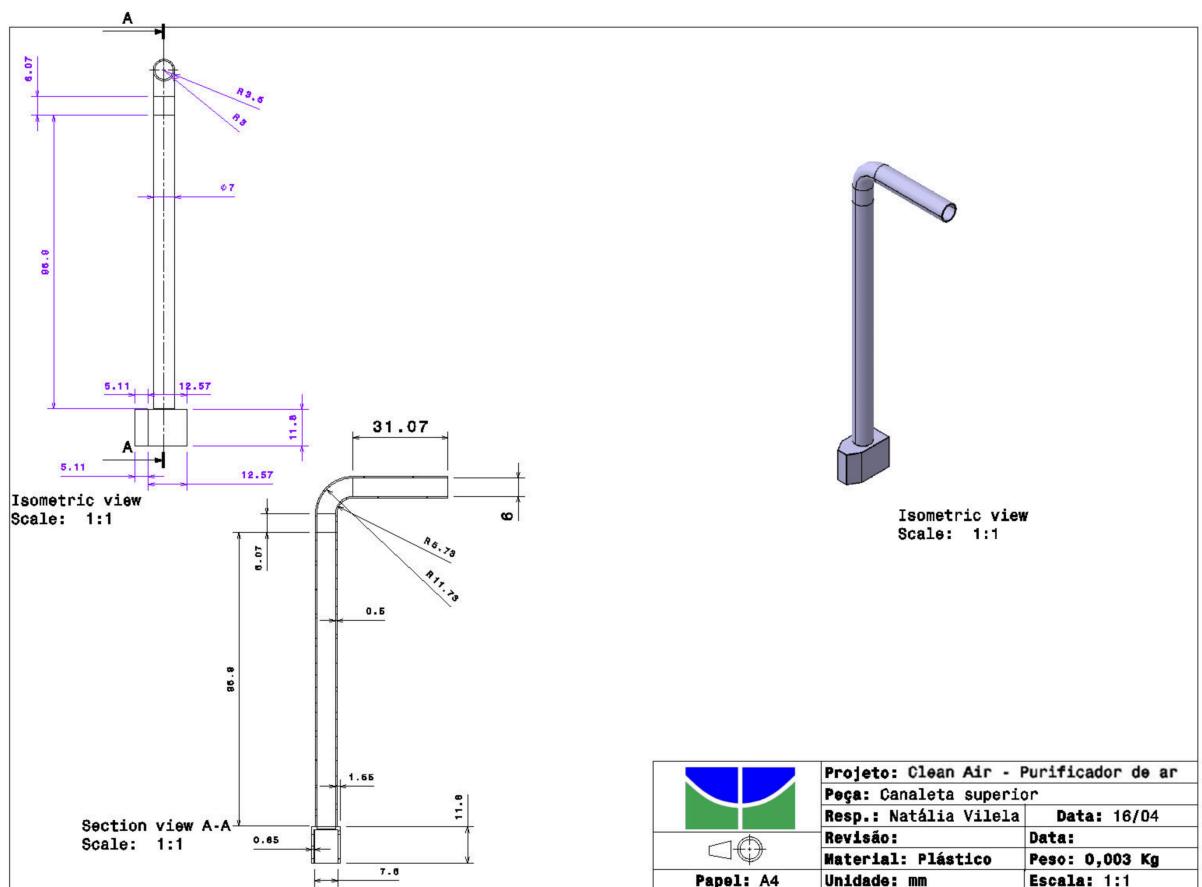
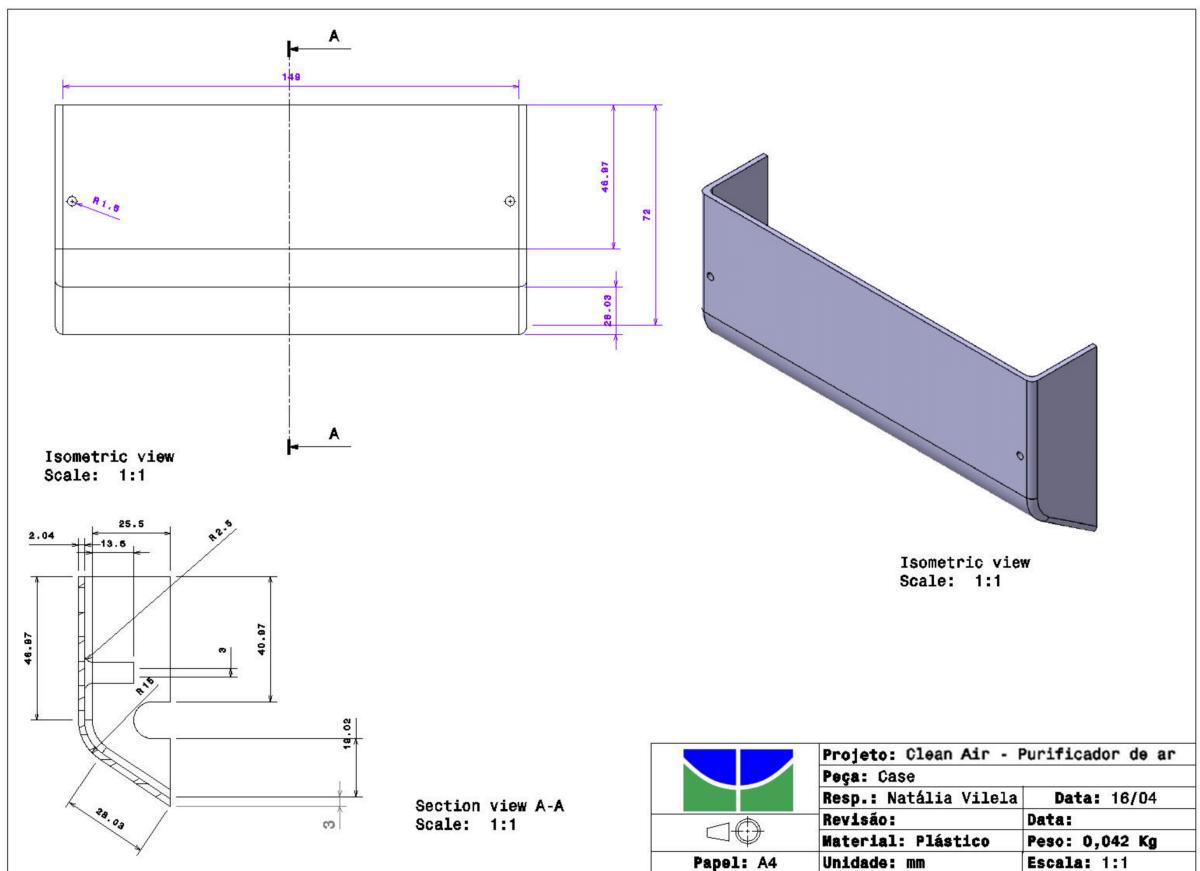


