



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

## **Zéfiro**

**Autor: Grupo 01**

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

**Gama, DF**

**2020**



Grupo 01

## **Zéfiro**

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. Rhander Viana; Prof. Dr. Ricardo Matos Chaim e Prof. Dr. Paolo Gessini

Gama, DF  
2020

---

Grupo 01

Zéfiro/ Grupo 01. – Gama, DF, 2020-  
239 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientadores: Prof. Dr. Alex Reis; Prof. Dr. José Felício da Silva; 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 , 2020.

1. Poluição. 2. Monitoramento. 3. Saúde. I. Prof. Dr. Alex Reis; Prof. Dr. José Felício da Silva; Prof. Dr. Rhander Viana; Prof. Dr. Ricardo Matos Chaim e Prof. Dr. Paolo Gessini . II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama.  
IV. Zéfiro

---

Grupo 01

## **Zéfiro**

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, 08 de novembro de 2020:

---

**Alex Reis**  
Orientador

---

**José Felício da Silva**  
Orientador

---

**Rhander Viana**  
Orientador

---

**Ricardo Matos Chaim**  
Orientador

---

**Paolo Gessini**  
Orientador

Gama, DF  
2020

# **Integrantes do Projeto Zéfiro**

**Coordenador Geral:** Felipe Lima Alcântara

**Diretora de Qualidade:** Icoana Laís Leitão Mascarenhas Martins

**Diretora de Técnica de Elétrica:** Débora Janini Campos Guedes

**Diretora Técnica de Software:** Luciana Ribeiro

**Diretor Técnico de Estutura:** Vitor Mendes

## **Demais Colaboradores**

Amanda Emily Muniz de Menezes

Ana Carolina Faria

Calebe Rios

Clara Fonseca da Justa

Euclides Santanna

Indiara Duarte

Luiz Gustavo Santos Ribeiro

Rafael Mascarenhas

Vitor Cardoso Xoteslem

Yago Vencerlêncio

# Resumo

O Zéfiro é um monitorador de qualidade do ar, que funciona de maneira autônoma, captando os gases por sensores e armazenando em nuvem para transmitir à uma central. Esses dados são processados e enviados para fomentar relatórios regidos pela norma nº491 do CONAMA e também para um aplicativo de uso para a população. O aplicativo tem como função informar ao usuário dados do teor de gases presentes na atmosfera que pode prejudicar sua saúde, além de realizar a avaliação desses poluentes, gerando aos usuários alertas personalizados de acordo com o seu perfil de saúde, informando quando estão sujeitos a poluentes que podem gerar pioras clínicas.

Apesar de existir no mercado, outros produtos de avaliação de qualidade de ar, o Zéfiro traz consigo a ideia de automatizar o sistema de monitoramento de qualidade do ar, com a mínima interferência humana possível, disponibilizando esses dados para o contratante e para os cidadãos que sofrem com problemas de saúde agravados por poluição atmosférica.

**Palavras-chaves:** poluição. monitoramento. qualidade do ar. saúde.

# **Lista de ilustrações**

Figura 1 – Diagrama de blocos do BME280 . . . . .	38
Figura 2 – Ciclo de medição do BME280 . . . . .	39
Figura 3 – Representação esquemática dos sensores de gás da Alphasense . . . . .	40
Figura 4 – Sensores de gás da Alphasense . . . . .	40
Figura 5 – Placa ISB. . . . .	41
Figura 6 – Conexão molex . . . . .	42
Figura 7 – OPC-N3 . . . . .	44
Figura 8 – Funcionamento do sensor MQ-2 . . . . .	47
Figura 9 – Estrutura do sensor MQ-2 . . . . .	47
Figura 10 – Sensor MQ-2 . . . . .	47
Figura 11 – Constituição de um LDR . . . . .	49
Figura 12 – Perfil formato “+” LDR . . . . .	49
Figura 13 – Esquemático Circuito LDR . . . . .	50
Figura 14 – Simulação Circuito LDR . . . . .	51
Figura 15 – Circuito LDR . . . . .	51
Figura 16 – Circuito Motor . . . . .	52
Figura 17 – Esquemático circuito de controle PWM optoacoplado. . . . .	53
Figura 18 – Resultado da Simulação do circuito da Figura 17 . . . . .	54
Figura 19 – Circuito Motor Coupler . . . . .	54
Figura 20 – Conexões dos Componentes no Microcontrolador . . . . .	56
Figura 21 – Módulo de conexão para ESP32. . . . .	56
Figura 22 – Diagrama de Máquina de Estados do Sistema Embarcado da estação Zéfiro. . . . .	61
Figura 23 – Sistema Fotovoltaico ON GRID . . . . .	64
Figura 24 – Sistema Fotovoltaico OFF GRID . . . . .	64
Figura 25 – Dados dos Equipamentos a serem utilizados . . . . .	66
Figura 26 – Consumo Diário em Wh de cada Sensor . . . . .	66
Figura 27 – Irradiação Solar no Plano Inclinado - Região Administrativa do Gama-DF	67
Figura 28 – Dados da Placa Solar a ser utilizada no dimensionamento . . . . .	67
Figura 29 – Dados da Bateria a ser utilizada no Sistema . . . . .	69
Figura 30 – Dados do Controlador a ser utilizada no Sistema . . . . .	70
Figura 31 – Sistema Off-Grid da Estação de Monitoramento do Ar . . . . .	70
Figura 32 – Esquemático Conversor de Tensão . . . . .	71
Figura 33 – Simulação Conversor de Tensão . . . . .	71
Figura 34 – Conversor de Tensão. . . . .	72

Figura 35 – Condutores de Acordo com a Capacidade de Corrente Elétrica (NBR 5410). . . . .	73
Figura 36 – Modelo Rastreado Azimute-Elevação. . . . .	74
Figura 37 – Resultados obtidos de forma analítico para o dia 22/10/2020. . . . .	76
Figura 38 – Modelo Matemático das Equações de Azimute-Elevação em Excel para os 365 dias do ano. . . . .	77
Figura 39 – Estrutura externa da estação Zéfiro . . . . .	78
Figura 40 – Estrutura interna e disposição dos componentes. . . . .	79
Figura 41 – Apresentação dos graus de liberdade para o sensoriamento solar. . . . .	79
Figura 42 – Geometria Simplificada . . . . .	81
Figura 43 – Gráfico de deformação dos elementos “Skewness” . . . . .	81
Figura 44 – Resultado da Simulação Térmica . . . . .	83
Figura 45 – Campo de Pressão total em 2D. . . . .	84
Figura 46 – Campo de Velocidade em 2D. . . . .	84
Figura 47 – Campo de vorticidade. . . . .	85
Figura 48 – Linhas de trajetória do escoamento. . . . .	85
Figura 49 – Linhas de trajetória 3D. . . . .	86
Figura 50 – Região adequada para a instalação dos sensores. . . . .	86
Figura 51 – Estrutura de apoio do gabinete. . . . .	87
Figura 52 – Estrutura de apoio do gabinete reforçada. . . . .	89
Figura 53 – Poste de suporte e elevação. . . . .	89
Figura 54 – Chapa central. . . . .	90
Figura 55 – Chapa central. . . . .	91
Figura 56 – Mecanismo Braço. . . . .	92
Figura 57 – Dimensões Braço. . . . .	92
Figura 58 – Base disco horizontal. . . . .	93
Figura 59 – Geometria simplificada com condição de contorno de engaste na parte inferior do poste. . . . .	95
Figura 60 – Velocidade média do vento em Brasília. . . . .	96
Figura 61 – Aplicação das forças de arrasto na estrutura. . . . .	97
Figura 62 – Resposta em frequência da estrutura submetida a cargas de vento em condição de rajada a 102 km/h. . . . .	98
Figura 63 – Logo Zéfiro . . . . .	99
Figura 64 – Paleta de cores Zéfiro . . . . .	100
Figura 65 – Tela protótipo Homepage. . . . .	100
Figura 66 – Tela protótipo do mapa de estações . . . . .	101
Figura 67 – Tela protótipo de Cadastro de informações personalizadas . . . . .	102
Figura 68 – Protótipo Notificações. . . . .	103
Figura 69 – Diagrama de Relações. . . . .	104

Figura 70 – Faixas de qualidade do ar. . . . .	105
Figura 71 – Diagrama de Pacotes do Zéfiro-APP. . . . .	108
Figura 72 – Diagrama de Pacotes do Zéfiro API. . . . .	109
Figura 73 – Diagrama de classes Zéfiro. . . . .	110
Figura 74 – Diagrama de Sequência. . . . .	111
Figura 75 – Cronograma de atividades para o PC1 . . . . .	119
Figura 76 – Cronograma de atividades para o PC2 . . . . .	120
Figura 77 – Cronograma de atividades para o PC3 . . . . .	120
Figura 78 – Organograma da EAP. . . . .	132
Figura 79 – Organograma da Distribuição de papéis da equipe. . . . .	136
Figura 80 – Imagem de Weidauer (2018) . . . . .	140
Figura 81 – Diagrama Geral do Sistema Elétrico. . . . .	148
Figura 82 – Esquemático Geral do Sistema Elétrico. . . . .	149
Figura 83 – Diagramas de Blocos . . . . .	150
Figura 84 – Dados METAR . . . . .	152
Figura 85 – Relação MQ-2 . . . . .	153
Figura 86 – Esquemático Teste Servo . . . . .	155
Figura 87 – Largura mínima de trilha de acordo com a corrente que deve suportar. . . . .	157
Figura 88 – Diagrama Sequencial. . . . .	162
Figura 89 – Diagrama Unifilar. . . . .	163
Figura 90 – Diagrama de Integração. . . . .	164
Figura 91 – Vista Explodida 1. . . . .	166
Figura 92 – Vista Explodida 2. . . . .	167
Figura 93 – Vista Explodida 3. . . . .	168
Figura 94 – Vista Explodida 4.1. . . . .	169
Figura 95 – Vista Explodida 4.2. . . . .	170
Figura 96 – Vista Explodida 5. . . . .	171
Figura 97 – Vista Explodida 6. . . . .	172
Figura 98 – Poste de Suporte. . . . .	173
Figura 99 – Estrutura Zéfiro Inferior. . . . .	174
Figura 100 – Estrutura Zéfiro Superior. . . . .	175
Figura 101 – Duto Venturi inferior. . . . .	176
Figura 102 – Duto Venturi superior. . . . .	177
Figura 103 – Tampa Lateral. . . . .	178
Figura 104 – Suporte Gabinete, visão horizontal. . . . .	179
Figura 105 – Suporte Gabinete, visão vertical. . . . .	180
Figura 106 – Suporte Estrutura Painel. . . . .	181
Figura 107 – Suporte Painel. . . . .	182
Figura 108 – Tela Inferior. . . . .	183

Figura 109 – Caixa para LDRs. . . . .	184
Figura 110 – Proteção LDRs. . . . .	185
Figura 111 – Tampa da Caixa para LDRs. . . . .	186
Figura 112 – Acoplamento estrutura. . . . .	187
Figura 113 – Acoplamento inferior. . . . .	188
Figura 114 – Bucha. . . . .	189
Figura 115 – Grampo Painel Solar. . . . .	190
Figura 116 – Flange WP45. . . . .	191
Figura 117 – Lista de Materiais Estação Zéfiro. . . . .	192
Figura 118 – Visão frontal. . . . .	193
Figura 119 – Visão traseira. . . . .	194
Figura 120 – Pressão ao longo do tubo de leitura dos sensores. . . . .	195
Figura 121 – Velocidade ao longo dos sensores. . . . .	195
Figura 122 – Configuração das Condições de Contorno apoio Gabinete. . . . .	196
Figura 123 – Resultados da simulação da Chapa estrutura principal. . . . .	196
Figura 124 – Aplicação de cargas. . . . .	196
Figura 125 – Resultados da simulação, após reforço da Chapa. . . . .	197
Figura 126 – Configuração das Condições de Contorno Poste. . . . .	197
Figura 127 – Resultados da simulação do Poste. . . . .	197
Figura 128 – Configuração das Condições de Contorno Chapa central. . . . .	197
Figura 129 – Resultados da simulação da Chapa central. . . . .	198
Figura 130 – Configuração das Condições de Contorno Chapa de suporte do Painel Solar. . . . .	198
Figura 131 – Resultados da simulação da Chapa de suporte do Painel Solar. . . . .	198
Figura 132 – Modos de vibração. . . . .	199
Figura 133 – Resposta Harmônica vento calmo. . . . .	199
Figura 134 – Resposta Harmônica rajadas de vento. . . . .	199
Figura 135 – Autoavaliação da equipe PC3. . . . .	228
Figura 136 – Esquemático Eletrônico módulo BME280 Adafruit. . . . .	230
Figura 137 – Circuito Placa ISB . . . . .	236
Figura 138 – Disposição de Pinos ESP32 DevKit V1. . . . .	237
Figura 139 – Trecho da tabela de determinação dos coeficientes de arrasto da NBR 6123. . . . .	239