Figura 100 – Canaleta superior CleanAir

Figura 101 – Case *CleanAir*

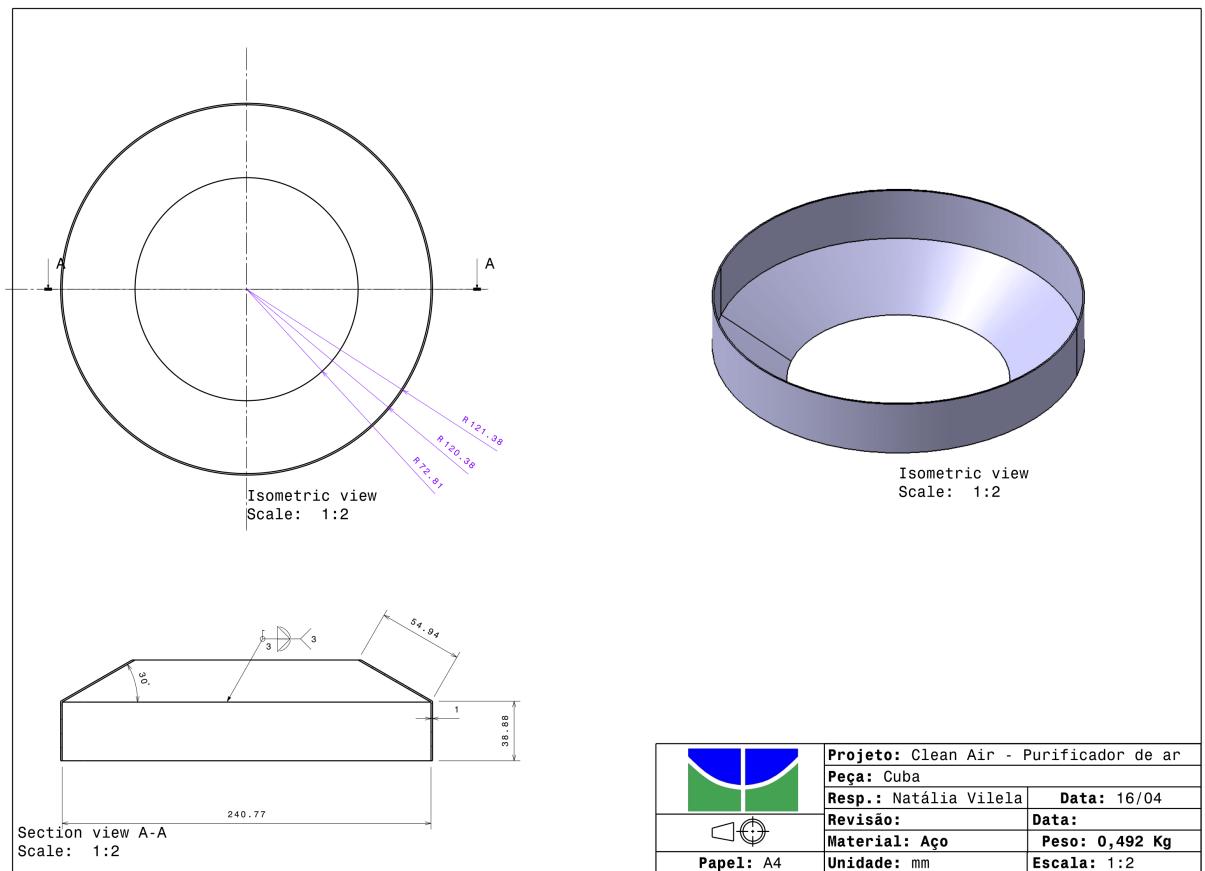
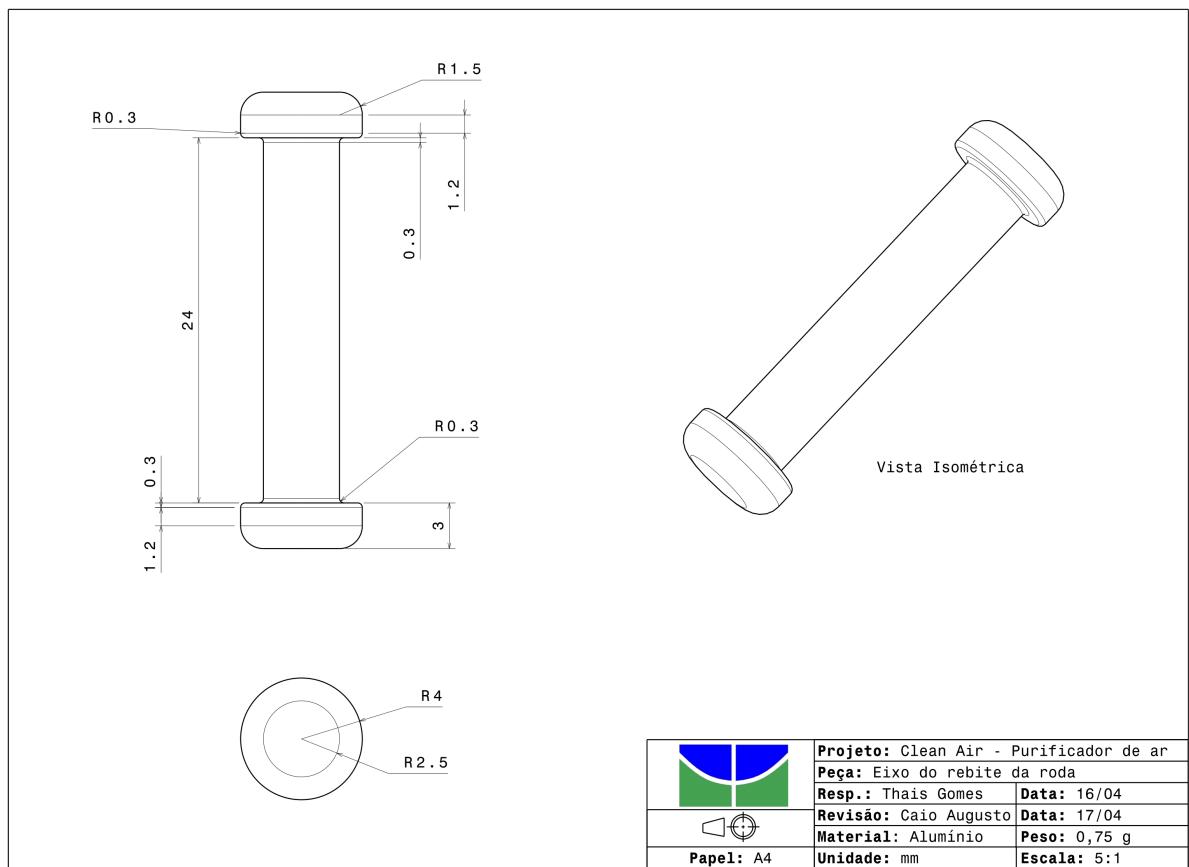
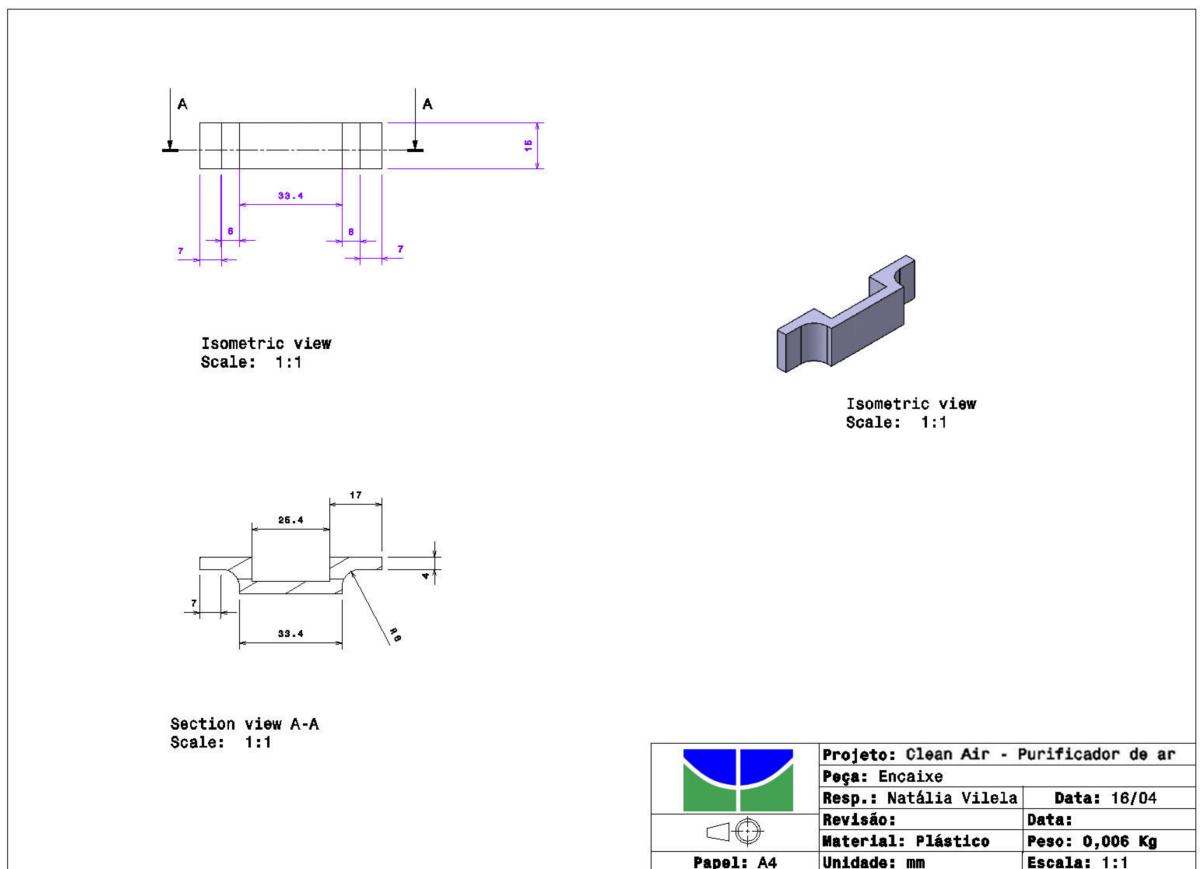
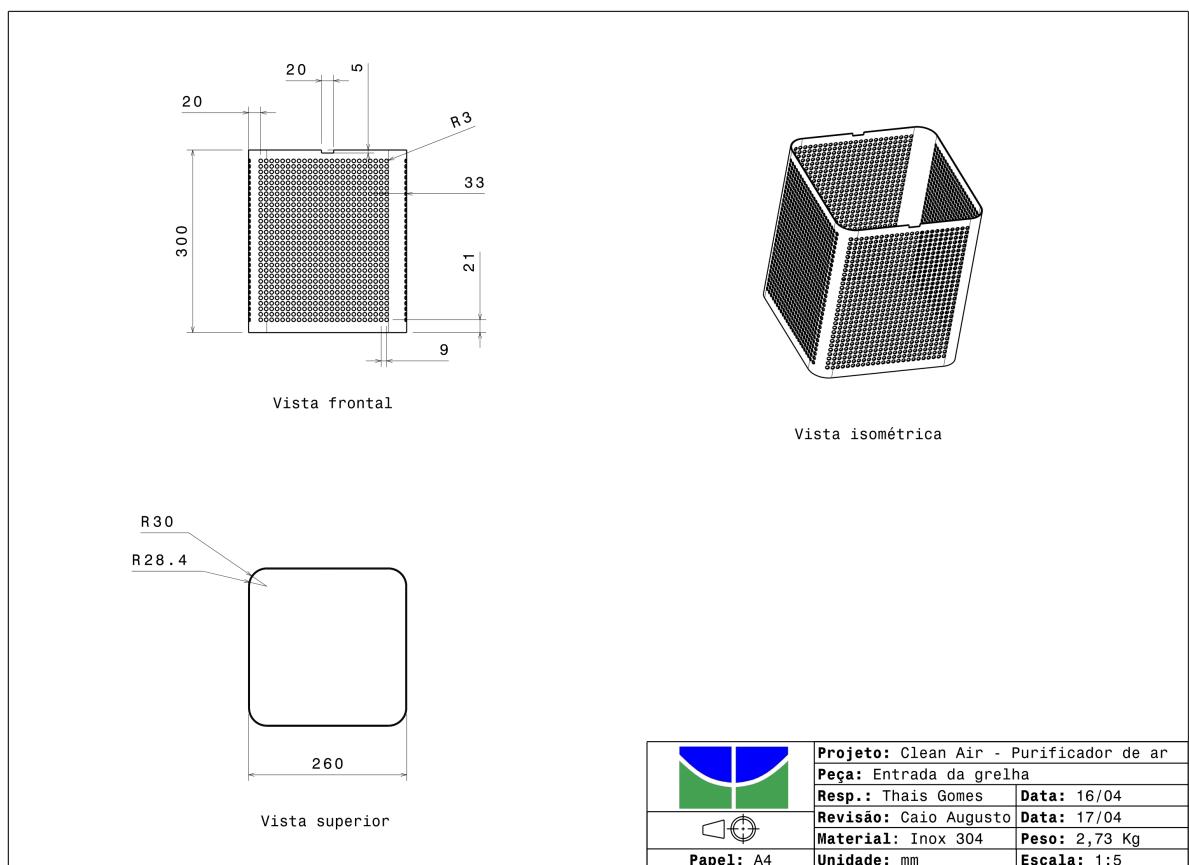
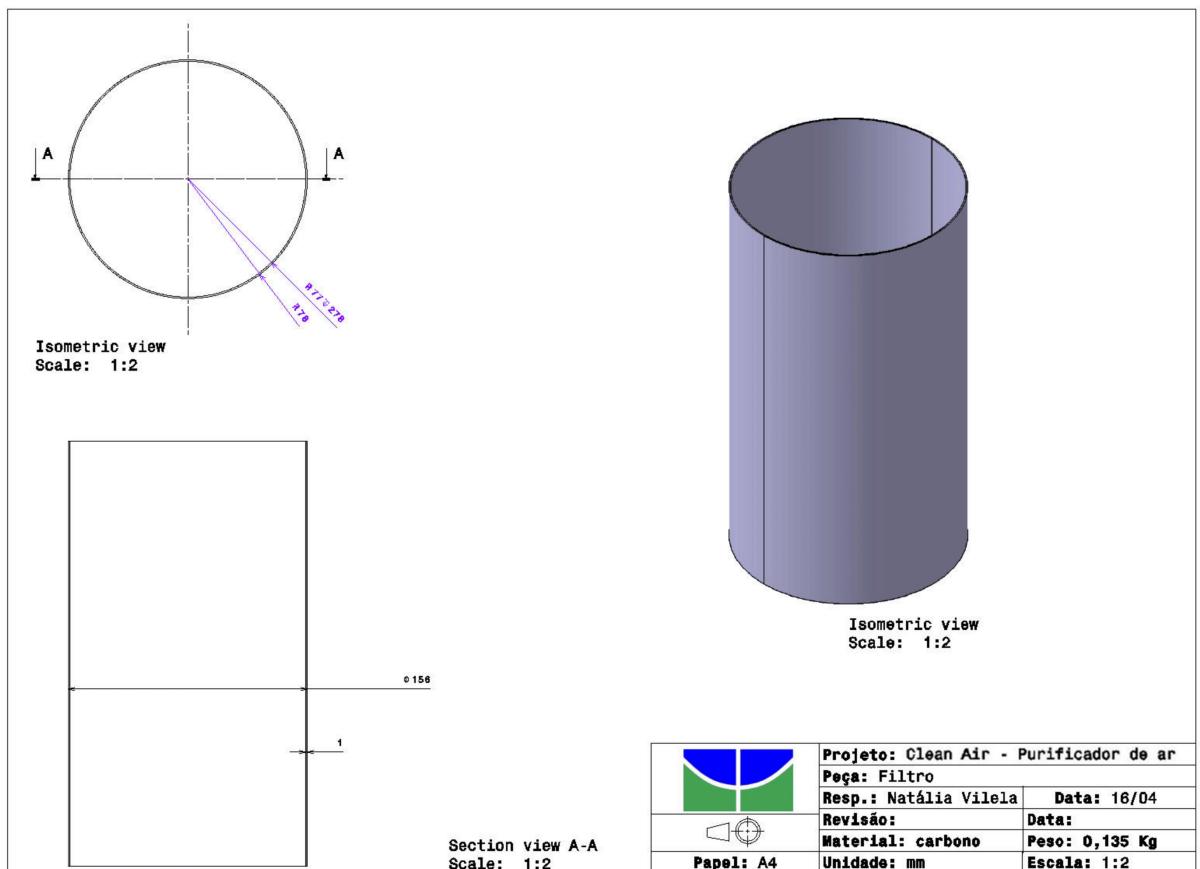


Figura 102 – Cuba CleanAir

Figura 103 – Eixo do rebite do *CleanAir*

Figura 104 – Encaixe *CleanAir*

Figura 105 – Entrada para a grelha de ventilação do *CleanAir*

Figura 106 – Filtro de carbono *CleanAir*

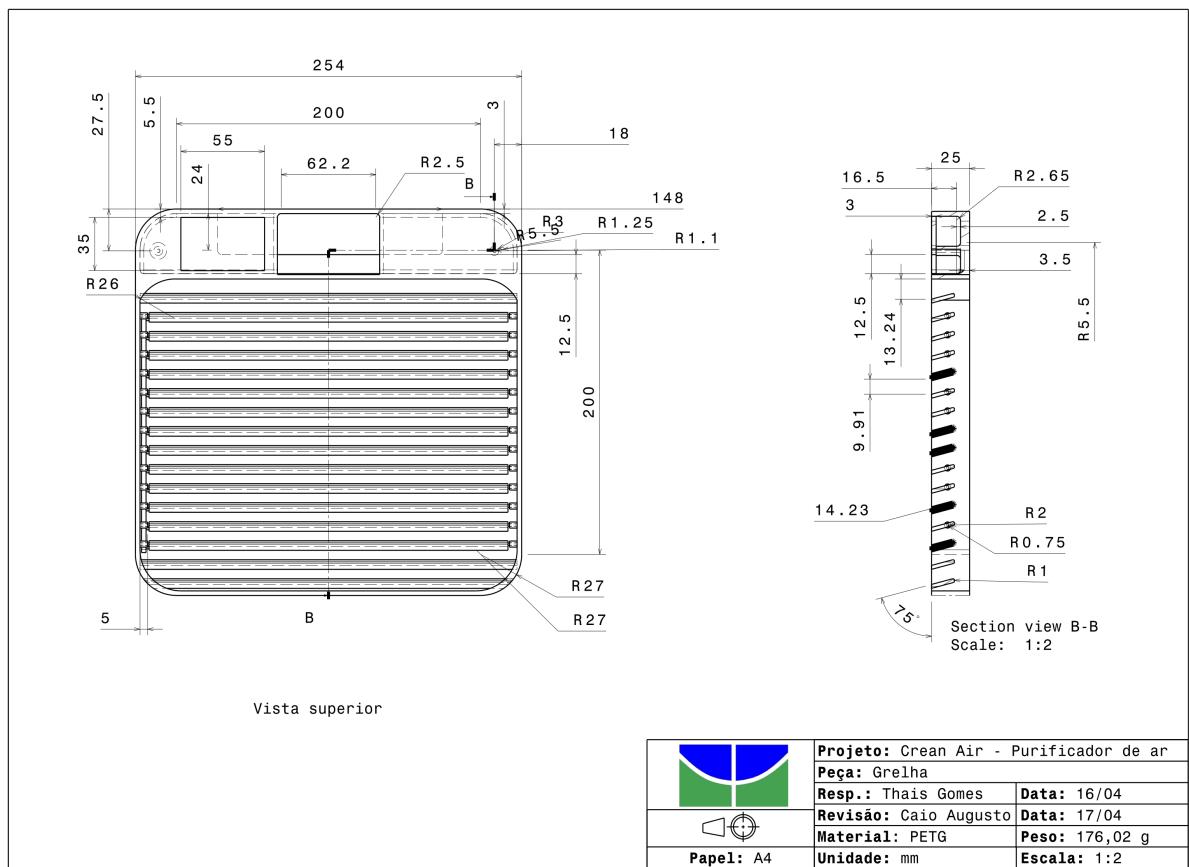
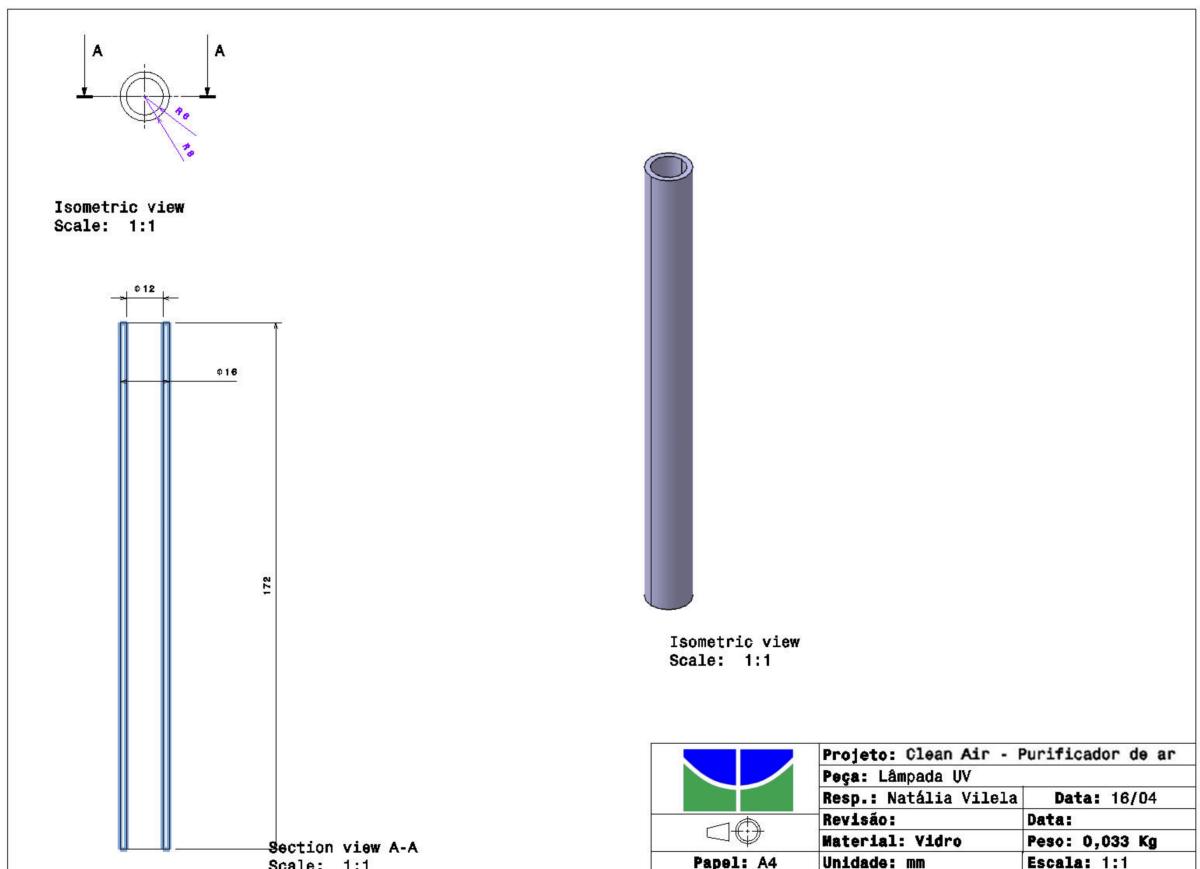
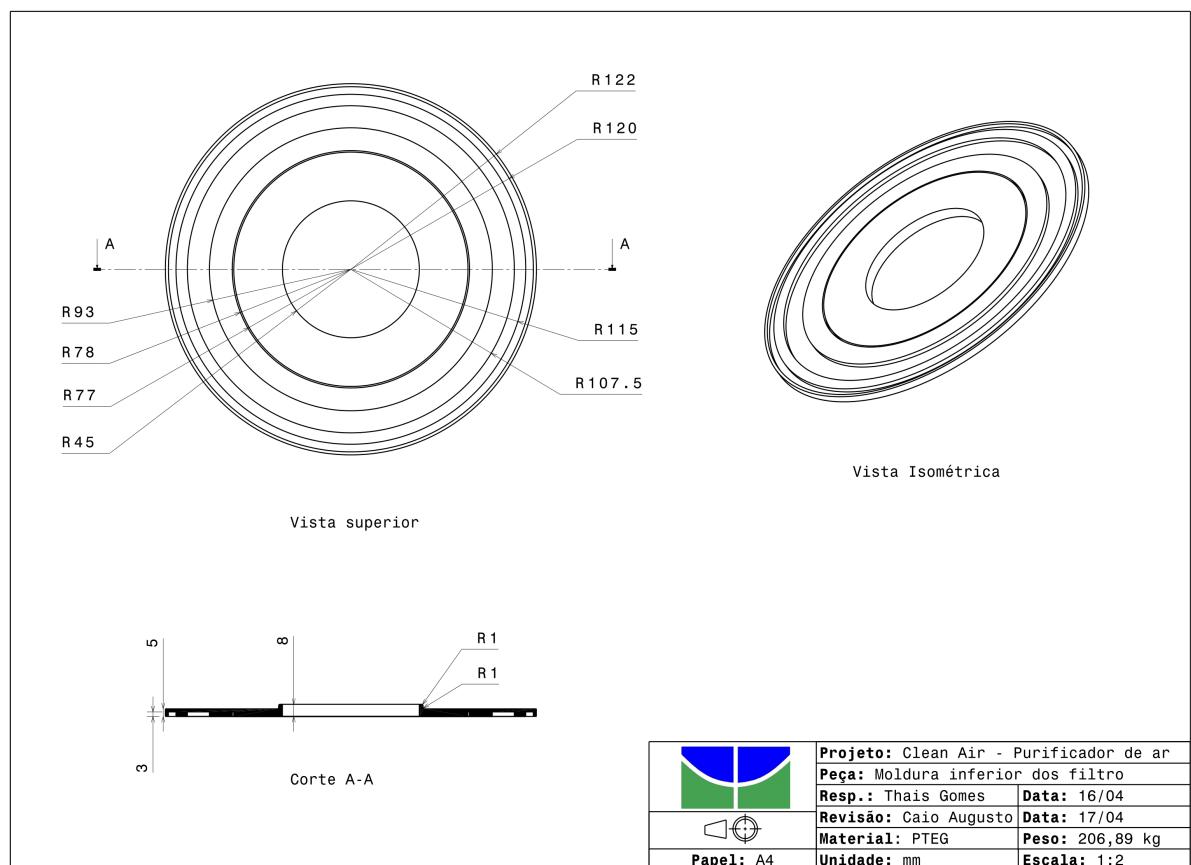
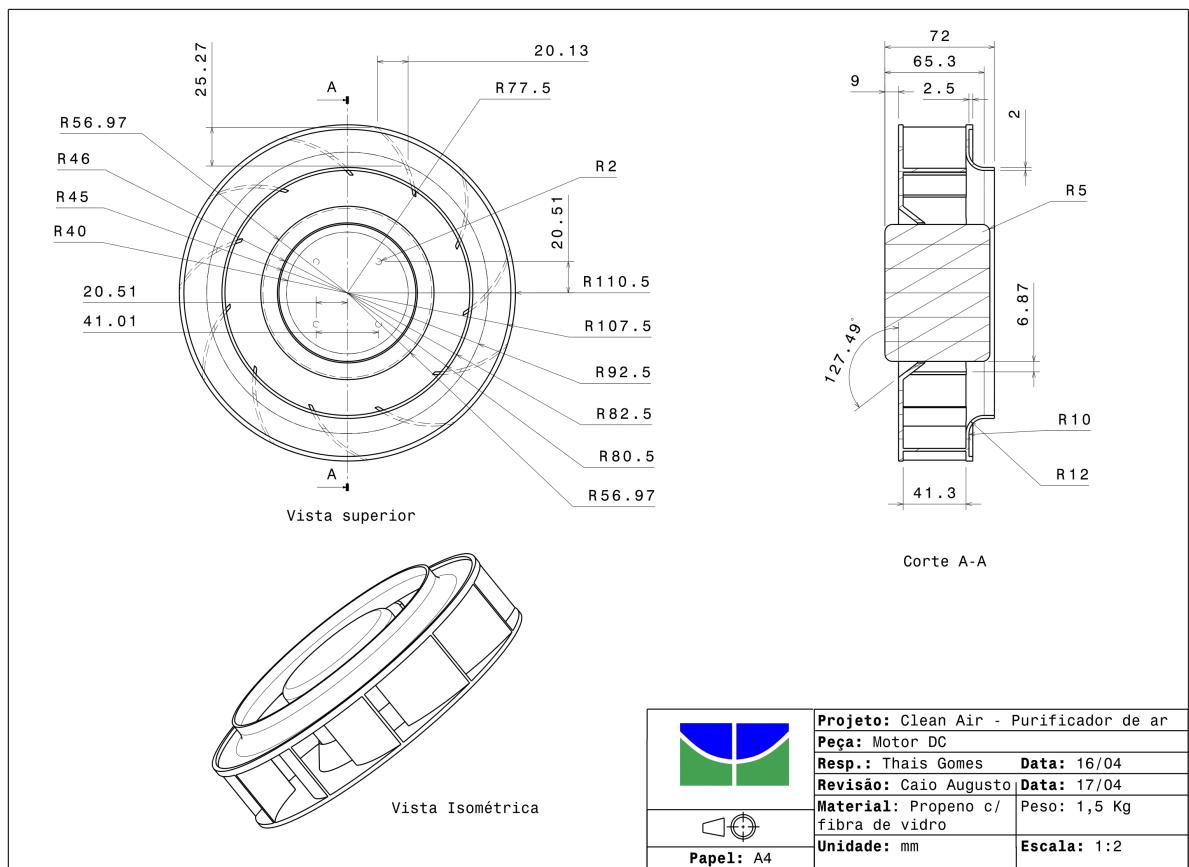
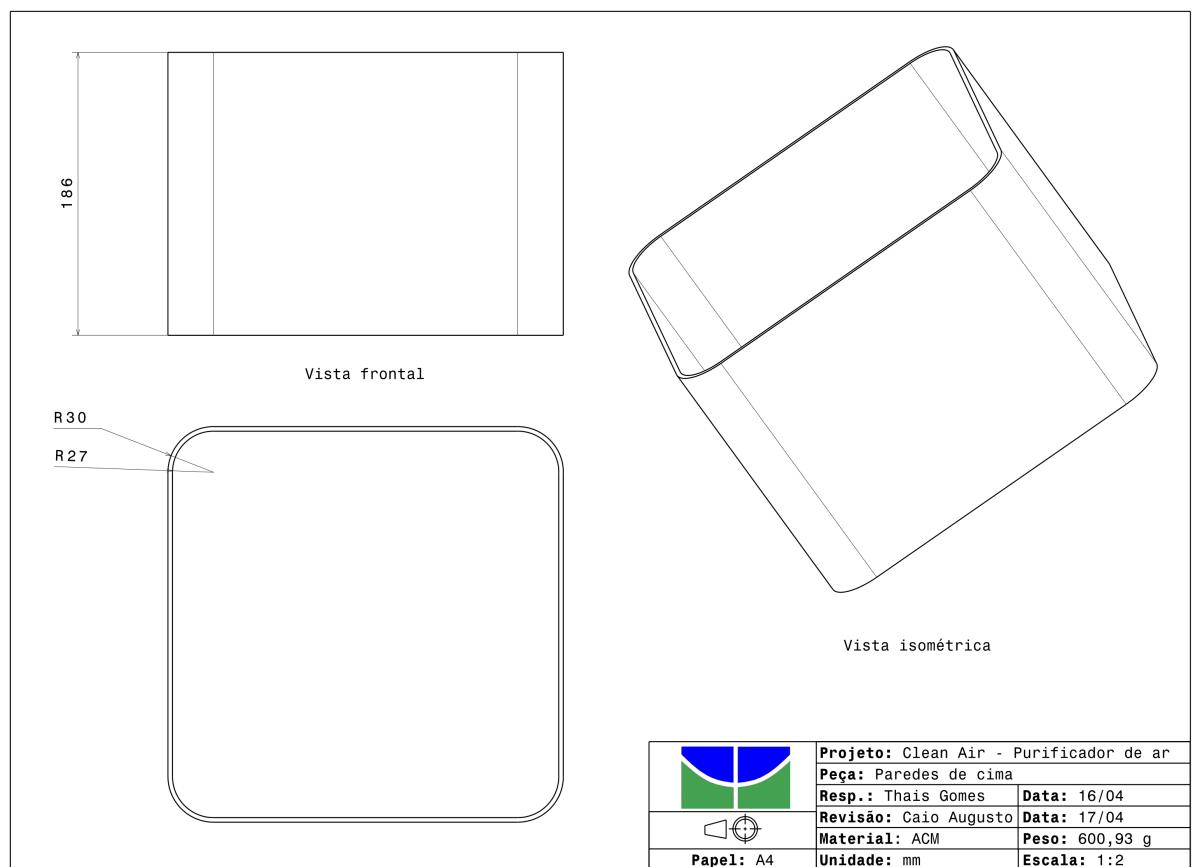