# **Lista de tabelas**

Tabela 1 – Tabela de perfil do Usuário . . . . .	29
Tabela 2 – Tabela das placas ISB dos sensores . . . . .	41
Tabela 3 – Tabela das saídas esperadas para os gases . . . . .	43
Tabela 4 – Tabela das pinagens do OPC-N3 . . . . .	46
Tabela 5 – Comparação de Microcontroladores . . . . .	55
Tabela 6 – Período de requisição de dados para cada poluente. . . . .	57
Tabela 7 – Configurações sugeridas para monitoramento do clima. . . . .	58
Tabela 8 – Período de requisição para cada código. . . . .	60
Tabela 9 – Tabela conclusão do dimensionamento dos motores de rastreamento solar. . . . .	94
Tabela 10 – Frequências naturais. . . . .	95
Tabela 11 – Propriedades e magnitude da força de arrasto do poste. . . . .	96
Tabela 12 – Cargas dinâmicas aplicadas na simulação. . . . .	97
Tabela 13 – Tabela de capacidades do produto . . . . .	113
Tabela 14 – Identificação de peso da Probabilidade . . . . .	116
Tabela 15 – Identificação de peso da Impacto . . . . .	116
Tabela 16 – Definição de Grau de Risco . . . . .	116
Tabela 17 – Riscos de Projeto . . . . .	117
Tabela 18 – Riscos de Técnicos . . . . .	117
Tabela 19 – Riscos Externos . . . . .	117
Tabela 20 – Riscos de Produto . . . . .	117
Tabela 21 – Planejamento e Resposta aos riscos . . . . .	118
Tabela 22 – Tabela de riscos elencada na Abertura do Projeto . . . . .	130
Tabela 23 – Tabela de Marcos do Projeto . . . . .	130
Tabela 24 – Tabela plano de comunicação . . . . .	133
Tabela 25 – Distribuição de papéis equipe de software. . . . .	138
Tabela 26 – Tabela das características técnicas do sensor CO-B4(ALPHASENSE, 2020b) . . . . .	231
Tabela 27 – Tabela das características técnicas do sensor NO2-B43F(ALPHASENSE, 2020e) . . . . .	232
Tabela 28 – Tabela das características técnicas do sensor NO-B4(ALPHASENSE, 2020d) . . . . .	233
Tabela 29 – Tabela das características técnicas do sensor SO2-B4(ALPHASENSE, 2020g) . . . . .	234
Tabela 30 – Tabela das características técnicas do sensor OX-B421(ALPHASENSE, 2020f) . . . . .	235

Tabela 31 – Tabela de Padrões de Qualidade do Ar (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018) . . . . .	238
--	-----

# Listas de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
API	Interface de Programação de Aplicativos
ASCE	Sociedade Americana de Engenheiros Civis
CETESB	Companhia Ambiental do estado de São Paulo
CICPAA	Comissão Intermunicipal de Controle da Poluição das águas e do Ar
CO	Monóxido de Carbono
CONOMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRESEB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
DRCs	Doenças Respiratórias Crônicas
DPOC	Doença Pulmonar Obstrutiva
EAP	Estrutura Análitica de projeto
H <sub>2</sub> SO <sub>2</sub>	Ácido Sulfuroso
IA	Inteligência Artificial
IOT	<i>Internet of Things</i>
IR	Índice de Refração
IV	Infravermelho
IQA	Índice de Qualidade do Ar
ISB	<i>Individual Sensor Board</i>
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i>
METAR	<i>METeorological Aerodrome Report</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Média Móvel Exponencial
MP	Material Particulado

MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
NBR	Normas Brasileiras
NO	Monóxido de Nitrogênio
NO <sub>2</sub>	Dióxido de Nitrogênio
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organizações das Nações Unidas
O <sub>3</sub>	Ozônio
PC	Ponto de Controle
PCI	Placa de Circuito Impresso
PI2	Projeto Integrador 2
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
QoS	Qualidade de Serviço
SnO <sub>2</sub>	Dióxido de Estanho
SO <sub>2</sub>	Dióxido de Enxofre
TAP	Termo de Abertura de Projeto
UnB	Universidade de Brasília
UV	Ultravioleta
VMS	Vento Máximo Sustentado

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>POSICIONANDO O PRODUTO</b>	<b>25</b>
<b>2.1</b>	<b>Instrução ao Problema</b>	<b>25</b>
<b>2.2</b>	<b>Oportunidade de Negócios</b>	<b>25</b>
<b>2.3</b>	<b>Instrução de Posição do Produto</b>	<b>25</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIÇÃO DE ENVOLVIDOS NO PROJETO</b>	<b>27</b>
<b>3.1</b>	<b>Demográficos de Mercado</b>	<b>27</b>
<b>3.2</b>	<b>Perfis das Partes Interessadas</b>	<b>27</b>
3.2.1	Equipe de Elétrica	27
3.2.2	Equipe de Estrutura	28
3.2.3	Equipe de Software	28
3.2.4	Professores	28
3.2.5	Perfil do Usuário	29
3.2.6	Investidor	29
<b>3.3</b>	<b>Principais Necessidades da Parte Interessada ou do Usuário</b>	<b>29</b>
<b>3.4</b>	<b>Alternativas e Concorrência</b>	<b>30</b>
3.4.1	Concorrentes e Alternativas de Estações de Monitoramento	30
3.4.2	Concorrentes e Alternativas de Software	31
<b>4</b>	<b>REQUISITOS</b>	<b>33</b>
<b>4.1</b>	<b>Requisitos de Alto-nível</b>	<b>33</b>
<b>4.2</b>	<b>Requisitos específicos</b>	<b>33</b>
4.2.1	Requisitos de Elétrica	33
4.2.1.1	Eletrônica	33
4.2.1.2	Energia	34
4.2.2	Requisitos de Estrutura	34
<b>4.3</b>	<b>Requisitos de Software</b>	<b>35</b>
<b>5</b>	<b>SOLUÇÃO</b>	<b>37</b>
<b>5.1</b>	<b>Solução Elétrica</b>	<b>37</b>
5.1.1	Sensor de temperatura, umidade e pressão	37
5.1.2	Sensores de qualidade de ar	39
5.1.2.1	Sensores de gás	39
5.1.2.2	Sensor de Material Particulado	44

5.1.2.3	Sensor de Fumaça . . . . .	46
5.1.3	Rastreamento Solar . . . . .	48
5.1.3.1	Sensor de Luminosidade . . . . .	48
5.1.3.2	Motor . . . . .	52
5.1.4	Ventilação do tubo de Venturi . . . . .	52
5.1.5	Embarcados . . . . .	54
5.1.5.1	Pinagem ESP32 . . . . .	55
5.1.5.1.1	Módulo de conexão ESP32 . . . . .	56
5.1.5.2	Aquisição de Dados . . . . .	56
5.1.5.2.1	Sensores de Qualidade do Ar . . . . .	57
5.1.5.2.2	Temperatura, Umidade e Pressão . . . . .	57
5.1.5.2.3	Sensores de Detecção Solar . . . . .	59
5.1.5.3	Protocolo de Comunicação . . . . .	59
5.1.5.3.1	Broker Zéfiro . . . . .	60
5.1.5.3.2	Cliente - Servidor Zéfiro . . . . .	60
5.1.5.3.3	Cliente - Estação Zéfiro . . . . .	61
5.1.5.4	Lógica do Sistema . . . . .	61
5.1.6	Painel Fotovoltaico . . . . .	62
5.1.6.1	Irradiação Solar . . . . .	62
5.1.6.1.1	Sistemas Fotovoltaico On-Grid e Off- Grid . . . . .	63
5.1.6.1.2	Dimensionamento Fotovoltaico . . . . .	65
5.1.7	Alimentação Sistema Elétrico . . . . .	70
5.1.8	Diagrama e Esquemático Elétrico Geral . . . . .	72
5.1.9	Dimensionamento dos Fios . . . . .	72
5.1.10	Rastreador Solar . . . . .	73
<b>5.2</b>	<b>Solução de Estrutura . . . . .</b>	<b>77</b>
5.2.1	Design Final . . . . .	77
5.2.1.1	Visualização externa e interna . . . . .	77
5.2.1.2	Movimentação do Painel Solar . . . . .	79
5.2.2	Método de Fabricação . . . . .	80
5.2.3	Cálculos e simulações . . . . .	80
5.2.3.1	Simulação térmica . . . . .	80
5.2.3.2	Simulação do duto de Venturi . . . . .	83
5.2.3.2.1	Simulação 2D . . . . .	84
5.2.3.2.2	Simulação 3D . . . . .	85
5.2.3.3	Simulação de esforços estruturais . . . . .	86
5.2.3.3.1	Chapa de suporte do Gabinete . . . . .	87
5.2.3.3.2	Poste de suporte e elevação . . . . .	89
5.2.3.3.3	Chapa Central . . . . .	90

5.2.3.3.4	Chapa de suporte do Painel Fotovoltaico . . . . .	91
5.2.4	Dimensionamento de Motores para Rastreamento Solar . . . . .	92
5.2.4.1	Motor de Controle do Painel Solar . . . . .	92
5.2.4.2	Motor de Controle do Gabinete . . . . .	93
5.2.4.3	Conclusão . . . . .	94
5.2.5	Análise Dinâmica . . . . .	94
<b>5.3</b>	<b>Solução de Software . . . . .</b>	<b>98</b>
5.3.1	Escopo de Software . . . . .	98
5.3.2	Arquitetura da Informação . . . . .	99
5.3.2.1	Protótipo . . . . .	100
5.3.2.1.1	Homepage . . . . .	100
5.3.2.1.2	Mapa . . . . .	101
5.3.2.1.3	Informações Personalizadas . . . . .	102
5.3.2.1.4	Notificações . . . . .	102
5.3.3	Arquitetura de Software . . . . .	103
5.3.4	Representação dos Serviços . . . . .	104
5.3.4.1	Zéfiro APP . . . . .	104
5.3.4.2	Zéfiro Alexa Skills . . . . .	104
5.3.4.3	Zéfiro API . . . . .	105
5.3.5	Tecnologias . . . . .	106
5.3.5.1	Flutter . . . . .	106
5.3.5.2	MongoDB . . . . .	106
5.3.5.3	Node Js . . . . .	107
5.3.5.4	Alexa . . . . .	107
5.3.5.5	Google Maps API . . . . .	107
5.3.6	Visão Lógica . . . . .	107
5.3.7	Pacotes de Design Significativos do Ponto de Vista da Arquitetura . . . . .	108
5.3.7.1	Diagrama de pacotes Zéfiro-APP . . . . .	108
5.3.8	Diagrama de pacotes Zéfiro-API . . . . .	109
5.3.8.1	Diagrama de classes . . . . .	109
5.3.8.2	Diagrama de Sequência . . . . .	110
<b>6</b>	<b>VISÃO GERAL DO PRODUTO . . . . .</b>	<b>112</b>
<b>6.1</b>	<b>Perspectiva do Produto . . . . .</b>	<b>112</b>
<b>6.2</b>	<b>Resumo das Capacidades . . . . .</b>	<b>112</b>
<b>6.3</b>	<b>Suposições e Dependências . . . . .</b>	<b>113</b>
<b>6.4</b>	<b>Custo e Precificação . . . . .</b>	<b>114</b>
<b>6.5</b>	<b>Licenciamento e Instalação . . . . .</b>	<b>114</b>
<b>7</b>	<b>RECURSOS E RESTRIÇÕES DO PRODUTO . . . . .</b>	<b>115</b>

<b>7.1</b>	<b>Recursos</b>	<b>115</b>
<b>7.2</b>	<b>Restrições</b>	<b>115</b>
<b>8</b>	<b>ANÁLISE DE RISCOS</b>	<b>116</b>
<b>8.1</b>	<b>Análise Qualitativa e Quantitativa dos Dados</b>	<b>116</b>
8.1.1	Riscos e suas consequências	117
8.1.1.1	Riscos de Projeto	117
8.1.1.2	Riscos de Técnicos	117
8.1.1.3	Riscos de Externos	117
8.1.1.4	Riscos de Produto	117
<b>8.2</b>	<b>Planejamento de Respostas aos Riscos</b>	<b>117</b>
<b>9</b>	<b>CRONOGRAMA DE ATIVIDADES</b>	<b>119</b>
<b>9.1</b>	<b>Ponto de Controle 1</b>	<b>119</b>
<b>9.2</b>	<b>Ponto de Controle 2</b>	<b>120</b>
<b>9.3</b>	<b>Ponto de Controle 3</b>	<b>120</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>		<b>121</b>
<b>APÊNDICES</b>		<b>127</b>
<b>APÊNDICE A – TERMO DE ABERTURA DE PROJETO (TAP)</b>		<b>128</b>
<b>A.1</b>	<b>Descrição do Projeto</b>	<b>128</b>
<b>A.2</b>	<b>Justificativa</b>	<b>128</b>
<b>A.3</b>	<b>Objetivo</b>	<b>128</b>
<b>A.4</b>	<b>Requisitos</b>	<b>129</b>
<b>A.5</b>	<b>Riscos</b>	<b>129</b>
<b>A.6</b>	<b>Marcos do Projeto</b>	<b>130</b>
<b>A.7</b>	<b>Stakeholders</b>	<b>130</b>
A.7.1	Equipe	130
A.7.2	Professores	131
A.7.3	Público Alvo	131
A.7.4	Investidor	131
<b>APÊNDICE B – ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO (EAP)</b>		<b>132</b>
<b>APÊNDICE C – PLANO DE GERENCIAMENTO DE COMUNICAÇÃO</b>		<b>133</b>