Figura 107 – Grelha de ventilação *CleanAir*

Figura 108 – Lâmpada UV *CleanAir*

Figura 109 – Moldura inferior *CleanAir*

Figura 110 – Motor DC do *CleanAir*

Figura 111 – Paredes de cima do *CleanAir*

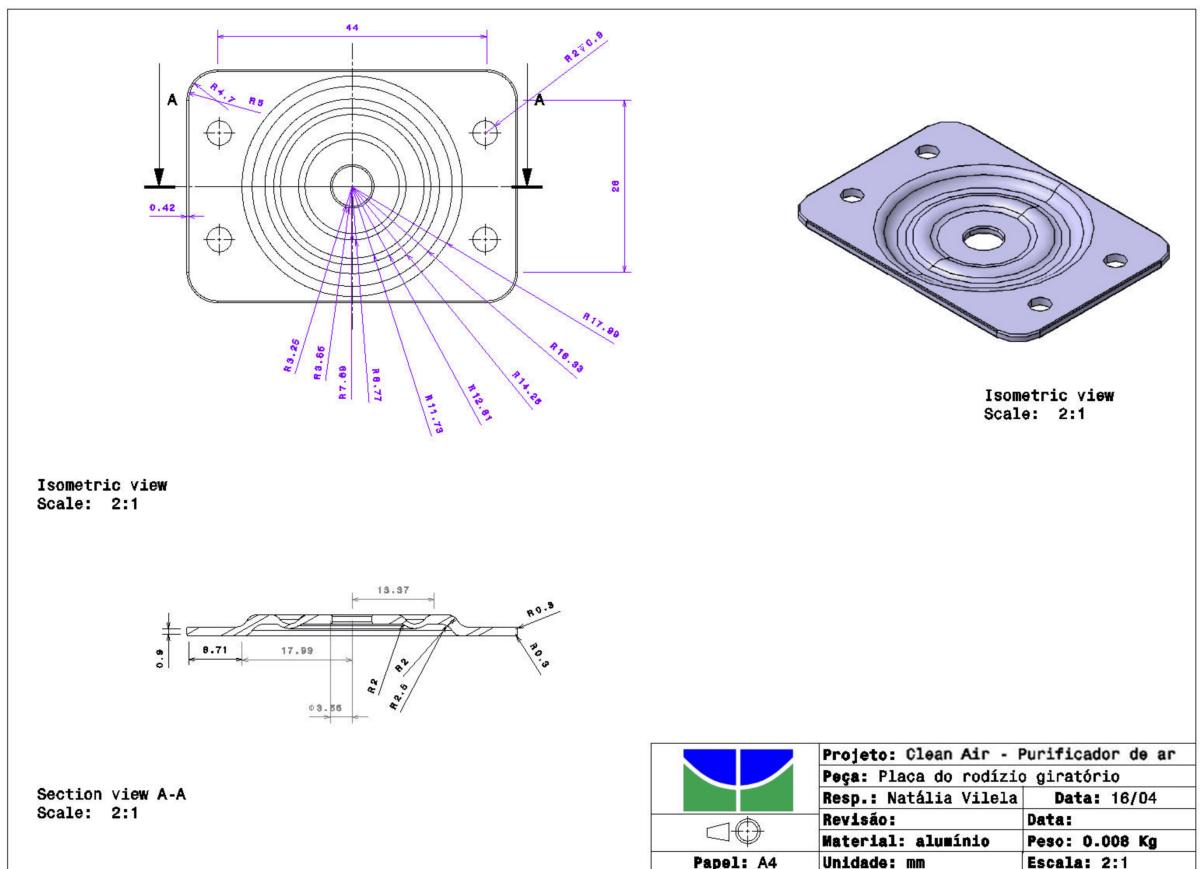


Figura 112 – Placa do rodízio giratório CleanAir

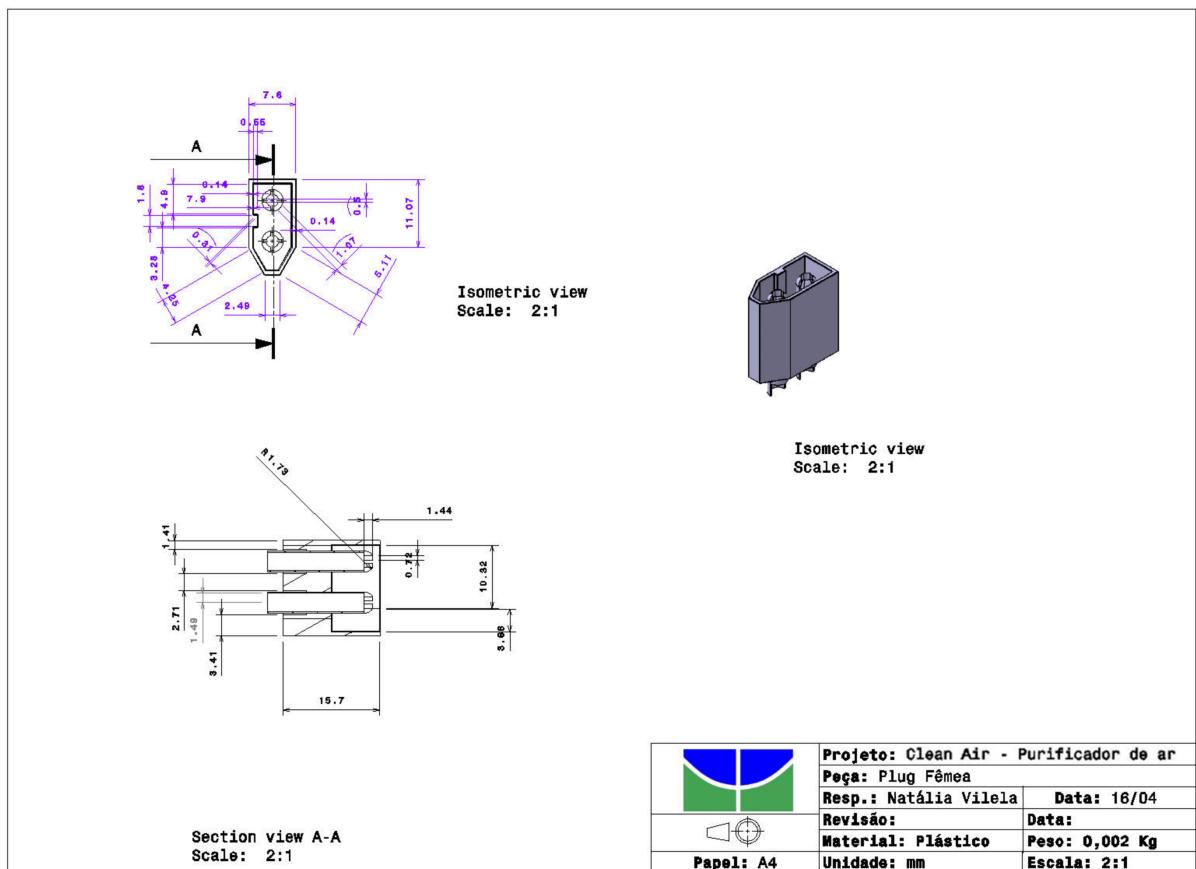


Figura 113 – Plug fêmea para conexão das longarinas do *CleanAir*

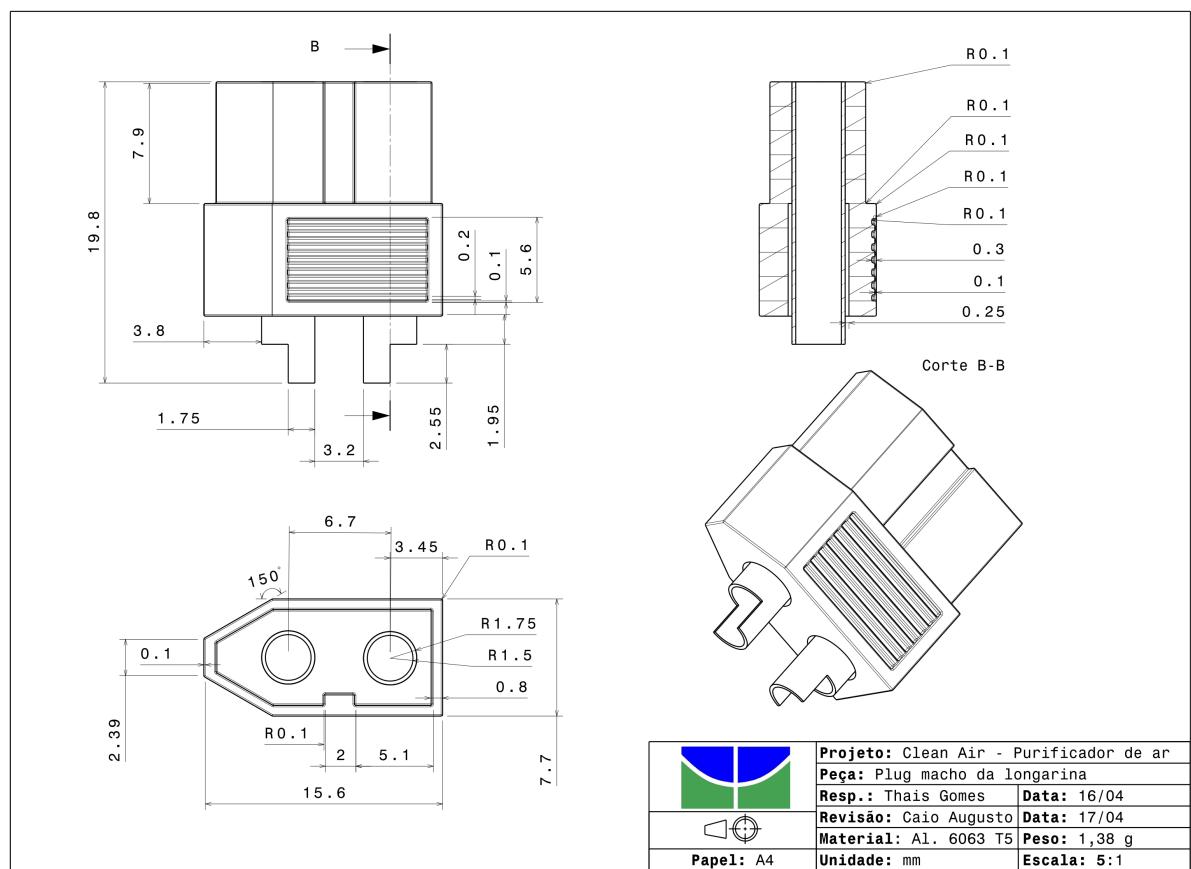
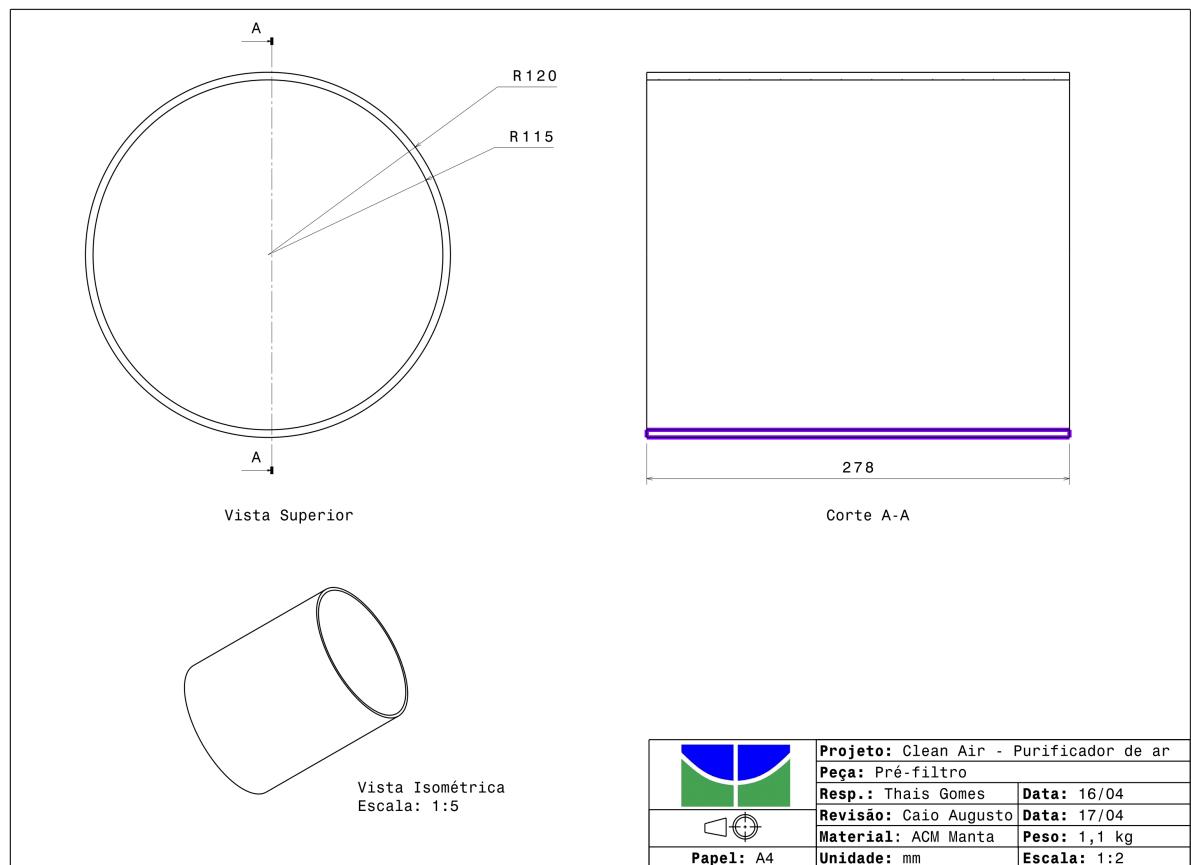


Figura 114 – Plug macho para conexão das longarinas do *CleanAir*

Figura 115 – Pré-filtro do purificador *CleanAir*

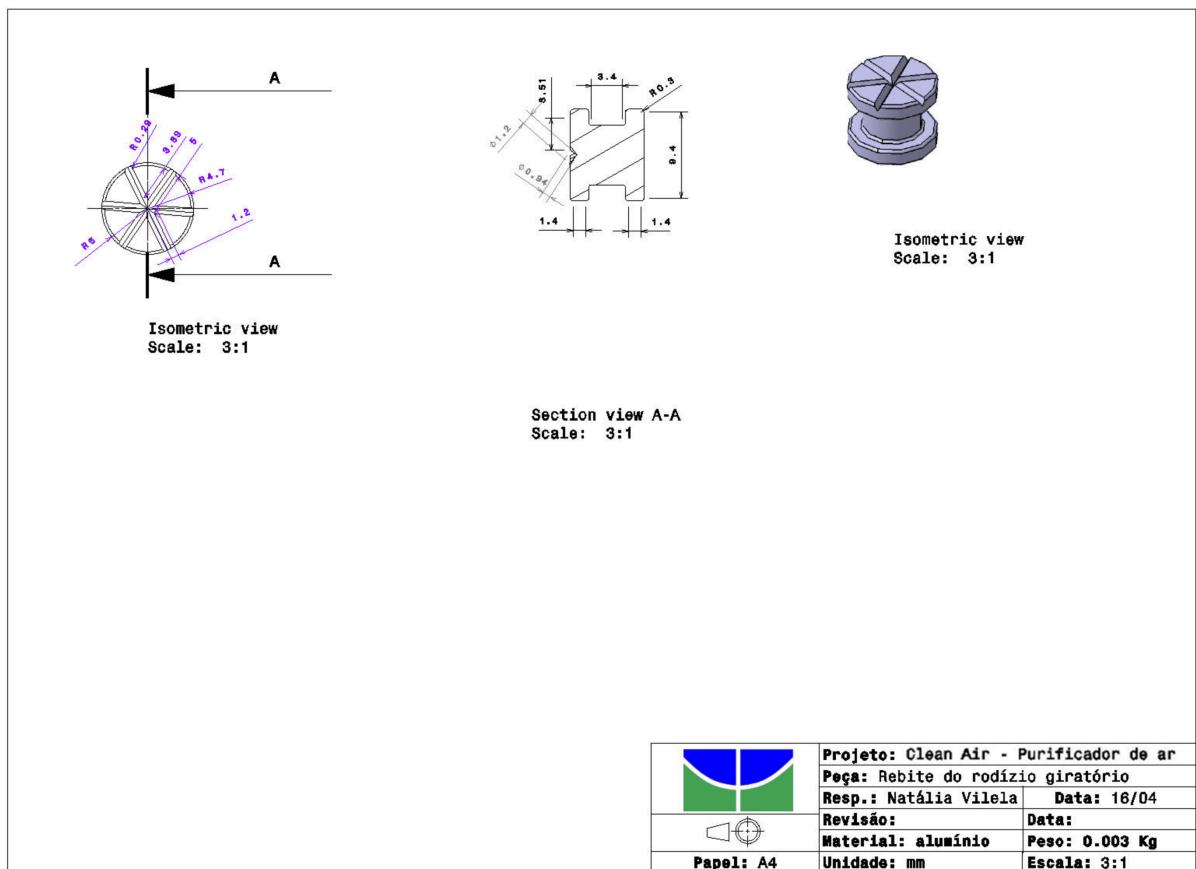
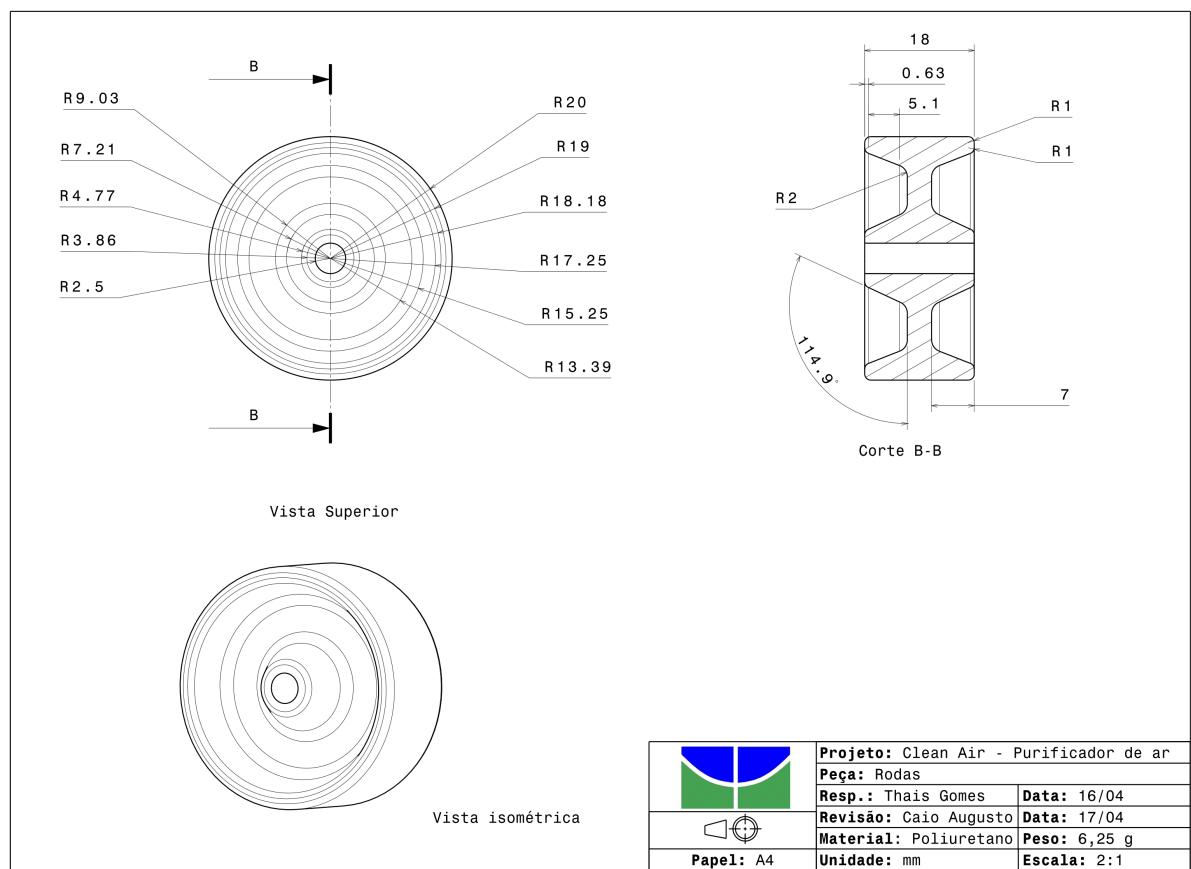
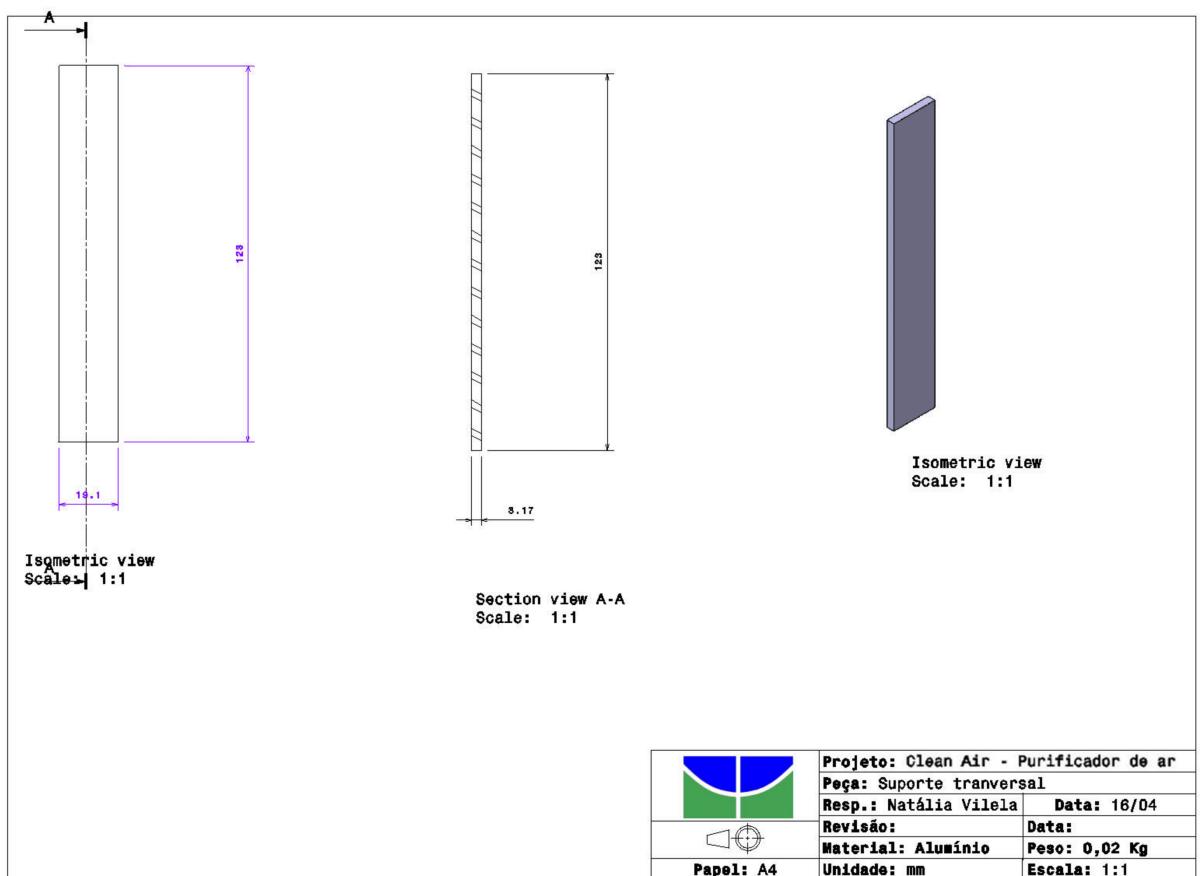
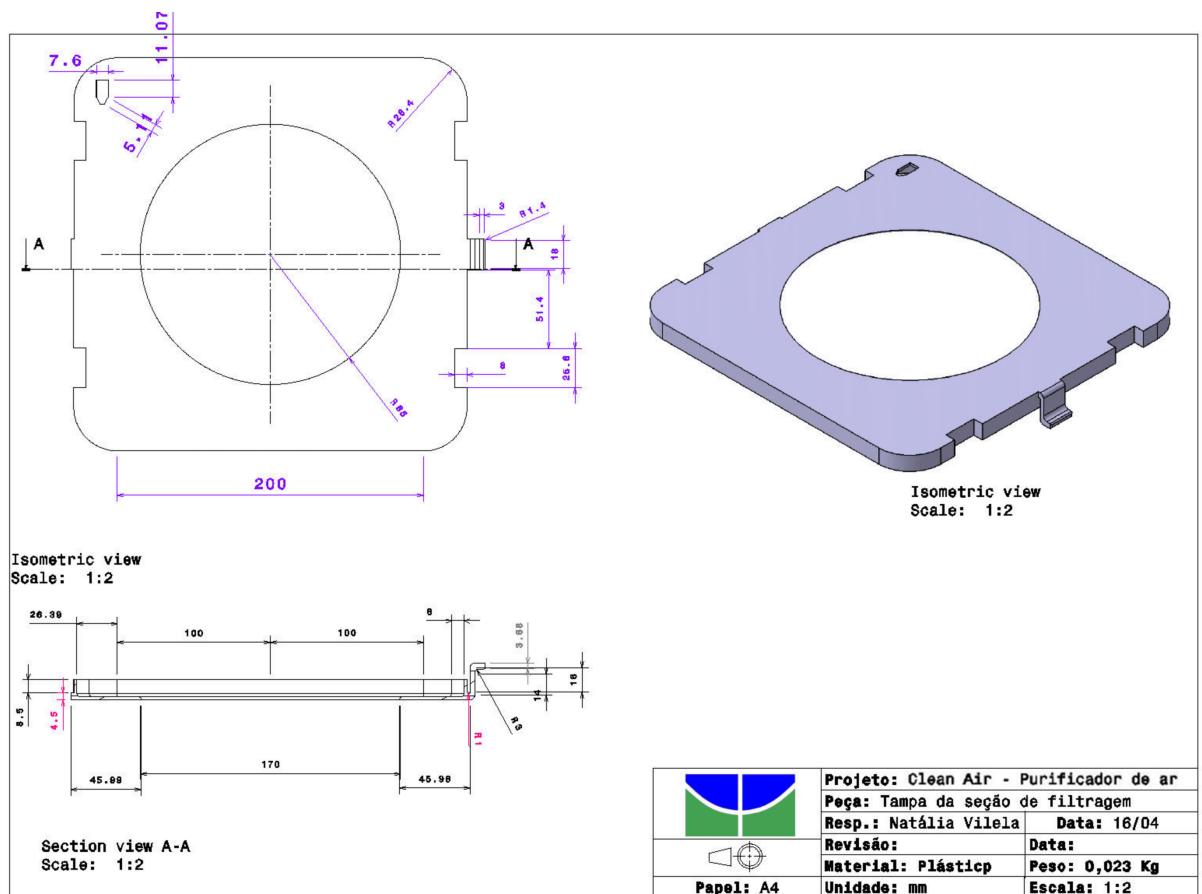
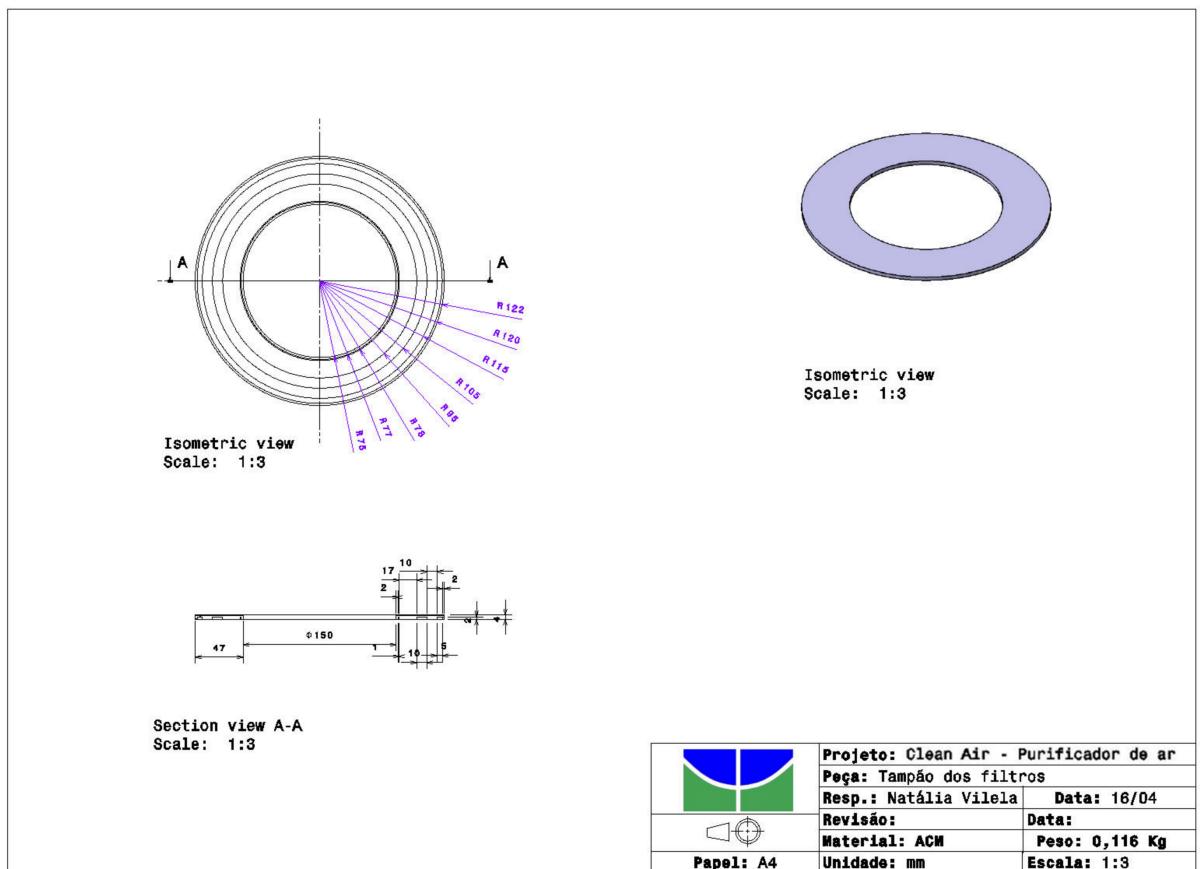