<b>APÊNDICE D – PLANO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HUMANOS . . . . .</b>	<b>135</b>
<b>D.1 Papéis da Equipe Geral . . . . .</b>	<b>135</b>
D.1.1 Gerente geral . . . . .	135
D.1.2 Diretor de qualidade . . . . .	135
D.1.3 Diretor técnico . . . . .	135
D.1.4 Desenvolvedor/projetista . . . . .	135
<b>D.2 Práticas Ágeis . . . . .</b>	<b>136</b>
<b>D.3 Gerenciamento da Equipe de Software . . . . .</b>	<b>137</b>
D.3.1 Papéis da Equipe de Software . . . . .	137
D.3.1.1 Arquiteto . . . . .	137
D.3.1.2 DevOps . . . . .	137
D.3.1.3 Product owner . . . . .	137
D.3.1.4 Tech lead . . . . .	137
D.3.1.5 Quality assurance . . . . .	137
D.3.1.6 Devs . . . . .	137
D.3.2 Práticas Ágeis de Software . . . . .	138
D.3.2.1 Requisitos . . . . .	138
D.3.2.2 Desenvolvimento . . . . .	138
D.3.2.2.1 Pair-Programming . . . . .	138
D.3.2.2.2 Refactoring . . . . .	138
D.3.2.2.3 Build Automatizado . . . . .	138
D.3.2.2.4 Integração Contínua . . . . .	139
D.3.2.2.5 Code Review . . . . .	139
D.3.2.2.6 Entregas Frequentes . . . . .	139
<b>APÊNDICE E – PRINCIPAIS DECISÕES DO PROJETO . . . . .</b>	<b>140</b>
<b>E.1 Desenvolver uma skill da Alexa . . . . .</b>	<b>140</b>
<b>E.2 Desenvolver uma aplicação Mobile . . . . .</b>	<b>141</b>
<b>E.3 Estruturar o escopo de funcionalidades com base nos ODS da Agenda 2030 . . . . .</b>	<b>141</b>
<b>E.4 Utilizar como público-alvo pessoas portadoras de doença respiratória</b>	<b>142</b>
<b>E.5 Escolha das tecnologias . . . . .</b>	<b>143</b>
<b>E.6 Escolha das diagramações . . . . .</b>	<b>143</b>
<b>E.7 Priorização das histórias de usuário . . . . .</b>	<b>143</b>
<b>E.8 Arquitetura de Microsserviços e Micro Frontend . . . . .</b>	<b>144</b>
<b>E.9 Implementar Splash Screen . . . . .</b>	<b>144</b>
<b>APÊNDICE F – CÓDIGO . . . . .</b>	<b>145</b>

<b>APÊNDICE G – DIAGRAMA GERAL DO SISTEMA ELÉTRICO</b>	148
<b>APÊNDICE H – ESQUEMÁTICO GERAL DO SISTEMA ELÉTRICO</b>	149
<b>APÊNDICE I – DIAGRAMAS DE BLOCOS SISTEMAS ISOLADOS</b>	150
<b>APÊNDICE J – CALIBRAÇÃO E TESTES DOS SISTEMAS</b>	151
<b>J.1 Calibração dos sensores</b>	151
J.1.1 Array de LDRs	151
J.1.2 Sensor BME280	152
J.1.3 Sensor MQ-2	153
<b>J.2 Testes dos Módulos</b>	154
J.2.1 Rastreamento Solar	154
J.2.1.1 Teste posicionamento Servo Motores	154
J.2.1.1.1 Teste com a Estação	155
<b>APÊNDICE K – PARÂMETROS USADOS PARA CONFECCIONAR A PCI</b>	156
<b>APÊNDICE L – MÉDIA MÓVEL EXPONENCIAL</b>	158
<b>APÊNDICE M – MODELO DE MENSAGEM MQTT</b>	159
<b>M.1 Identificação Estação Zéfiro</b>	159
<b>M.2 Pedido Temporizado</b>	159
<b>M.3 Dados coletados</b>	160
M.3.1 Mensagem para o tópico Zefiro/[Nome da Estação/00]	160
M.3.2 Mensagem para o tópico Zefiro/[Nome da Estação/01]	160
M.3.3 Mensagem para o tópico Zefiro/[Nome da Estação/10]	160
M.3.4 Mensagem para o tópico Zefiro/[Nome da Estação/11]	160
<b>APÊNDICE N – DIAGRAMA SEQUENCIAL DO ESTADOS ROUTINE</b>	162
<b>APÊNDICE O – DIAGRAMA UNIFILAR DE ALIMENTAÇÃO DO SISTEMA</b>	163
<b>APÊNDICE P – DIAGRAMA DE INTEGRAÇÃO</b>	164
<b>APÊNDICE Q – DESENHOS TÉCNICOS MECÂNICOS</b>	166
<b>APÊNDICE R – CAD RENDERIZADO</b>	193
<b>APÊNDICE S – SIMULAÇÕES ESTRUTURA</b>	195

<b>S.1</b>	<b>Saídas Numéricas da Simulação do Venturi . . . . .</b>	<b>195</b>
<b>S.2</b>	<b>Esforços Estruturais . . . . .</b>	<b>196</b>
S.2.1	Simulação 1 - Chapa Gabinete . . . . .	196
S.2.2	Simulação 2 - Chapa Gabinete reforçada . . . . .	196
S.2.3	Simulação 3 - Poste . . . . .	197
S.2.4	Simulação 4 - Chapa Central . . . . .	197
S.2.5	Simulação 4 - Chapa de suporte do Painel Solar . . . . .	198
<b>S.3</b>	<b>Análise Dinâmica . . . . .</b>	<b>199</b>
	<b>APÊNDICE T – MANUAIS . . . . .</b>	<b>200</b>
<b>T.1</b>	<b>Manual do Usuário . . . . .</b>	<b>200</b>
<b>T.2</b>	<b>Manual de Fabricação e Montagem . . . . .</b>	<b>216</b>
	<b>APÊNDICE U – TABELA DE PREÇO DE COMPONENTES . . . . .</b>	<b>226</b>
	<b>APÊNDICE V – AVALIAÇÃO INTERNA . . . . .</b>	<b>228</b>
	<b>ANEXOS . . . . .</b>	<b>229</b>
	<b>ANEXO A – ESQUEMÁTICO BME280 ADAFRUIT . . . . .</b>	<b>230</b>
	<b>ANEXO B – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS SENSORES DA ALPHASENSE . . . . .</b>	<b>231</b>
	<b>ANEXO C – CIRCUITO ISB . . . . .</b>	<b>236</b>
	<b>ANEXO D – ESP32 PINOUT . . . . .</b>	<b>237</b>
	<b>ANEXO E – PADRÕES DE QUALIDADE DO AR - CONAMA . . . . .</b>	<b>238</b>
	<b>ANEXO F – TABELA DE DEFINIÇÃO DE ARRASTO NBR6123 . . . . .</b>	<b>239</b>

# 1 Introdução

A preocupação com as questões ambientais surgiu por volta dos anos 70, quando ambientalistas começaram a se preocupar com a necessidade de respeitar o ecossistema a fim de proteger o meio ambiente e a saúde humana. Em 1972, a Organização das Nações Unidas (ONU) convocou uma conferência em Estocolmo sobre o ambiente humano, estabelecendo uma agenda ambiental do Sistema das Nações Unidas a fim de defender e melhorar o meio ambiente para as atuais e futuras gerações. As questões tratadas na Conferência de 1972 foram suficientes para a realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada em 1992, sendo conhecida como a Agenda 21, com o objetivo de proteger a atmosfera, combater o desmatamento e prevenir a poluição da água e do ar ([ECOSOFT , 2015](#)).

Apesar da poluição do ar ter se tornado reconhecido nos anos 70 a nível mundial, no Brasil, na década de 60, já havia essa preocupação devido ao crescimento desordenado populacional das cidades e à instalação de grandes fábricas pós Segunda Guerra Mundial. Com isso foi criada a Comissão Intermunicipal de Controle da Poluição das Águas e do Ar (CICPAA) com o objetivo de controlar os excessos de poluentes que as indústrias lançavam na atmosfera, prejudicando a saúde populacional e consequentemente lotando os hospitais. A CICPAA foi futuramente incorporada à Superintendência de Saneamento Ambiental da Secretaria de Saúde do estado de São Paulo e, em 1975, foi transferida para a Companhia Ambiental do estado de São Paulo (CETESB) se tornando um dos 16 centros de referência da ONU para questões ambientais. A CETESB, na década de 80, desenvolveu a base que resultou na resolução nº 18/1986 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que criou o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE ([CETESB, 2019](#)).

O CONAMA, por meio da resolução nº 491 de 19 de novembro de 2018, estabelece os padrões de qualidade do ar e determina que os órgãos ambientais estaduais e distrital devem elaborar em até 3 anos, a partir da data em vigor da resolução, um Plano de Controle de Emissões Atmosféricas que deverá ser definido e regulamentação própria, além de emitir o Relatório de Avaliação da Qualidade do Ar anualmente, garantindo sua publicação. Pela resolução, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) deverá consolidar as informações disponibilizadas pelos órgãos ambientais estaduais e distrital referentes ao Plano de Controle de Emissões Atmosféricas e Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar e apresentá-las ao CONAMA até o final do quinto ano da publicação, de forma a subsidiar a discussão sobre a adoção dos padrões de qualidade do ar subsequentes.

A poluição atmosférica pode ser altamente nociva tanto a saúde da população

como também à fauna e à flora. De acordo com a [OMS \(2020\)](#), um terço das mortes por derrame, câncer de pulmão e doenças cardíacas se deve à poluição atmosférica, sendo que, em janeiro de 2019, a Organização Mundial da Saúde (OMS) apontou a poluição do ar como primeiro ponto de prioridade de saúde para os próximos 5 anos.

Pela resolução do CONAMA, os poluentes atmosféricos que devem ser monitorados e mensurados são: materiais particulados MP10 e MP2.5, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, ozônio, fumaça, monóxido de carbono, partículas totais em suspensão e chumbo. A quantidade desses poluentes no ar podem ser medidos por meio de alguns aparelhos com sensores próprios para fazer a análise da qualidade do ar, a qual pode ser determinada pelo cálculo do índice de qualidade de ar ([ONU, 2019](#)). Diante disso, o governo brasileiro atuando de acordo com a proposta anunciou, ainda no ano de 2019, o projeto de criação da Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade do Ar, objetivando, pelo menos nas capitais brasileiras, a fiscalização de forma adequada e com uma periodicidade menor, a fim de realizar as correções preventivas, regulamentadoras e punitivas ([MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2016](#)).

Os materiais particulados são misturas de resíduos sólidos e líquidos diversos suspensos no ar, que são excessivamente tóxicos e possuem dimensões que variam de  $20\mu\text{m}$  a até menos de  $0.05\mu\text{m}$ .([CIMM, 2020](#)) Existem diversas fontes de material particulado, sendo elas naturais ou antropogênicas como vulcões, poeiras, incêndios, queima de combustíveis fósseis, termelétricas, indústrias entre outras e a composição desses materiais dependem justamente dessas fontes, podendo ser, por exemplo: compostos orgânicos, ácidos, metais, poeiras. Além de trazer impactos ambientais, como aumento da toxicidade do ar, contribuir ao aquecimento global, aumenta a densidade das nuvens (prejudicando a frequência de precipitações e gerando chuvas ácidas). Para a saúde humana, pode prejudicar o sistema circulatório, causando arritmias e ataques cardíacos, e o sistema respiratório causando crises de asma, irritações das vias aéreas, tosse e dificuldade de respirar. ([ECYCLE, 2020b](#))

Outro poluente que está associado ao material particulado é a fumaça, ela é proveniente dos processos de combustão. ([CDP, 2018](#)) A exposição prolongada à fumaça pode gerar dor e ardência na garganta, tosse seca, cansaço, falta de ar, dificuldade para respirar, dor de cabeça, rouquidão e lacrimejamento e vermelhidão nos olhos. Esses sintomas podem variar de pessoa para pessoa e dependente ainda da quantidade e do tempo de exposição à fumaça. As vias respiratórias são as áreas mais afetadas no corpo e pode agravar outros quadros de doenças como rinite, asma, bronquite, Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC), também pode desencadear ou agravar outras doenças, entre elas a insuficiência cardíaca e respiratória, pneumonia e quadros de alergia. ([PRÓ-SAÚDE, 2020](#))

Além dos materiais particulados e fumaça, tem-se os gases, entre eles está o monóxido de carbono, que é um gás relativamente inflamável e tóxico. A intoxicação por

este gás pode causar confusão, dores de cabeça, fraqueza, entre outros e em níveis altos de exposição: perda de consciência e morte. O monóxido de carbono, depois de inalado é levado aos vasos sanguíneos e combinado com a hemoglobina forma a carboxihemoglobina, diminuindo a quantidade de hemoglobina disponível para o transporte de oxigênio. Considerando esses aspectos, recém-nascidos, crianças, idosos, pessoas com doenças cardíacas crônicas, problemas respiratórios ou anemia são grupos de risco devido à sua maior suscetibilidade aos efeitos deste gás.(PROGRAMME; ORGANIZATION, 1979) Além do CO, tem-se também os óxido de nitrogênio (NO e NO<sub>2</sub>). O dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) é um gás muito comum, de cor castanha e com cheiro forte, é altamente tóxico e em contato com a atmosfera pode dar origem ao ácido nítrico, bem como alguns outros nitratos, que podem gerar chuvas ácidas. Nos seres humanos o composto é prejudicial aos pulmões e diminui a resistência a infecções respiratórias, além disso o NO<sub>2</sub> aumenta a sensibilidade à asma e à bronquite, principalmente em crianças, idosos e grupos de risco (pessoas com problemas respiratórios) (ECYCLE, 2020a). E o monóxido de nitrogênio (NO) é um gás tóxico e incolor, que tende a se oxidar na atmosfera, formando o dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>); assim como NO<sub>2</sub>, contribuindo para a degradação da camada de ozônio, já que o NO também reage com as moléculas de oxigênio, ozônio, além de radicais peróxidos e nos seres humanos pode causar os mesmos problemas que o dióxido de nitrogênio (ECYCLE, 2020d).

Além do CO, NO e NO<sub>2</sub>, outros gases poluentes são o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e o ozônio (O<sub>3</sub>). O SO<sub>2</sub> é um gás incolor na temperatura ambiente, tóxico, sufocante e solúvel em água. As emissões não naturais desse gás é feita por queima de combustíveis fósseis e é considerado um dos gases mais perigosos ao meio ambiente. Por se tratar de um gás com alta solubilidade em água, o SO<sub>2</sub> interage com as gotículas de água presentes na atmosfera e forma o ácido sulfuroso (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>), e este ao oxidar forma o ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), que é um ácido responsável pela chuva ácida. Nos humanos o dióxido de enxofre causa irritações no sistema respiratório, na pele e pode levar ao desenvolvimento de doenças cardiovasculares; os principais sintomas aparentes ao ser exposto a esse gás é tosse, irritação nos olhos, náuseas, vômitos e dificuldades na respiração.(FERREIRA, 2020) Já o ozônio é um gás muito instável que possui três moléculas de oxigênio. Isso significa que ele não consegue manter por um longo período de tempo a sua estrutura com essas três moléculas de oxigênio. Por isso, o ozônio se liga a outras moléculas, formando outros elementos muito facilmente. O ozônio quando encontra-se na estratosfera absorve radiações solares que podem ser prejudiciais aos seres humanos, porém quando encontra-se na troposfera, é altamente tóxico, podendo provocar irritações nos olhos e vias respiratórias, diminui a capacidade pulmonar e intensifica problemas cardiovasculares.(ECYCLE, 2020c)

Além dos poluentes outros quesitos que estão relacionados a qualidade do ar são temperatura, umidade e pressão, pois temperaturas elevadas conduzem à formação de movimentos verticais ascendentes mais pronunciados (convecção), gerando um eficiente

arrastamento dos poluentes localizados nos níveis mais baixos para os níveis mais elevados, enquanto a baixa umidade do ar e um nível baixo de qualidade do ar aumentam o risco de agravamento de doenças e quadro clínico da população. E por fim regiões de alta pressão atmosférica reduzem o movimento horizontal dos ventos, gerando uma maior concentração dos poluentes na região.(PEGORIM, 2015) (MONTE; ALBUQUERQUE; REISEN, 2016)

Considerando o problema de poluição atmosférica, o projeto Zéfiro vem como forma de monitorar os poluentes e informar sobre a qualidade do ar, de modo que o usuário ao acessar o aplicativo poderá fazer medidas preventivas com relação ao seu quadro clínico de saúde, por exemplo se a umidade do ar reduz, o usuário ao ter essa informação, passa a se hidratar mais por exemplo.

## 2 Posicionando o produto

### 2.1 Instrução ao Problema

A poluição atmosférica tem crescido desde a Segunda Grande Guerra e afeta principalmente pessoas que já possuem problemas de saúde, como doenças respiratórias e cardíacas. O impacto do problema é negativo também para a fauna e flora, mas para pessoas que possuem problemas de saúde, torna-se um ponto mais crítico, já que a má qualidade do ar é um dos fatores para o agravamento desses problemas.

Uma solução é coletar esses dados do ar a partir de uma base de monitoramento, de modo a informar a população os gases presentes na atmosfera e informar os impactos que a inalação pode gerar em pessoas com doenças respiratórias crônicas (DRCs).

### 2.2 Oportunidade de Negócios

A proposta visa um produto de cuidado com a saúde da população, emitindo alertas para portadores de doenças que possam ser agravadas pela poluição atmosférica, e para pessoas saudáveis, para que possam tomar medidas de prevenção. Uma oportunidade de aplicação é emitir alerta a população que esteja próximo a queimadas ou que more próximo a regiões de indústria onde há emissões de gases de combustão. Além disso, é possível ter uma proposta governamental, onde com os dados do Zéfiro, é capaz de fomentar relatórios regidos pela norma nº 491 do CONAMA.

### 2.3 Instrução de Posição do Produto

Pela resolução nº 491 do CONAMA, os governos estaduais e distrital devem realizar a medição dos poluentes atmosféricos e enviar um relatório ao Estado. Essa medição é importante, pois auxilia no controle das doenças que são agravadas com a presença de gases tóxicos no ar.

Assim, o Zéfiro, sendo uma estação de monitoramento do ar, é uma ferramenta que coleta os dados dos poluentes que possa auxiliar na montagem dos relatórios de gases de efeito estufa que deve ser entregue anualmente pelos órgãos ambientais dos estados. Além de fornecer informações para a população, em especial pessoas que possuem alguma doença respiratória, por meio de aplicativo, informando a qualidade do ar e os possíveis agravamentos clínicos. ([OMS, 2020](#))

De outro modo, há diversos produtos de medição de qualidade do ar disponíveis

no mercado, entretanto nosso produto visa tanto fazer a avaliação da qualidade do ar de maneira autônoma, sem auxílio humano, quanto disponibilizar os dados específicos de acordo com o perfil de saúde do usuário.

# 3 Descrição de Envolvidos no Projeto

## 3.1 Demográficos de Mercado

Como já foi dito na Introdução, a poluição é altamente nociva para a fauna, flora e para a saúde. Os gases poluentes podem causar e piorar diversas doenças, como hipóxia tecidual, irritação nos olhos, diminuição da capacidade pulmonar, irritações nas vias aéreas, quadros de asmas mais intensos, doenças cardíacas e até mesmo câncer no pulmão. ([AMORIM, 2011](#)).

Com cerca de 4,5 milhões de óbitos anuais, as doenças respiratórias crônicas (DRCs) representam cerca de 7% da mortalidade global. Apenas no Brasil, no ano de 2011, essas doenças foram a terceira causa de morte no conjunto de doenças crônicas não transmissíveis. Além de provocar limitações físicas, emocionais e intelectuais, as DRCs foram classificadas como responsáveis por 4% de todos os anos de vida perdidos ajustados por incapacidade em todo o mundo, de acordo com a Organização Mundial da Saúde. ([MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2016](#))

## 3.2 Perfis das Partes Interessadas

### 3.2.1 Equipe de Elétrica

- **Representantes:** Ana Carolina, Clara Fonseca, Débora Janini, Felipe Lima e Icoana Martins;
- **Descrição:** Graduandos em Engenharia Eletrônica e Engenharia de Energia;
- **Tipo:** Alunos da Universidade de Brasília, cursando PI2;
- **Responsabilidade:** Garantir a viabilidade técnica, capturar e processar os dados dos gases, desenvolver a comunicação dos sistemas e realizar a alimentação energética de todo o projeto;
- **Critérios de Sucesso:** Resultado de simulações coerentes com o esperado, criação de protocolos e documentação entregues;
- **Envolvimento:** Alto.

### 3.2.2 Equipe de Estrutura

- **Representantes:** Euclides Santanna, Luiz Gustavo, Rafael Mascarenhas, Vitor Mendes e Yago Vencerlêncio;
- **Descrição:** Graduandos em Engenharia Aeroespacial e Engenharia Automotiva;
- **Tipo:** Alunos da Universidade de Brasília, cursando PI2;
- **Responsabilidade:** Confecção da parte estrutural do Projeto;
- **Critério de Sucesso:** Simulações coerentes e desenvolvimento do manual de montagem;
- **Envolvimento:** Alto.

### 3.2.3 Equipe de Software

- **Representantes:** Amanda Emilly, Calebe Rios, Indiara Duarte, Luciana Ribeiro e Vitor Cardoso;
- **Descrição:** Graduandos em Engenharia de Software;
- **Tipo:** Alunos da Universidade de Brasília, cursando PI2;
- **Responsabilidade:** Garantir a viabilidade técnica e desenvolver o software no período estipulado;
- **Critério de Sucesso:** Desenvolver o produto no período estipulado, com todos seus requisitos atendidos;
- **Envolvimento:** Alto.

### 3.2.4 Professores

- **Representantes:** Alex Reis, Ricardo Matos Chaim, Rhander Viana, José Felício da Silva e Paolo Gessini;
- **Descrição:** Professores da Universidade de Brasília;
- **Tipo:** Professores da disciplina Projeto Integrador 2;
- **Responsabilidade:** Orientar, acompanhar e avaliar o processo de desenvolvimento do produto, bem como seus resultados;
- **Critério de Sucesso:** Avaliar o produto em sua completude;
- **Envolvimento:** Médio.

### 3.2.5 Perfil do Usuário

O usuário principal do Zéfiro, é a população, em especial os portadores de doenças respiratórias crônicas (DRCs), o qual é caracterizado na tabela 1.

<b>Representante</b>	Portadores de DRCs.
<b>Descrição</b>	Pessoas que têm um ou vários tipos de doenças respiratória, sendo a asma, a rinite alérgica e a doença pulmonar obstrutiva (DPOC) as mais comuns.
<b>Tipo</b>	Não há necessidade de conhecimento prévio em tecnologia para conseguir utilizar a aplicação.
<b>Responsabilidades</b>	Manter os dados sobre condições de saúde atualizados para tornar a exibição deles eficaz; utilizar a versão mais atualizada do aplicativo.
<b>Critérios de sucesso</b>	O usuário conseguir informar o seu problema respiratório; ser notificado caso a qualidade do ar pior e afete sua condição de saúde; conseguir acompanhar informações do Índice de Qualidade do ar (IQA).
<b>Comentários ou Problemas</b>	Caso o usuário omita alguma informação sobre sua condição de portador de doença respiratória, o aplicativo/Alexa pode disparar notificações de forma errônea para esse grupo de pessoas.

Tabela 1 – Tabela de perfil do Usuário

### 3.2.6 Investidor

Como dito na seção 2.3, é de responsabilidade do governo estadual e distrital, a medição de poluentes atmosféricos e envio de relatórios periódicos. Além disso, deve ser prioridade do mesmo o bem estar de seus cidadãos. Desta forma, este se torna uma parte interessada no papel de investidor, pois é de interesse do mesmo o desenvolvimento e implementação do produto Zéfiro.

## 3.3 Principais Necessidades da Parte Interessada ou do Usuário

Primeiramente, foram elencadas algumas necessidades do usuário: visualização da qualidade do ar, acesso aos informações de poluentes presentes no ar, recebimento de

informações personalizadas, acesso de informações via Alexa, recebimento de notificações da qualidade do ar e de recomendações para a saúde, alerta de fumaça e visualização das estações instaladas no mapa.

Foram propostas as seguintes soluções: para a visualização da qualidade do ar, foi determinado mostrar para o usuário o IQA, de acordo com os critérios estabelecidos pelo CONAMA, no formato de numeração, porém também haverá a opção da visualização gráfica e o acesso a informação dos poluentes presentes no ar será em formato de lista.

As informações personalizadas serão geradas a partir da informação do quadro de saúde do usuário. Também será uma projetada um *skill* da Alexa, onde o usuário poderá perguntar a Alexa sobre como está a qualidade do ar no momento atual ou nos últimos 7 dias.

Para a questão das notificações, o aplicativo será projetado de forma que o usuário receba notificações sobre o risco do nível da qualidade do ar de acordo com o problema de saúde pré informado, recebendo recomendações. Também será possível o recebimento de notificações caso seja identificado fumaça na estação de monitoramento próxima. E por fim, será exigido um cadastro de localização no momento de instalação da estação de monitoramento, gerando um mapeamento *offline* de estações.

As necessidades elencadas para o investidor foram: posicionamento forte no mercado, produto com manutenção e instalação simples e dados disponíveis tanto para a população como para o desenvolvimento de relatórios.

O Zéfiro é um produto que trará confiabilidade nos dados e preço reduzido comparado com os concorrentes, secção 3.4, com um software voltado aos cidadãos. O banco de dados do aplicativo poderá ser acessado pelo investidor, para análise mais complexas dos dados da qualidade do ar. A estação de monitoramento será autônoma, com geração energética limpa, com estrutura resistente, moderna e compacta.

## 3.4 Alternativas e Concorrência

### 3.4.1 Concorrentes e Alternativas de Estações de Monitoramento

Há no mercado empresas e soluções que mostram alternativas ao produto a ser desenvolvido, sendo três delas: ??), Energética, Renova Qualidade do Ar e Libelium.

A Ecosoft Soluções Ambientais possui diversos sistemas de monitoramento ambientais, sendo eles: o Gerenciador de dados-Ecologger e o Abrigo para estações. O Ecologger faz a aquisição, integra e armazenamento dos dados da estação de forma a permitir o acesso remoto para transferência de dados. Nem sempre é possível acessar essa informação por qualquer dispositivo, sendo necessário o fornecimento de um protocolo de comunicação.

Já o Abrigo para estações, pode ser portátil, possui pés reguláveis, iluminação térmica e, para calibração do sistema, os abrigos possuem cilindros de gases em salas separadas e uma central de alarme para comunicar a falha de energia.

A Energética é uma empresa que fabrica, comercializa e realiza manutenção de equipamentos para medição de poluentes do ar e serviços a eles relacionados. A empresa possui amostradores de gases e de particulados que seguem a resolução do CONAMA conforme a resolução nº491/2018, sendo os amostradores de gases: AMORFLUOR-G, Bigas F, Monogás e Trigás; e os amostradores de particulados: AGV MP10, AGV MP2,5, AGV PTS, HANDI-VOL e OPS. Para cada amostrador a empresa tem um protótipo de altura média de 1m a 3m, ou seja, para cada tipo de gás que se queira mensurar tem-se que adquirir um amostrador diferente.

E a Renova Qualidade do Ar é uma empresa que tem por objetivo fornecer soluções técnicas e equipamentos para o controle e medição da poluição atmosférica e da qualidade do ar. A empresa possui um sistema de monitoramento dos gases e um módulo sequencial para amostragem de material de particulado.

A Libelium criou um modelo de monitoramento inteligente capaz de mensurar os gases de poluição, assim como monitorar a qualidade do ar, com requisitos de elevada precisão, confiabilidade e um bom alcance de medição a partir dos sensores utilizados, que são capazes detectar os gases e particulados. O valor deste sistema é de aproximadamente R\$16490,82 reais dependendo da cotação do euro.

### 3.4.2 Concorrentes e Alternativas de Software

O sistema de disponibilização de dados obtidos pelos sensores para as pessoas possui alguns sistemas alternativos concorrentes: *Air Quality Index*, *Pollut & Fires - Breezo*, *AirLief* e *Plume Labs*.