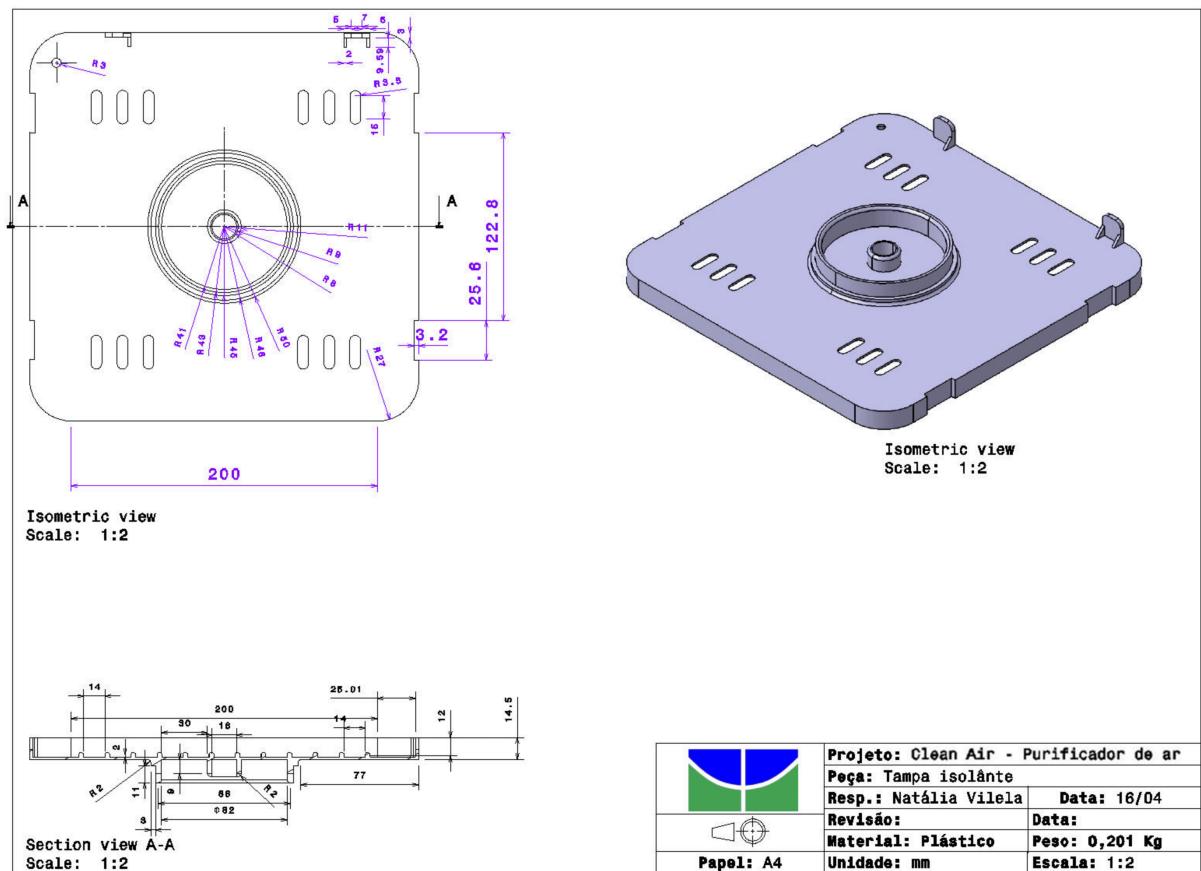
Figura 116 – Rebite CleanAir

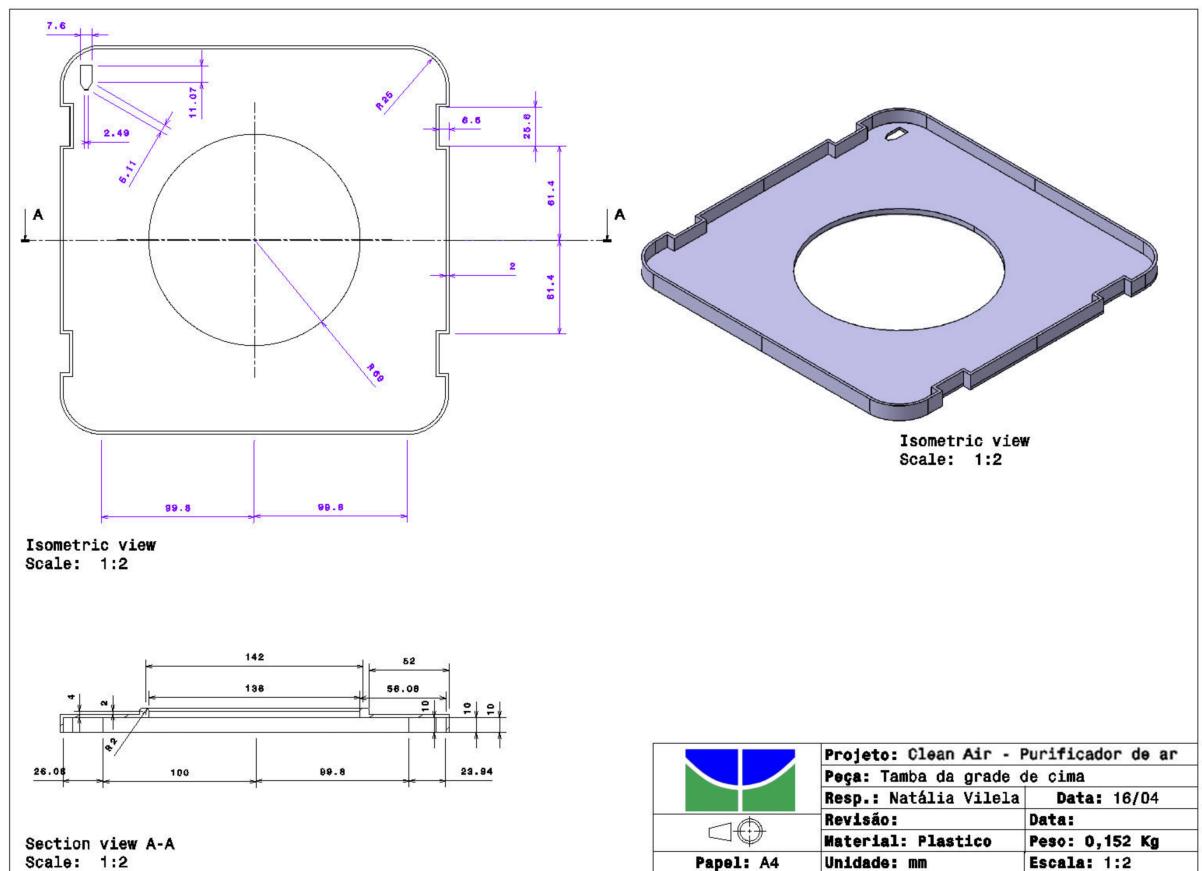
Figura 117 – Modelo das rodas do *CleanAir*

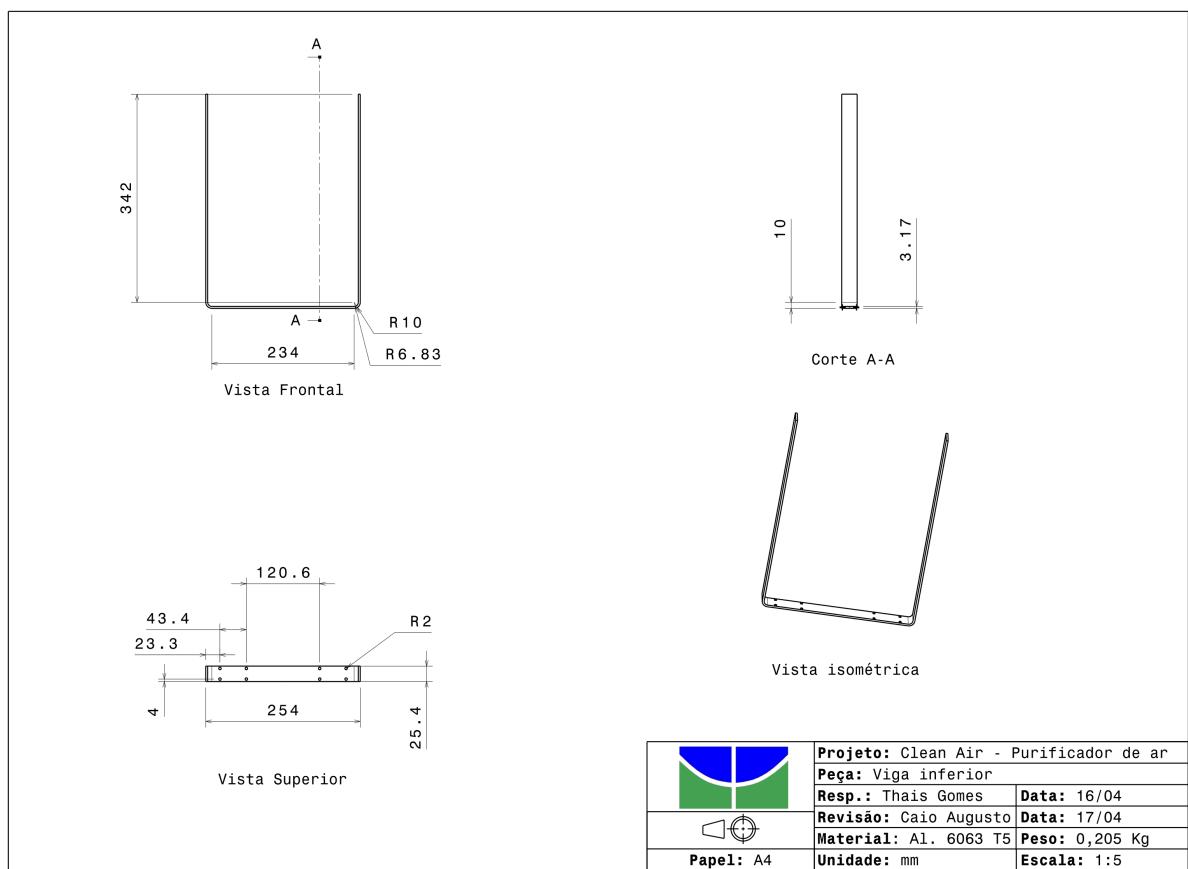
Figura 118 – Suporte transversal *CleanAir*