O *Air Quality Index, Pollen & Fires - BreezoMeter* é um aplicativo de monitoramento da qualidade do ar. Ele está disponível para Android e iOS e possui como principais diferenciais a indicação do nível do pólen no ar, o alerta de incêndios e a exibição da qualidade do ar em tempo real. Faz ainda uso de aprendizado de máquina e inteligência artificial para garantir a máxima acurácia das suas previsões. Suas recomendações são feitas com grupos de usuários definidos, não havendo assim uma personalização para os diferentes tipos de usuário.

Já o *AirLief - Personal Air Pollution Monitor & Adviser* é um aplicativo criado em conjunto com médicos. Diferente das outras opções disponíveis no mercado, o AirLief tem um foco em como o usuário pode reduzir sua exposição à poluição. Não disponibiliza nenhuma informação a mais sobre a qualidade do ar. Está disponível para Android e iOS.

E o *Plume Labs: Air Quality* é um aplicativo de previsões de qualidade do ar. Seu

grande diferencial é o uso de mapas para indicar a qualidade em conforme o local do usuário. Suas medições são feitas de forma similar a uma previsão do tempo. Porém, não disponibiliza nenhum tipo de recomendações aos usuários.

Além dessas, existem vários outros aplicativos que trazem algum tipo de monitoramento da qualidade do ar com poucas variações entre eles. A maioria foca em informar a qualidade do ar de acordo com uma faixa de qualidade. Aqueles que se diferenciam são pelo uso de alguma inovação tecnológica, seja por uso de aprendizado de máquina, inteligência artificial, ou algum tipo de interação entre usuários.

# 4 Requisitos

## 4.1 Requisitos de Alto-nível

Os requisitos de alto-nível elencados foram:

- Sensoriamento automatizado de gases e partículas poluentes;
- Disposição de dados coletados na Nuvem;
- Autonomia energética;
- Fácil instalação e manutenção;
- Disponibilizar gráficos com histórico de qualidade do ar para que o usuário possa ter informações de como está o ar e comparar com períodos anteriores;
- O usuário deve receber informações sobre o ar e seus componentes, bem como outras informações para que possa estar ciente do que respira;
- O sistema deve possuir integração com a Alexa para que possa servir como suporte para o usuário usando comando de voz;
- O sistema deve notificar o usuário sobre a qualidade do ar para ajudar pessoas com problemas respiratórios;
- O usuário deve acessar a localização das estações de monitoramento e seus status para saber onde estão as estações;
- O sistema deve avisar ao usuário por meio de um alerta quando houver fumaça para ajudar pessoas com problemas respiratórios.

## 4.2 Requisitos específicos

### 4.2.1 Requisitos de Elétrica

#### 4.2.1.1 Eletrônica

- Realização do controle do sensoriamento solar;
- Rastreamento solar;
- Comunicação com a internet;

- Envio de dados tratados para nuvem;
- Medição de gases poluentes: Dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), Dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ), Ozônio ( $\text{O}_3$ ), Monóxido de carbono (CO);
- Detecção de presença de Fumaça no ambiente;
- Medição de Partículas: PM2.5 e PM10;
- Medição de temperatura, umidade e pressão do ar.

#### 4.2.1.2 Energia

- A alimentação deve ser baseada em painéis fotovoltaicos;
- Baterias devem dar autonomia energética para dias nublados e noites;
- O sistema fotovoltaico deve ser implementado com sensoriamento solar;

#### 4.2.2 Requisitos de Estrutura

- Alocação e proteção física dos componentes que compõem as partes eletrônicas do projeto, sendo esses: placas de circuito, sondas(sensores), bateria e painel solar;
- Resistência a ambiente externo:
  - Resistência a raios UV e intemperismo;
  - Resistência a chuva baseada na norma ABNT NBR IEC 60529 - Graus de proteção providos por invólucros (Códigos IP) IP52;
- Sistema automatizado de deslocamento para otimização de captação de energia em painel solar;
- Fácil manutenção;
- Fácil instalação;
- Sistema de ventilação forçada para sensoriamento do ar;

IP52: Protegido contra ingresso de poeira (o ingresso de poeira não está totalmente evitado, mas a poeira não deve ingressar em quantidade que possa interferir na operação do equipamento ou prejudicar segurança). E protegido contra queda de água com inclinação de até 15° com a vertical, gotas caindo na vertical não devem provocar efeitos prejudiciais quando o invólucro é inclinado num ângulo até 15° de cada lado da vertical.

## 4.3 Requisitos de Software

- Histórico de IQA/Gráfico:
  - O sistema deve ser capaz de calcular o IQA;
  - O sistema deve ser capaz de categorizar a qualidade do ar baseado nas medições dos sensores;
  - O sistema deve ser capaz de receber os dados da estação de monitoramento;
  - O sistema deve ser capaz de apresentar um gráfico intuitivo para o usuário;
  - O sistema deve ser capaz de mostrar o histórico dos últimos 7 dias do IQA;
  - O usuário deve ser capaz de filtrar o gráfico por período.
- Informações sobre o IQA:
  - O sistema deve listar todos os poluentes do ar de acordo com os dados da estação;
  - O sistema deve armazenar as informações personalizadas do usuário;
  - O sistema deve cruzar as informações personalizadas do usuário com os poluentes do ar;
  - O sistema deve apresentar as informações personalizadas para o usuário;
  - O sistema deve apresentar uma proporção de quantidade de cada elemento presente no ar.
- Iteração com a Alexa:
  - A Alexa deve responder questões sobre a qualidade do ar atualmente;
  - A Alexa deve responder questões sobre quais são os poluentes presentes no ar;
  - A Alexa deve responder questões personalizadas de acordo com o problema de saúde;
  - A Alexa deve responder perguntas sobre o histórico da IQA.
- Envio de notificações:
  - O sistema deve enviar uma notificação quando o IQA médio tiver um nível estabelecido;
  - O sistema deve alertar dentro do aplicativo quando houver fumaça;
  - O sistema deve notificar o usuário de acordo com as informações personalizadas;
- Acompanhamento de status e local das estações:

- O sistema deve receber a localização da estação;
- O sistema deve receber a localização do usuário;
- O sistema deve ser capaz de exibir as estações no mapa;
- O sistema deve ser capaz de apresentar o valor IQA de cada estação;
- O sistema deve apresentar o mapa para o usuário.

# 5 Solução

Os requisitos dos subtemas do projeto foram levantados para a proposta de solução. Primeiramente as diretorias de cada área se reuniram para discutir uma proposta e, então, iniciou-se a etapa de desenvolvimento do projeto.

## 5.1 Solução Elétrica

As simulações de circuitos elétricos foram realizadas através do Software Proteus, versão 8.9. Os esquemáticos, usados para confeccionar o layout da PCI e gerar o 3D das placas de circuitos, foram feitos através do Software KiCad (5.1.6).

A solução, em módulos isolados, está desenhada em modelo de diagrama de blocos no Apêndice I, o Apêndice K descreve os requisitos de projeto das Placas de Circuito Impresso (PCI) e o Apêndice J descreve os procedimentos de calibração e teste.

### 5.1.1 Sensor de temperatura, umidade e pressão

A temperatura, umidade e pressão são fatores importantes para a qualidade do ar. Dessa forma, o Zéfiro para medir essas variáveis utilizará o sensor digital Adafruit BME280, que realiza a leitura das três variáveis meteorológicas, com boa acurácia e resolução de leitura.

O sensor BME280 é um sensor digital especialmente desenvolvido para aplicações móveis e compactas, onde tamanho e baixo consumo de energia são os parâmetros importantíssimos de design.(BOSCH, 2015) Criado pela BOSCH, este sensor é um 3 em 1 que oferece sensores de alta linearidade, alta precisão, estabilidade a longo prazo e alta robustez EMC.(LOPES, 2017) A lista abaixo, resume as características técnicas do sensor:

1. Faixa de Operação
  - a) Pressão: 300 a 1100 hPa;
  - b) Temperatura: -40 a 85 °C;
  - c) Umidade: 0 a 100 %RH (dentro da faixa de 0 a 60 °C)
2. Alimentação: 3V ou 5V;
3. Comunicação: I2C OU SPI;
4. Corrente durante ações:

- a) Modo de espera:  $0.5 \mu\text{A}$ ;
- b) Medição de umidade:  $340 \mu\text{A}$ ;
- c) Medição de pressão:  $714 \mu\text{A}$ ;
- d) Medição de temperatura:  $350 \mu\text{A}$ ;

A figura 1 abaixo mostra o diagrama de blocos do funcionamento do sensor BME280.

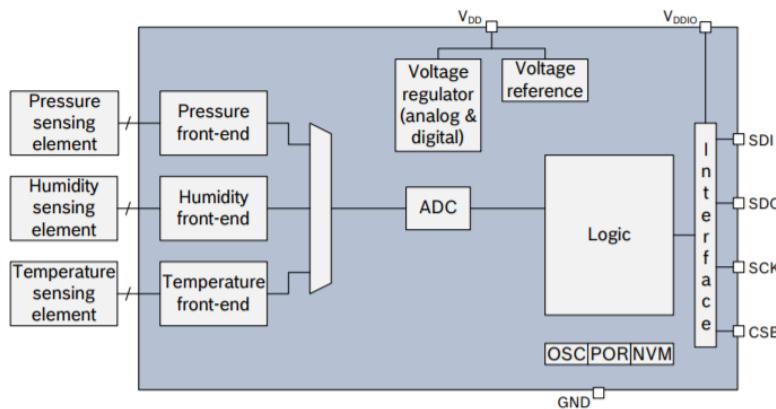


Figura 1 – Diagrama de blocos do BME280

O sensor possui dois pinos de alimentação distintos: o  $V_{DD}$ , que é a principal para todos os blocos funcionais digitais e analógicos e o  $V_{DDIO}$ , que é um pino de alimentação separado para o fornecimento da interface digital.

O POR é um botão de reset, o qual redefine a parte lógica e os valores de registro após o  $V_{DD}$  e o  $V_{DDIO}$  alcançam seus níveis mínimos. Após ligar, o sensor entra no *sleep mode*.

Não se pode manter qualquer pino de interface (SDI, SDO, SCK ou CSB) em nível lógico alto quando o  $V_{DDIO}$  está desligado, pois tal configuração pode causar dano permanente no sensor devido a um fluxo de corrente excessivo através dos diodos de proteção ESD.

Caso  $V_{DDIO}$  esteja alimentado e  $V_{DD}$  não, os pinos de interface são mantidos em nível alto-Z. O barramento, portanto, já pode ser usado antes que a alimentação do  $V_{DD}$  seja estabelecida.

Já a redefinição do sensor é possível ciclando o nível do  $V_{DD}$  ou escrevendo um comando de `reset`.

O BME280 possui três modos de operação: *sleep mode*, *forced mode* e *normal mode*. O *sleep mode* é sem operação, todos os registradores acessíveis, a potência mais baixa é selecionada após uma inicialização; o *forced mode* realiza uma medição, armazena os resultados e retorna para o *sleep mode* e o *normal mode* é realizada ciclos perpétuos de medições e tem períodos inativos.

O período de medição do BME280 consiste na medição de temperatura, pressão e umidade com sobreamostragem selecionável. Após o período de medição, os dados de temperatura e pressão podem ser passados por um filtro IIR opcional, a fim de remover pequenas flutuações de pressão; para umidade, tal filtro não é necessário e não foi implementado no sensor (BOSCH, 2015). O fluxo de medição pode ser visto na Figura 2.

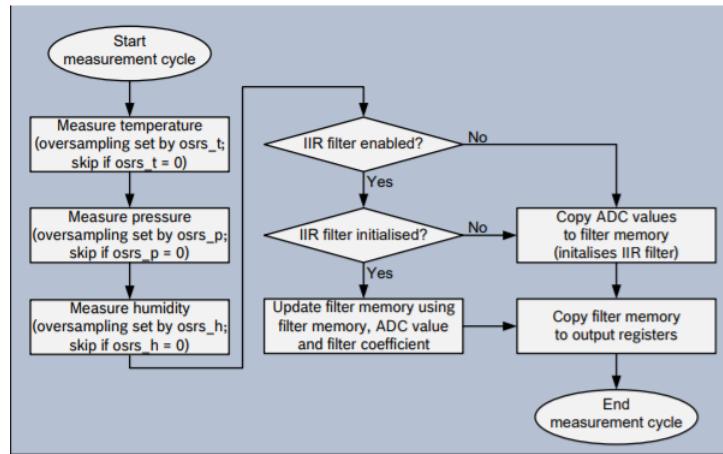


Figura 2 – Ciclo de medição do BME280

O módulo oferecido pela Adafruit, possibilita a utilização do BME280 com 5V e 3.3V, sem riscos, para isso foi implementado um circuito regulador no módulo, Anexo A.

### 5.1.2 Sensores de qualidade de ar

#### 5.1.2.1 Sensores de gás

Os sensores de gás usados no Zéfiro são os da Alphasense, que é uma marca inglesa com um vasto conjunto óticos e eletroquímicos, dependendo dos gases (no caso do projeto, todos são eletroquímicos). Em relação a qualidade do ar, a Alphasense é a empresa que tem a maior oferta de sensores desenvolvidos tão somente para a medição de poluentes gasosos concentrados no ar.

Os sensores do projeto são células eletroquímicas que operam no modo amperométrico. Ou seja, eles geram uma corrente que é linearmente proporcional ao volume fracionário do gás tóxico a ser medido. A Figura 3 mostra esquematicamente a estrutura de um sensor de gás tóxico.

O eletrodo de trabalho (também chamado de eletrodo de detecção) é projetado para otimizar a oxidação ou redução do gás tóxico a ser medido. Este eletrodo permite que o gás entre em contato com o eletrodo e o eletrólito para criar uma interface de fase de gás, líquido e sólido.