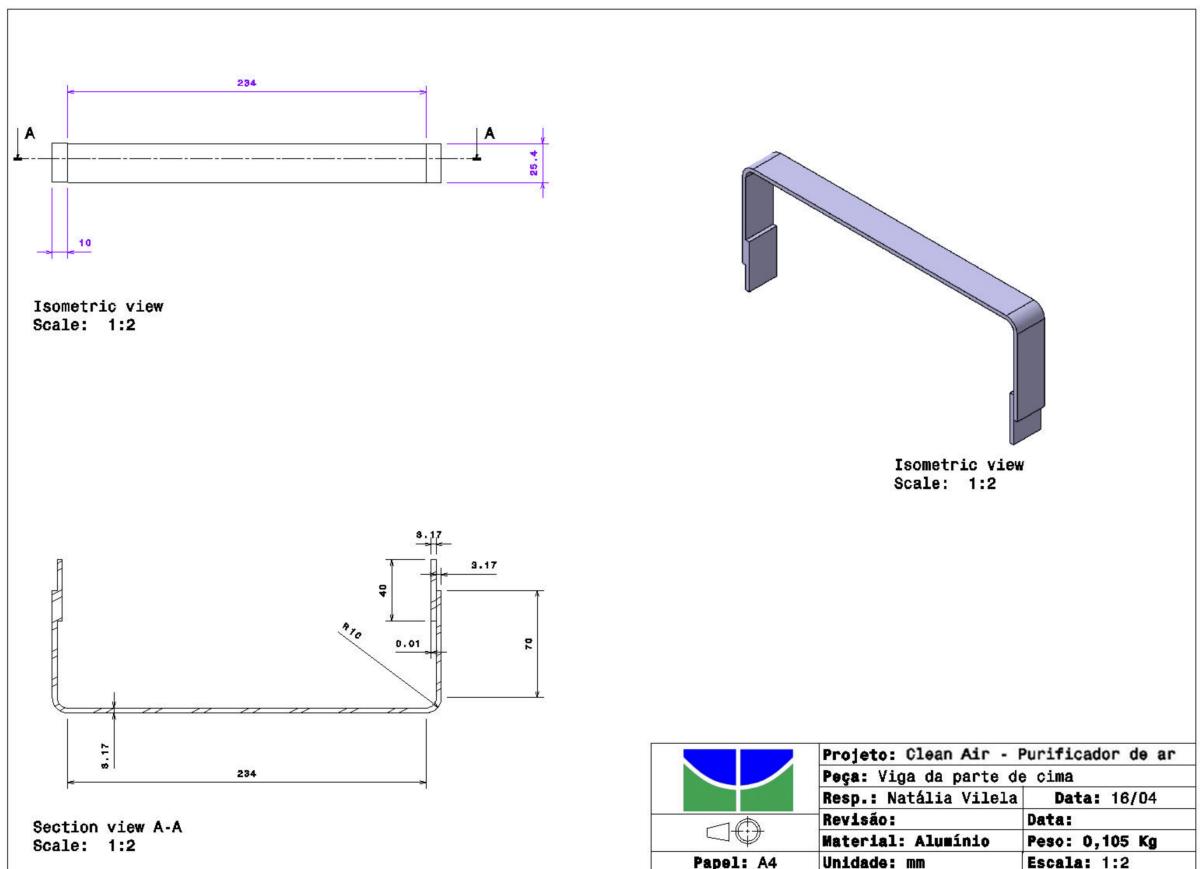
Figura 119 – Tampa da seção de filtragem *CleanAir*

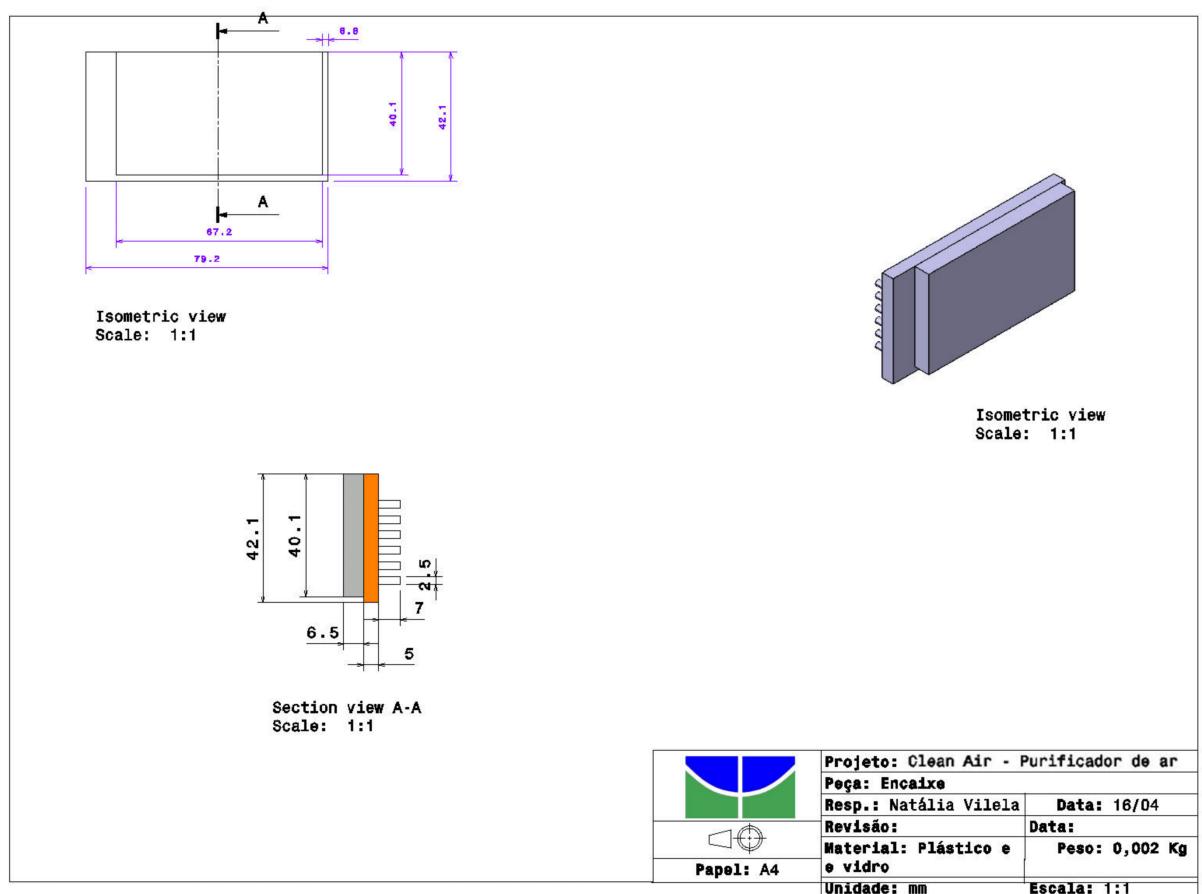
Figura 120 – Tampão dos filtros *CleanAir*

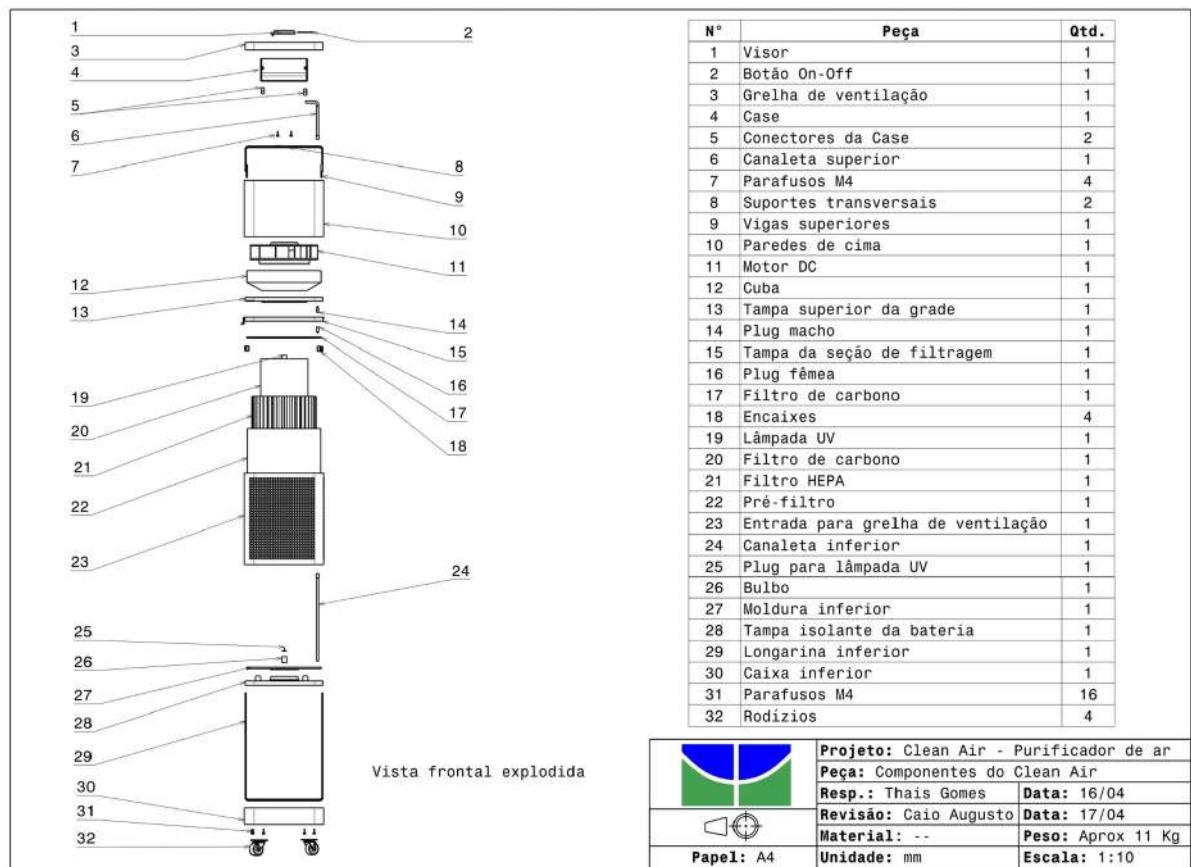
Figura 121 – Tampa isolante para a bateria *CleanAir*

Figura 122 – Tampa superior da grade *CleanAir*

Figura 123 – Viga inferior do *CleanAir*

Figura 124 – Viga superior do *CleanAir*

Figura 125 – Visor *CleanAir*

Figura 126 – Vista explodida com os componentes do *CleanAir*

APÊNDICE J – Telas do protótipo do aplicativo



Figura 127 – Estilos do protótipo

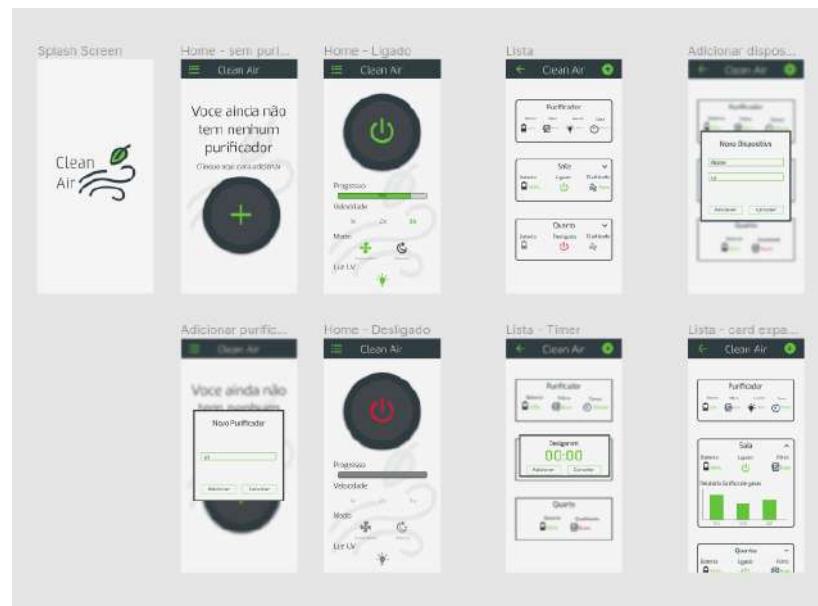


Figura 128 – Visão geral do protótipo

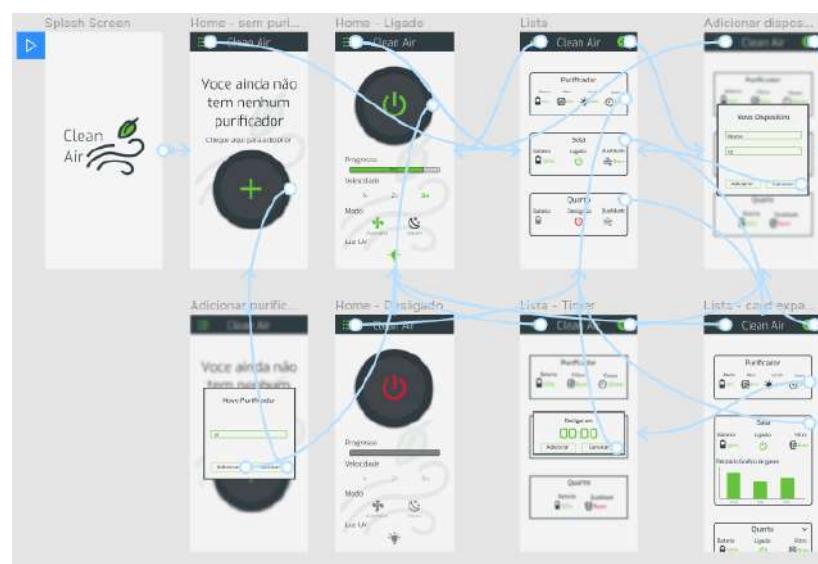


Figura 129 – Fluxos do protótipo

APÊNDICE K – Pesquisa de público

1. **Qual sua idade?** (Respostas disponíveis: menor de 18, 18 - 25 anos, 26 - 30 anos, +30 anos)

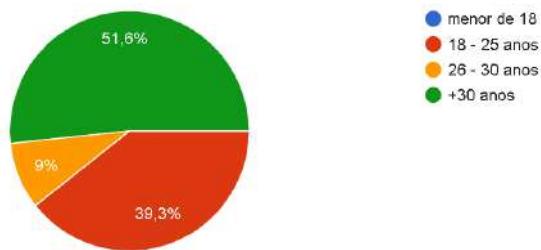


Figura 130 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 1.

2. **Você mora em?** (Respostas possíveis: Casa, Apartamento)

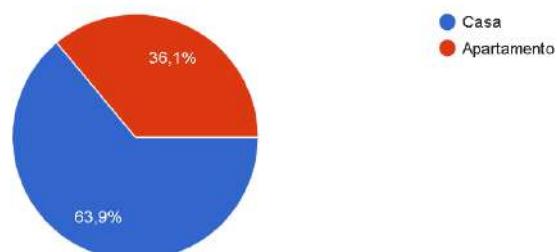


Figura 131 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 2.

3. **Quantas pessoas moram com você?** (Respostas possíveis: Apenas eu, 2 a 3 pessoas, 3 a 4 pessoas, +4 pessoas)

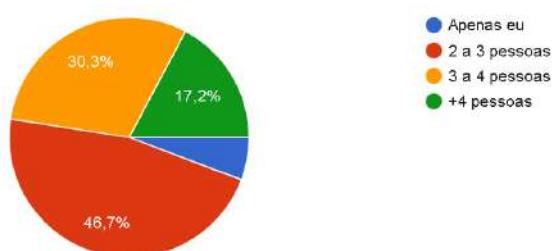


Figura 132 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 3.

4. Você considera o local onde você mora é bem ventilado? (Respostas possíveis: Sim, Não)

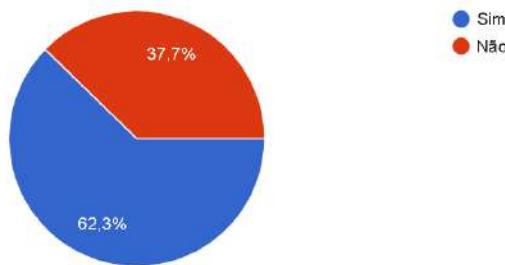


Figura 133 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 4.

5. Levando em consideração a presença de acáros, vírus, fungos, bactérias, fumaça, poeira, fuligem, pelos, umidade e odores indesejáveis como você quantifica a qualidade do ar no local onde você mora? (Respostas possíveis: 1; 2; 3; 4; 5)

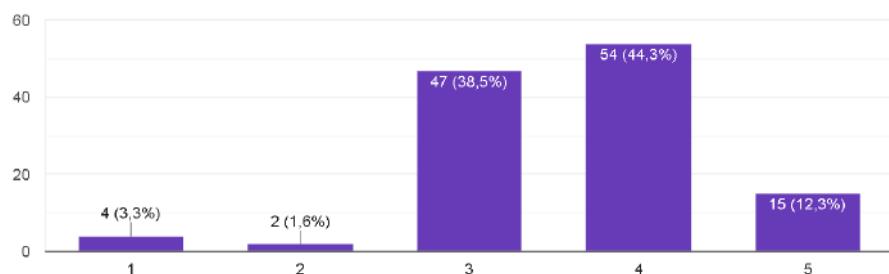


Figura 134 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 5.

6. Você possui alguma doença respiratória crônica? (Respostas possíveis: sim, não, não sei)

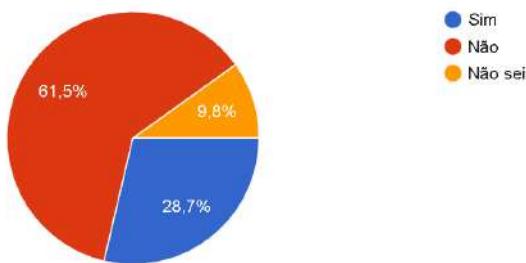


Figura 135 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 6.

7. Você acha que a qualidade do ar do local onde você mora impactam diretamente na sua saúde? (Respostas possíveis: sim, não, não sei)

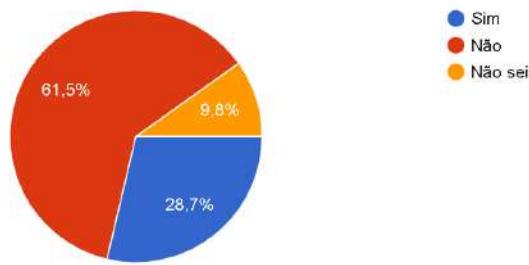


Figura 136 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 7.

8. Você costuma permitir ventilação no local em que dorme durante seu sono? (Respostas possíveis: sim, não)

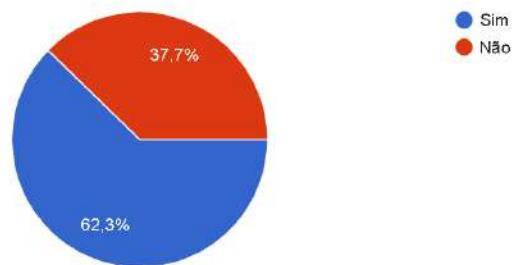


Figura 137 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 8.

9. De 1 à 5 quão importante é para você saber da qualidade do ar que respira? (Respostas possíveis: sim, não)

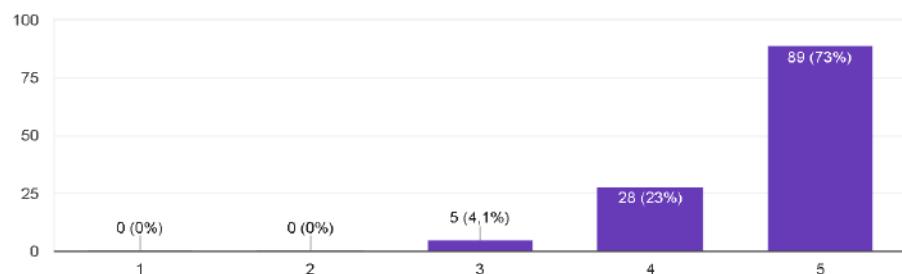


Figura 138 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 9.

10. Das necessidades que devem ser atendidas pelo Purificador/Esterilizador de ar, marque-as com a ordem de prioridade na sua opinião. (Respostas possíveis: Eliminar Vírus, Bactérias e Fungos; Eliminar elementos alérgenos(que causam alergias); Eliminar odores indesejáveis.)

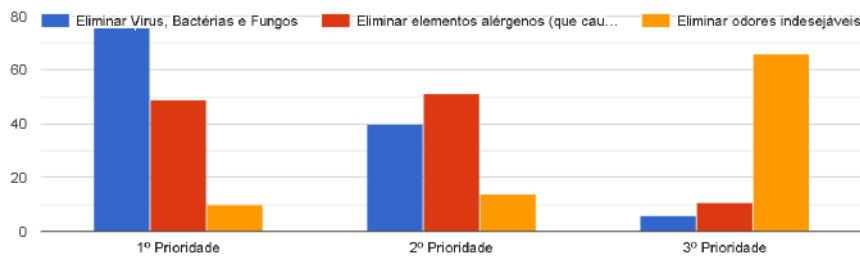


Figura 139 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 10.

11. Se você fosse comprar um Purificador/Esterilizador de ar ambiente, qual das características abaixo você levaria em conta na escolha do produto. (Respostas possíveis: Eficiência na purificação e esterilização do ar; Capacidade de purificar a maior área possível; Funcionalidades como: Controle por voz e monitoramento da qualidade do ar e do aparelho via celular; Design atraente e compacto; Durabilidade; Preço)



Figura 140 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 11.

12. Você acredita que um Purificador/Esterilizador de ar possa ajudar na sua saúde respiratória? (Respostas possíveis: sim, não, talvez)

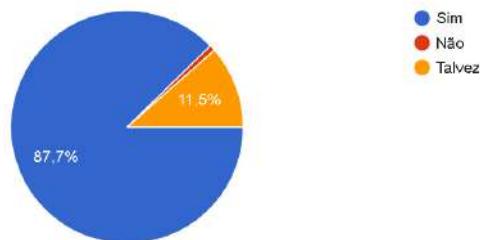


Figura 141 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 12.

13. Caso fosse acessível, você compraria um Purificador de ar com o compromisso de melhorar e resguardar sua saúde respiratória? (Respostas possíveis: sim, não, talvez)

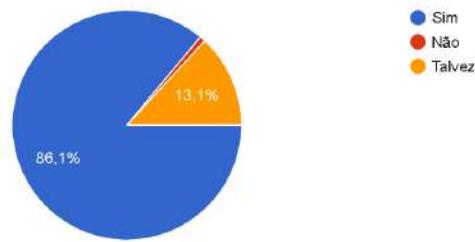


Figura 142 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 13.

- item Em uma escala de 1 à 5 quanto interessante você acha que seria ter uma aplicativo de celular que informasse a qualidade do ar na sua casa? (Respostas possíveis: 1; 2; 3; 4; 5)

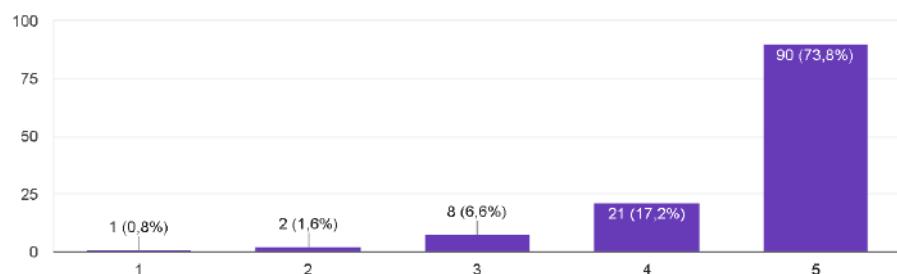


Figura 143 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 14.

14. O que você mais gostaria de saber sobre o ar que respira? (Respostas possíveis: Quantidade de poeira, fuligem e outros elementos alérgenos (que causam alergias); Quantidade de gases poluentes; Temperatura e umidade do ar; Outro)

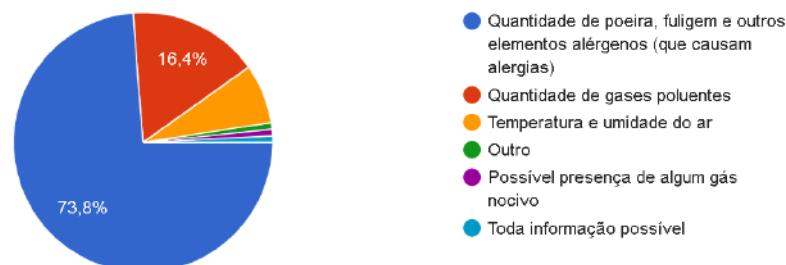


Figura 144 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 14.

15. Qual outro local além da sua casa você gostaria que tivesse um sistema de purificação e esterilização do ar? (Resposta livre)

Das 122 pessoas que responderam à pesquisa, 45 disseram que gostaria de ter um sistema de purificação e esterilização no trabalho, 26 disseram que gostaria que tivesse um sistema em ambiente escolar/acadêmico e outras 52 pessoas responderam com locais variados, entretanto, em todas as respostas notou-se relação com grande trânsito de pessoas.

APÊNDICE L – Contribuição por integrante

Na tabela abaixo pode-se ver a contribuição de cada integrante da equipe para o desenvolvimento do projeto.

Tabela 37 – Contribuição dos participantes no PC2

Nome	Engenharia	Contribuição
Daniela Oliveira	Eletrônica	Gerenciamento geral de atividades do grupo e auxílio na gerência das atividades das outras células. Verificação do andamento do projeto e auxílio na formatação e correção do documento final. Auxílio nas simulações dos circuitos, documentação da solução eletrônica.
Derick Fernandes	Aeroespacial	Simulação de escoamento interno, desenvolvimento de peças para o CAD e documentação de solução de estrutura.
Manuella Ramos	Eletrônica	Coordenação da equipe de elétrica, elaboração e documentação de simulações de circuitos eletrônicos, desenvolvimento de diagrama de integração, criação de PCI.
Sara Silva	Software	Coordenação da equipe de software, análise de riscos, elaboração da EAP, documentação da solução de software, arquitetura, diagramas dos serviços e das tecnologias e documentação de metodologia.
Caio Araújo	Aeroespacial	Simulação estrutural das longarinas, desenvolvimento de peças para o CAD e documentação de solução de estrutura.
Caio Moraes	Software	Elaboração da logomarca, desenvolvimento do protótipo, diagrama arquitetura da informação, pesquisa de alternativas e concorrências e requisitos de software.
Eduardo Ribeiro	Software	Desenvolvimento da documentação de inovação, pesquisa de alternativas e concorrências e requisitos de software.

Gabriel Castro	Automotiva	Detalhamento do sensor mobile, integração dos subsistemas de eletrônica na estrutura e desenvolvimento de peças para o CAD e documentação de solução de estrutura.
Ginette Schroetter	Energia	Elaboração de circuito regulador de tensão, diagrama unifilar, desenvolvimento de PCIs, dimensionamento de fios, cálculos de fontes, desenvolvimento de carregadores, desenvolvimento de circuito de proteção, simulações dos circuitos e tabela de classificação de filtros.
Lívia Moura	Energia	Elaboração de circuito regulador de tensão, diagrama unifilar, desenvolvimento de PCBs, dimensionamento de fios, cálculos de fontes, desenvolvimento de carregadores, desenvolvimento de circuito de proteção, simulações dos circuitos e tabela de classificação de filtros.
Luísa Silva	Eletrônica	Elaboração e documentação de simulações de circuitos eletrônicos, desenvolvimento de diagrama de integração, criação de PCI.
Natália Guimarães	Automotiva	Fixação da cuba no CAD e desenvolvimento dos desenhos técnicos.
Rossicler Júnior	Software	Documentação de custos, elaboração de diagrama geral da arquitetura, documentação de metodologia e requisitos.
Thaís Melo	Aeroespacial	Fixação da lâmpada UV no CAD e desenvolvimento dos desenhos técnicos.