O eletrodo de trabalho é a superfície onde ocorre a oxidação eletroquímica ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{SO}_2$ ) ou redução ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ) ocorre. Um catalisador de alta área de superfície

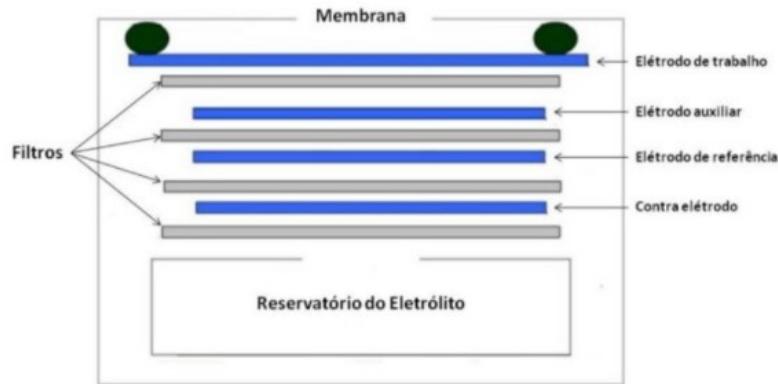


Figura 3 – Representação esquemática dos sensores de gás da Alphasense

é usado para otimizar o desempenho do sensor, resultando em uma alta capacidade do sensor: normalmente 50 a 200 mF, levando à suscetibilidade à interferência eletromagnética.

Este eletrodo é exposto ao ar externo e, portanto, está diretamente exposto a todos esses gases no ar, incluindo o gás a ser medido. Portanto, este eletrodo pode ser envenenado se exposto a certos gases que se absorvem no catalisador (por exemplo acetileno em sensores de CO), ou reagem, criando subprodutos que inibem o catalisador (por exemplo, NO<sub>2</sub> ou aromáticos em sensores de H<sub>2</sub>S). Este é o mesmo problema de envenenamento em células de combustível e conversores catalíticos automotivos.

Além do eletrodo de trabalho, os sensores possuem mais três eletrodos: eletrodo auxiliar, contra-eletrodo e eletrodo de referência. O eletrodo auxiliar possui as mesmas características do eletrodo de trabalho, mas não é exposto ao gás que se pretende medir. O eletrodo de referência permite que os dois eletrodos (trabalho e auxiliar) estejam referenciados a uma tensão elétrica fixa, a fim de garantir que o sensor esteja trabalhando na região correta da curva de corrente e tensão e, por último, o contra-eletrodo, que completa o balanço eletroquímico.(GOMES, 2015)

### Sensores de gás da Alphasense

As especificações técnicas de cada sensor podem ser encontradas no Anexo B.



Figura 4 – Sensores de gás da Alphasense

### Placa individual dos sensores

A Alphasense disponibiliza para cada um dos sensores uma placa eletrônica, denominada ISB - *Individual Sensor Board*, que pode ser observada na Figura 5 e o sensor de gás da Alphasense pode ser conectado a ela. A placa ISB emite uma tensão constante aos eletrodos de trabalho e auxiliar do sensor de gás. A análise dos dados da aquisição dos sensores ocorre na forma de tensão elétrica.



Figura 5 – Placa ISB.

A placa individual é projetada para todos os sensores de gases acima e fornece uma saída de tensão de canal duplo e que funciona como um circuito potenciológico. A alimentação da placa foi projetada para aplicações de baixa potência e tensão estável entre 3,5 a 6,4V a 1mA e que fornece tensão elétrica constante aos eletrodos de trabalho e auxiliar. Um intervalo de banda de baixo ruído fornece a tensão de polarização para sensores de NO e a placa pode medir os gases oxidantes (CO, SO<sub>2</sub> e NO) e gases redutores (O<sub>3</sub> e NO<sub>2</sub>). ([ALPHASENSE, 2020c](#))

A placa possui duas saídas analógicas em tensão, saída OP1 - Eletrodo de Trabalho (WE1) e saída OP2 - Eletrodo Auxiliar (WE2/ Aux). Apesar do sinal gerado pelos dois eletrodos serem duas correntes, a placa transforma essa corrente em uma tensão para cada uma das saídas (circuito potenciológico). As saídas são disponíveis na placa em um Molex de seis pontos, junto com a entrada da alimentação da placa. ([SILVA, 2019](#))

As placas ISB foram configuradas em 4 modelos, com mínimas distinções entre si, para cada sensor específico de gás:

Número da peça	Sensor
000-0ISB-00	CO-B4, SO <sub>2</sub> -B4, H <sub>2</sub> S-B4
000-0ISB-01	NO-B4
000-OISB-02	NO <sub>2</sub> -B43F
000-0ISB-03	OX-B431

Tabela 2 – Tabela das placas ISB dos sensores

## Operação do circuito da ISB

O circuito presente no anexo C representa a placa individual da Alphasense. O circuito usa um amplificador operacional para fornecer uma corrente de equilíbrio ao contra-eletrodo (circuito potencióstático, circuito). Além disso tanto o eletrodo de trabalho (WE) quanto o eletrodo auxiliar (WE2) - usado para compensar a corrente zero-tem amplificadores de dois estágios equivalentes; o primeiro estágio (circuitos B e C) é um amplificador de transimpedância de alto ganho e o segundo estágio (círculo D) de buffer permite inverter os sinais dos sensores para NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub>, que são gases redutores. Os circuitos E e F são o de alimentação e de referência de tensão. Ambos os sinais de saída estão disponíveis no Molex.

### Conexão energética e leituras

Para fazer a conexão energética e dos sinais dos sensores é necessário um soquete molex polarizado

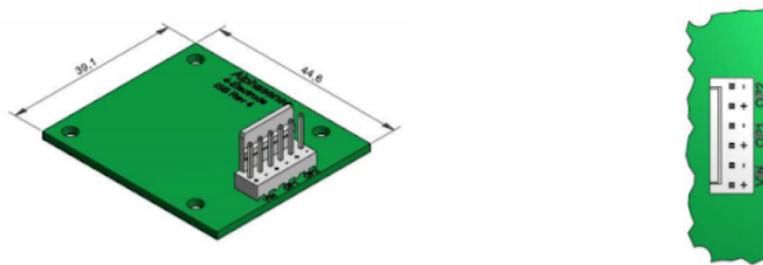


Figura 6 – Conexão molex

O molex contém os pinos de saída e os de alimentação (OP1, OP2 e Vin); os pinos são conectados para que se possa usar um cabo de 6 ou 4 vias para conectar à placa e a alimentação DC necessária é de 3.5 a 6.4 VDC e a fonte de alimentação é de baixo ruído e desacoplada, para não adicionar ruído ao sinal medido.

A tabela 3 abaixo, ([SILVA, 2019](#)) e ([ALPHASENSE, 2020a](#)), mostra as saídas esperadas da placa para os gases.

Gás	Tensão de Offset (WE/AUX)	Sensibilidade do Sensor (nA/ppm)	Sensibilidade (mV/ppm)	Sensibilidade Min/max (mV/ppm)	Alcance máximo e medição (ppm)	Sensitividade do WE (mV/ppm)	Ruído (ppb)
CO	270/340	420	320	230/550	15	336	4
NO	545/510	540	800	340/520	10	432	15
NO <sub>2</sub>	225/245	230	430	550/930	5	165	15
O <sub>3</sub>	260/300	290	1150	340/520	10	216	15
SO <sub>2</sub>	355/345	300	450	379/520	10	240	5

Tabela 3 – Tabela das saídas esperadas para os gases

## Ruído

- (a) Esses sensores são muito sensíveis ao gás e também são muito suscetíveis à captação eletromagnética. O ideal é que os sensores sejam alojados em uma gaiola de Faraday, mas isso geralmente não é praticável, então deve-se proteger e aterrizar o melhor que puder. Os circuitos digitais próximos também podem prejudicar a qualidade do sinal.
- (b) O ruído típico da Alphasense, ao calibrar em uma bancada sem blindagem adicional, mas com uma boa fonte de alimentação é de 3 mV (p-p). A média digital pode reduzir isso para menos de 1 mV, equivalente a normalmente 2 ppb. Uma redução adicional de ruído pode ser alcançada por blindagem.
- (c) É importante desacoplar a fonte de alimentação e o conversor A/D do ISB. Como a linha 0 V é compartilhada pela fonte de alimentação e pela saída, qualquer ruído injetado pela fonte de alimentação ou circuito de leitura aparecerá no sinal medido. É recomendado o uso de dois capacitores de desacoplamento próximos ao soquete Molex: 10nF e 100nF.

A alphasense vende os sensores já acoplados na placa e também separados. Quando o sensor e ISB são adquiridos juntos, a Alphasense entrega o sistema calibrado; na embalagem que contém o sensor com a ISB ficam impressas as tensões de offset do eletrodo de trabalho e do auxiliar em mV e a sensibilidade expressa em mV/ppm. Em bibliografia encontramos para o sensor CO-B4, os seguintes valores de calibração: offset\_WE = 492 mV, offset\_Aux = 334mV, sensibilidade = 405 mV/ppm.

Contudo, ao adquirir a placa separadamente, a Alphasense recomenda seguir os seguintes passos para verificar as tensões de offset e sensibilidade:

1. Acoplar o sensor à ISB;
2. Alimentar a ISB com uma tensão DC de 6V;
3. Permitir a estabilização do sensor durante pelo menos 6 horas;
4. Aplicar “ar limpo” durante 20 minutos;
5. Obter as tensões de offset para WE e AUX;
6. Verificar a sensibilidade, utilizando concentrações conhecidas do gás alvo.

A metodologia de cálculo se baseia nas especificações técnicas fornecidas pela Alphasense no que se refere à conversão do sinal captado pelo sensor em mV para ppm (partículas por milhão) - que indica a quantidade, em gramas, de soluto presente em 1000000 gramas da solução; é uma grandeza que serve para relacionar a massa do soluto com a de soluções que estão muito diluídas. Assim, para obter a concentração do gás em é utilizada a seguinte equação ([SILVA, 2019](#)):

$$\text{Gás}(ppm) = \frac{(WE_{OP1} - WE_{Vo}) - (AUX_{OP2} - AUX_{Vo})}{S} \quad (5.1)$$

onde  $WE_{OP1}$  é a tensão do eletrodo WE (mV),  $AUX_{OP2}$  é a tensão do eletrodo AUX (mV),  $WE_{Vo}$  é o offset do eletrodo WE fornecido pela Alphasense (mV),  $AUX_{Vo}$  é o offset do eletrodo AUX fornecido pela Alphasense (mV) e S é sensibilidade (mV/ppm).

### 5.1.2.2 Sensor de Material Particulado

O projeto deseja medir PM2.5 (materiais particulados de até 2.5 micrômetros) e PM10 (materiais particulados entre 2.5 e 10 micrômetros). Para realizar essa medição foi escolhido o sensor OPC-N3 da Alphasense.



Figura 7 – OPC-N3

Esse sensor mede partículas de 0.35um a 40um, com isso o sensor é capaz de medir PM1, PM2.5, PM10 e, como uma opção, P.M4.25, entretanto medir-se-á somente PM2.5 e PM10. O OPC-N3 pode medir desde salas limpas até níveis de poluição de 2000ug/m<sup>3</sup> com a característica única de dimensionar o pólen específico. Ele fornece saídas digitais dos poluentes a cada segundo junto com histogramas da contagem de partículas para cada tamanho e possui leituras estáveis mesmo com muita poeira no ar([ALPHASENSE, 2019b](#)).

O OPC-N3 possui as seguintes classificações:

1. Alimentação:

- a) Modo de Medição: 180 mA;
- b) Modo Standby: <45 mA;
- c) Faixa de tensão: 4.87 a 5.2 VDC;
- d) Potência transitória de ativação: <5000 mW/ms.

2. Especificações-chaves:

- a) Faixa de temperatura: -10 a 50°C;
- b) Faixa de umidade: 0 a 95%rh (contínuo);
- c) Massa: <105g.

O OPC-N3 mede a luz espalhada por partículas transportadas em uma amostra de fluxo de ar por meio de um feixe de laser. Essas medidas são usadas para determinar o tamanho da partícula e a concentração do número de partículas. Partículas PM2.5 e PM10 são calculadas pelo espectro do tamanho da partícula e dados de concentração, assumindo uma densidade de partícula e índice de refração (IR). As configurações padrão são: densidade 1.65g/ml e IR 1.5 + i0, mas um valor diferente pode ser definido para tamanhos distintos para corrigir a variação da densidade de partícula com o tamanho dela ([ALPHASENSE, 2019a](#)).

O sensor classifica os tamanhos das partículas em taxas de até 10000 partículas por segundo, cobrindo uma faixa de tamanho de 0.35 a 40 um. Os histogramas das partículas podem ser avaliados em tempos de amostragem, definidos pelo usuário, de 1 a 30 segundos e os dados dos histogramas são transmitidos via interface SPI para o host e com eles calcular a massa de partículas transportadas pelo ar em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ([ALPHASENSE, 2019a](#)).

O OPC-N3 é projetado para minimizar a deposição de partículas dentro da unidade e , assim, permitir uma operação autônoma em ambientes empoeirados. O sensor é calibrado usando partículas esféricas de látex de poliestireno de diâmetro e IR conhecido;

fatores de correção podem ser aplicados para erros resultantes de partículas de densidade ou índice de refração diferente.

### Conexão e operação

O OPC-N3 é enviado pré-calibrado com o ventilador em velocidade máxima. As comunicações de energia e dados são fornecidas por meio do soquete SPI e atualizações de firmware também. A transferência de dados do OPC-N3 em tempo real pode ser feita por meio do SPI direto para o barramento interno do circuito desenvolvido usando interface própria ou o da Alphasense, que deve ser solicitada separadamente. ([ALPHASENSE, 2019a](#))

A pinagem do SPI é:

Pino	Função
1	Vcc
2	SCK
3	SDO
4	SDI
5	/SS
6	GND

Tabela 4 – Tabela das pinagens do OPC-N3

O OPC-N3 requer de 4.8 a 5.2 V DC com ruído elétrico mínimo (<30mv); este é reduzido para uma alimentação 3v3 por meio do adaptador SPI-ISS para as linhas lógicas SPI. As linhas de interface SPI são tolerantes a 5V, mas é recomendado executar todas em 3v3. O sensor requer 180mA com um transiente curto de 1A ao ligar.

#### 5.1.2.3 Sensor de Fumaça

A fim de identificar se há fumaça (suspenção visível de carbono ou outras partículas no ar) no ar o Zéfiro utilizará o sensor MQ-2. Este sensor mede gases inflamáveis e fumaça. Quando a concentração de gases fica acima do nível ajustado pelo potenciômetro, a saída digital D0 fica em nível lógico alto, se abaixo do nível, fica em baixo.

O MQ-2 é um sensor do tipo semicondutor, que é feito de uma bobina de fio de platina aquecido eletricamente, coberto primeiro com uma base de cerâmica, tais como alumina e, em seguida, com um revestimento final exterior do catalisador de paládio ou ródio disperso em um substrato de tório. Na vertical tem-se um resistência elétrica que aquece o ar. Essa resistência é ligada através da alimentação dos pinos H's, um vai no 5V e o outro no GND (0V). De A para B tem-se o sensor de gás. Em uma atmosfera onde possa haver gás poluidor, a resistência do sensor de gás diminui conforme a concentração do gás poluente aumenta. Ou seja, quanto mais gás poluente, menor será a resistência

entre A e B (CANDIDO, 2017). Embora o sensor possa medir vários gases, ele será usado somente para detectar se há fumaça no ar.

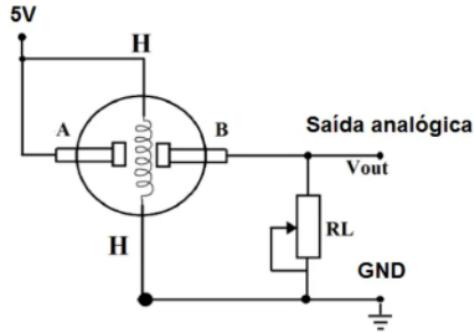


Figura 8 – Funcionamento do sensor MQ-2

A estrutura e configuração do MQ-2 pode ser vista na Figura 9. Ele é composto por um microtubo de cerâmica AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, uma camada sensível ao dióxido de estanho (Sn<sub>n</sub>O<sub>2</sub>), e por eletrodo de medição e aquecedor que são fixados em uma crosta de plástico e ácido inoxidável; este aquecedor é o que fornece as condições de trabalho necessárias para o trabalho dos componentes sensíveis do sensor.

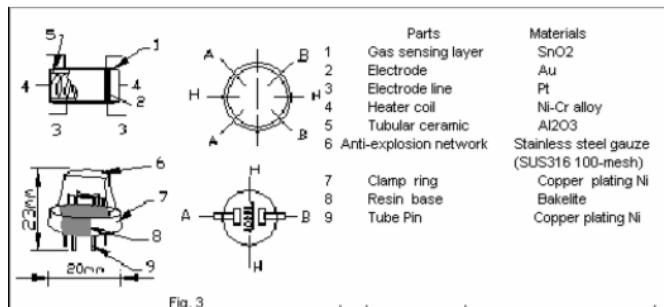


Figura 9 – Estrutura do sensor MQ-2

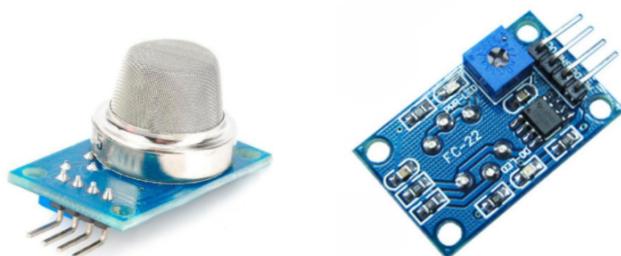


Figura 10 – Sensor MQ-2

O sensor não pode ser exposto de forma alguma as seguintes condições: vapor de silício orgânico, gases altamente corrosivos, álcalis, sal de metais alcalinos, poluição por

halogênio, água, congelamento e alta tensão. Além dessas condições, há outras que devem ser evitadas: condensação da água, grandes períodos de armazenamento e em ambientes adversos, vibração e concussão.

- Pinagem:
  - VCC: 5v;
  - GND: GND;
  - D0: Saída digital;
  - A0: Saída analógica.

### 5.1.3 Rastreamento Solar

#### 5.1.3.1 Sensor de Luminosidade

O sensor Light Dependent Resistor (LDR), também conhecido como foto-resistor, é um dispositivo semicondutor de dois canais e possui uma resistência variável, alterando o seu valor de acordo com a incidência luminosa. Funcionando de maneira em que a resistência do componente reduz a medida em que a intensidade da luz aumenta ([CELLS, 2018](#)). Isso possibilita a utilização de tal componente para desenvolvimento de um sensor que é ativado ou desativado quando incidir luz sobre ele.

A resistência do LDR varia inversamente proporcional à quantidade de luz que incide sobre ele, ou seja, enquanto o feixe de luz estiver incidindo, o LDR oferecerá uma resistência muito baixa e quando este feixe é cortado, sua resistência aumenta. A resistência obedece a seguinte equação:

$$R = C \cdot L \cdot a \quad (5.2)$$

onde  $L$  é a luminosidade em Lux,  $C$  e  $a$  são constantes dependentes do processo de fabricação e material utilizado.

O LDR é composto de um material semicondutor, o sulfeto de cádmio ( $\text{CdS}$ ) ou o sulfeto de chumbo ( $\text{PbS}$ ) e seu processo de fabricação consiste na conexão do material fotossensível com os terminais, sendo que apenas uma fina camada é exposta à incidência luminosa externa ([ALVES, 2010](#)).



Figura 11 – Constituição de um LDR

A disposição dos LDR's ocorre de forma em que os 4 sensores usados, fiquem separados por meio de um perfil estrutural no formato de “+”, como mostra a Figura 12. O perfil projetado permite que seja feita uma análise, devido a sombra gerada posicionamento dos LDRs. Sendo assim possível realizar uma comparação em pares entre eles, monitorando quando ocorre uma variação de incidência solar sobre os componentes.

O movimento do rastreador solar é acionado quando existe uma diferença entre as impedâncias dos pares de LDR's comparados.

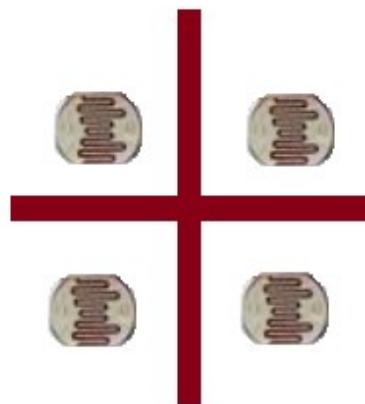


Figura 12 – Perfil formato “+” LDR

O modelo de LDR escolhido, para atender as condições de projeto, apresenta as seguintes especificações([CELLS, 2018](#)):

1. Modelo: GL5528;
- a) Tensão Máxima: 150V DC;
- b) Potencia Máxima: 100 mW;
- c) Espectro: 540 nm;

- d) Resistência no Escuro: 1M (Lux 0);
- e) Resistência na Luz: 10-20k (Lux 10);

### Círcuito LDR

O LDR permite uma forma de trabalho simples, sendo necessário, para um bom funcionamento, somente a aplicação de um divisor de tensão, como pode ser observado em (SANTOS; SILVA; CARVALHO, 2015) (NASCIMENTO, 2019). O circuito divisor de tensão, serve como um transdutor de resistência se adequando bem ao sensor LDR.

A saída do circuito LDR não pode ser superior a 3.3V, pelo range do ADC da ESP32. Dessa forma, foi elaborado um divisor de tensão com uma resistência capaz de limitar essa saída em 3V. Aplicando o cálculo do divisor de tensão tem-se que:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (5.3)$$

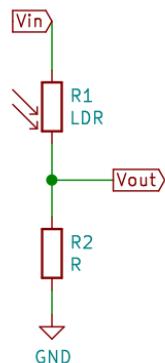


Figura 13 – Esquemático Circuito LDR

O datasheet (CELLS, 2018) mostra que o LDR tem  $8\ \Omega$  como o menor valor de resistência lida pelo componente em ambiente de alta luminosidade. Quanto maior a incidência solar, menor a resistência e consequentemente maior será a saída de tensão do LDR. Então, aplicou-se o valor de  $8\ \Omega$  na Equação(5.3), sendo o valor da resistência do LDR, ou seja o R1 do esquemático apresentado na Figura 13. O Vin como 5V, por ser o valor da alimentação do circuito LDR e ao Vout foi atribuído o valor de 3V. Com esses valores foi calculado o valor da resistência que compõem o divisor de tensão, como pode ser observado nos cálculos a seguir:

$$3 = 5 \cdot \frac{R_2}{R_2 + 8} \quad (5.4)$$

$$3R_2 + 24 = 5R_2 \quad (5.5)$$

$$R_2 = 12\Omega \quad (5.6)$$

Após a escolha do valor da resistência do divisor de tensão foi utilizada simulação para validar o circuito. A Figura 14 apresenta o circuito simulado com a utilização de 1 lux e 100k lux.

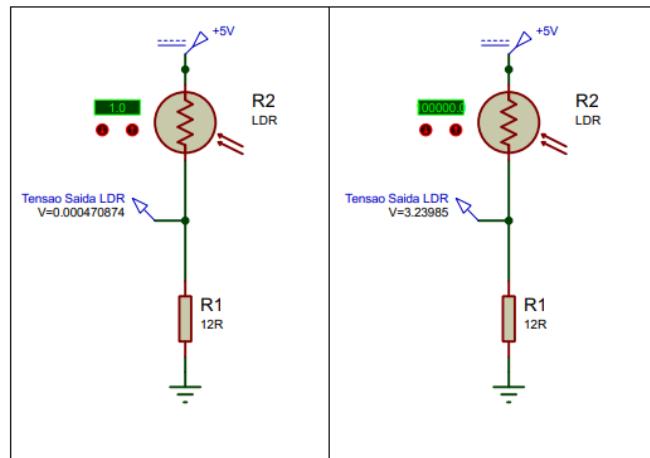
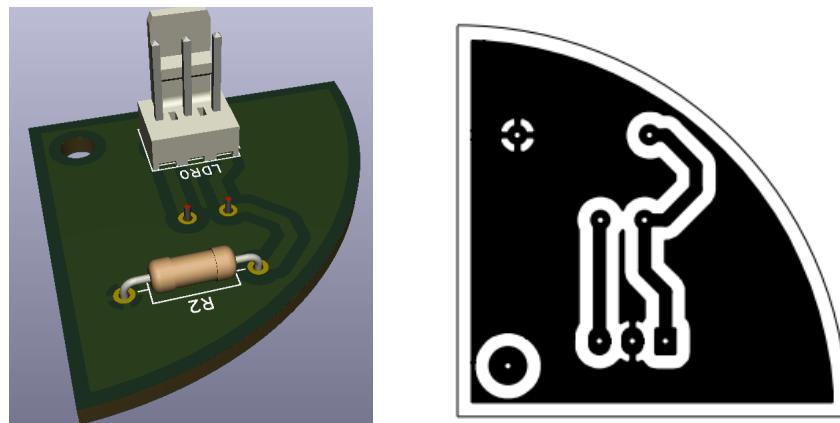


Figura 14 – Simulação Circuito LDR

A simulação com 1 lux resulta na menor saída que o LDR é capaz de gerar, sendo apresentado uma tensão no valor de 0.4mV. A luz solar ao iluminar uma superfície de forma direta pode variar de 6.000 a 100.000 lux (GARROCHO, 2005). A simulação com 100klux mostra que mesmo com uma intensidade de luz solar direta e intensa, a saída do LDR não ultrapassa o valor de 3.3V.

Após a simulação do Circuito LDR, desenvolve-se a placa de circuito impresso (PCI). A Figura 15 apresenta o modelo 3D e a máscara para aplicação no cobre.



(a) Design 3D

(b) Máscara para PCI

Figura 15 – Circuito LDR

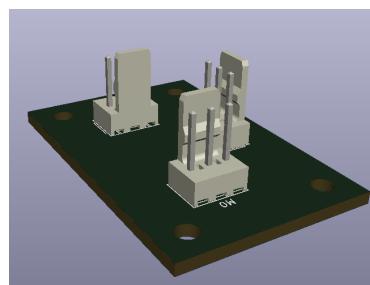
### 5.1.3.2 Motor

O microcontrolador envia um pulso PWM para a movimentação dos servos quando nota diferença de impedância entre os LDRs e reposiciona o sistema até que a discrepância entre eles seja mínima. O rastreamento projetado é constituído por dois tipos de movimento: rotação e inclinação. Fazendo-se necessário, para atender a demanda da movimentação e o peso estrutural, o uso de 3 motores, sendo 2 na horizontal e 1 na vertical.

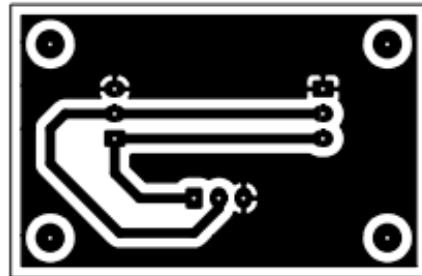
O modelo de motor escolhido de acordo com o dimensionamento realizado na secção 5.2.4, para atender as condições de projeto, apresenta as seguintes especificações:

1. Modelo: JX Servo 45KG;
  - a) Tensão de Operação 6V e 8.4V;
  - b) Sinal de Controle: PWM;
  - c) Velocidade de operação: 0.13seg/60° (6V sem carga) e 0.11seg/60° (8.4V sem carga);
  - d) Torque: 37,0 kg.cm (4.8V) e 45,0 kg.cm (6.0V);
  - e) Faixa de Rotação: 120°.

A Figura 16 mostra o design 3D e a máscara para PCI dos motores. A placa desenvolvida é composta somente por conectores para fazer a ligação do microcontrolador com o servomotor.



(a) Design 3D



(b) Máscara para PCI

Figura 16 – Circuito Motor

### 5.1.4 Ventilação do tubo de Venturi

De acordo com os requisitos da solução apresentada, secção 5.2.1, foi determinado o uso de um ventilador DC. A lista abaixo apresenta o modelo e suas especificações:

1. Modelo: AFB1212M-F00;

- a) Tensão de Operação 7 V e 13.8 V;
- b) Corrente de entrada: 0.18 (Máximo 0.27) A;
- c) Potência de entrada: 2.16 (Máximo 3.24) W;
- d) Velocidade de operação: 2200 R.P.M;
- e) Máximo Fluxo de Ar: 2.09 (Mínimo 1.88) m<sup>3</sup>/min;
- f) Máxima Pressão de Ar: 5.15 (Mínimo 4.17) mmH<sub>2</sub>O;

A tensão de alimentação definida foi 12 V, pois já é presente no sistema 5.1.6.1.2, porém deve-se realizar o controle do ventilador a partir do microcontrolador, para isso é necessário que se isole os pinos de baixa tensão do microcontrolador do circuito de maior tensão do ventilador.

Como o ventilador só precisa girar em uma única direção, é possível utilizar um circuito optoacoplado, Figura 17, para controle por meio do microcontrolador, criando uma meia ponte H. Realizou-se a simulação do circuito para verificar o funcionamento correto do circuito.

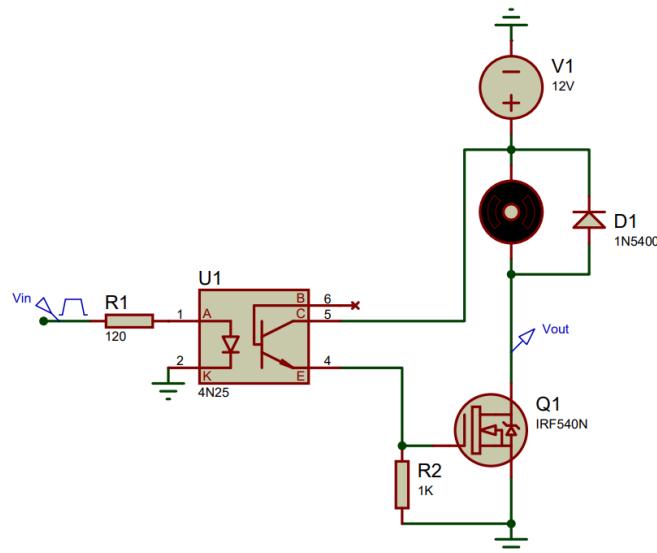


Figura 17 – Esquemático circuito de controle PWM optoacoplado.

Para a simulação foi determinado que um sinal PWM de 20 Hz como entrada no pino 1 do optoacoplador 4N25, resultando nos gráficos da Figura 18, percebe-se que o circuito está coerente.

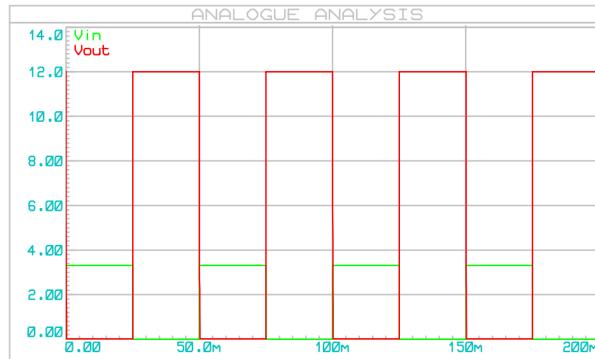
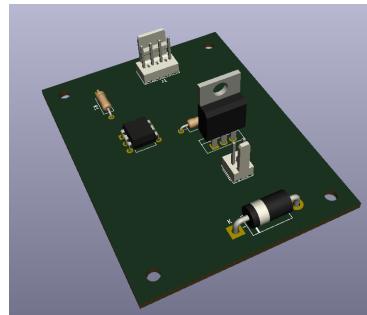
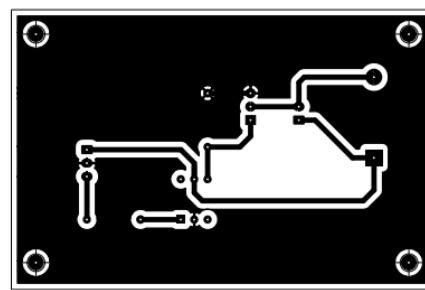


Figura 18 – Resultado da Simulação do circuito da Figura 17

Após a simulação do circuito, desenvolve-se a PCI. A Figura 19 apresenta o modelo 3D e a máscara para aplicação no cobre.



(a) Design 3D



(b) Máscara para PCI

Figura 19 – Circuito Motor Coupler

### 5.1.5 Embarcados

De acordo com os requisitos elencados e com as características dos sensores, as características principais que levaram a escolha do microcontrolador do sistema foram: a quantidade de portas ADC e a comunicação SPI e I2C e Wi-FI. Também para a escolha, porém como características secundárias, foi analisado: o preço e o consumo.

Na Tabela 5, é possível analisar as características de alguns microcontroladores/microcomputadores que podem ser encontrados no mercado.

Produto	Custo (R\$)	GPIO	Flash Memory (kB)	Analógico	Comunicação	Wi-Fi	Tensão(V)	Corrente
Thinkerboard R/BR	359	28	SD	Não	SPI/I2C/UART	Sim	5	230 mA
Raspberry Pi 3 B+	249	26	SD	Não	SPI/I2C/UART	Sim	5	80 mA
Raspberry Pi Zero W	109	26	SD	Não	SPI/I2C/UART	Sim	5	80 mA
PocketBeagle	164,8	44	SD	8 (12 bits)	SPI/I2C/UART	Não	5	80 mA
Beaglebone Black	799, 99	74	SD	7 (12 bits)	SPI/I2C/UART	Sim	5	140 mA
ESP32	49,9	32	448	20 (12 bits)	SPI/I2C/UART	Sim	4.5 ~ 9	80 mA
ATMEGAA328P	25	32	32	6 (10 bits)	SPI/I2C/UART	Não	1.8 ~ 5.5	6.6 mA
ATtiny167	40	16	16	11 (10 bits)	SPI/I2C/UART	Não	1.8 ~ 5.5	600 uA
PIC18F452	40	34	32	8 (10 bits)	SPI/I2C	Não	2.0 ~ 5.5	1.6 mA
MSP430G2553	30	24	16	8 (10 bits)	SPI/I2C/UART	Não	2.8 ~ 3.6	230 uA

Tabela 5 – Comparaçao de Microcontroladores

De acordo com essa tabela, realizou-se uma análise qualitativa realizada pela equipe de eletrônica. Desta forma, foi definido como microcontrolador o ESP32.

O NodeMCU ESP32, é um dispositivo perfeito para projetos IOT (Internet of Things), por ser capaz de realizar conexão Wi-fi e Bluetooth com sistema já integrado na placa, além de ter um sistema de processamento alto, com três núcleos em seu processador e ainda ter 20 ADC (Analog-to-digital Converter) e 2 DAC (Digital-to-analog Converter), 32 portas GPIO e ter capacidade de realizar comunicação I2C, SPI e UART.

#### 5.1.5.1 Pinagem ESP32

A placa de desenvolvimento ESP32 Devkit V1 foi definida para a aplicação, na Figura 20 é possível verificar a disposição dos componentes nos seus pinos, no Anexo D está disponível o diagrama de *pinout* da esp32, para identificação de capacidade das portas e no Apêndice H é possível verificar como os sistemas se conectam com o esquemático eletrônico do sistema Zéfiro.

## DOIT ESP32 DEVKIT V1 PINOUT

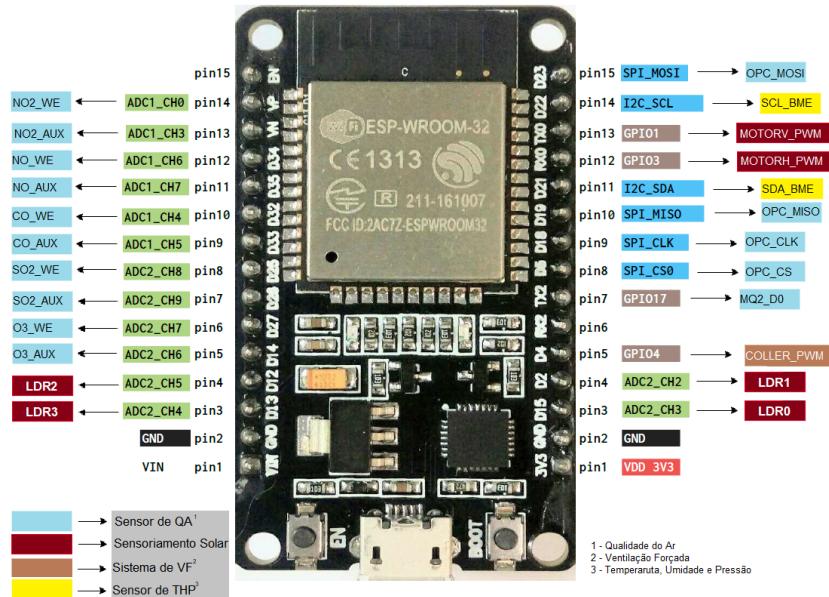


Figura 20 – Conexões dos Componentes no Microcontrolador

### 5.1.5.1.1 Módulo de conexão ESP32

Para melhor disposição dos sensores e facilidade de troca de componentes foi desenvolvido um módulo de conexão para o microcontrolador, onde esse será inserido e os componentes do sistema conectados. A Figura 21 demonstra a idealização 3D deste componente e a máscara para construção da placa de circuito impresso (PCI).

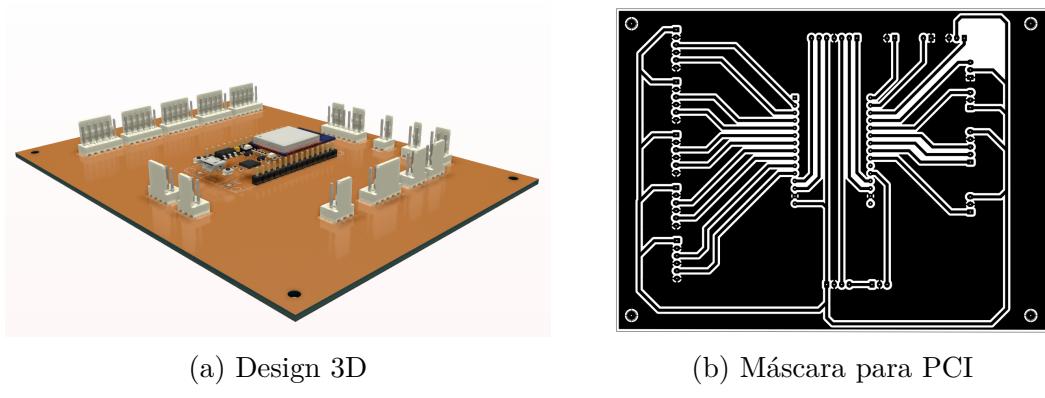


Figura 21 – Módulo de conexão para ESP32.

### 5.1.5.2 Aquisição de Dados

O sistema será controlado a partir de *requests* do servidor, que terá a função de temporizar o sistema embarcado. Desta forma, é possível economizar energia do sistema.

### 5.1.5.2.1 Sensores de Qualidade do Ar

De acordo com o Anexo E, foram estabelecidas as temporizações de aquisição de amostras para determinação da qualidade do Ar, vide a Tabela 6. Estabeleceu-se que seriam realizadas 10 amostras a cada pedido de dados, assim realizando o método de Média Móvel Exponencial (MME), Apêndice L, para a suavização da amostra a ser encaminhada para o servidor.

Poluente Atmosférico	Período de requisição
MP10	1 por hora
MP2.5	1 por hora
SO <sub>2</sub>	1 por hora
NO <sub>2</sub>	1 nos minutos finais 2, 4, 8 e 0
O <sub>3</sub>	1 a cada 10 minutos
CO	1 a cada 10 minutos
Fumaça	1 por hora

Tabela 6 – Período de requisição de dados para cada poluente.

### Sensores de gás Alphasense

Após o processamento de dados realizados pelo filtro MME, os dados dos pinos de trabalho e auxiliar, secção 5.1.2.1, são utilizados para o cálculo da concentração do gás verificado, por meio da equação 5.1.

#### Sensor de material Particulado

A Alphasense disponibilizou os códigos de aquisição para o OPC-N3, para o microcontrolador Arduíno, realizou-se a adaptação do sistema para o microcontrolador ESP 32.

Para o processo de leitura de dados do sensor digital OPC-N3, é necessário o envio de sinal para ligar a ventilação forçada do sensor digital e o laser de detecção. Após a ativação é recomendada que se utilize a segunda sequência de dados, já que a primeira possui tendência ruidosa. Após a aquisição é enviado um sinal para desligamento do ventilador e laser.

### 5.1.5.2.2 Temperatura, Umidade e Pressão

A leitura de temperatura, umidade e pressão ocorrerá sempre que for requisitada uma amostra de qualidade do ar, sendo estas as primeiras aquisições a serem realizadas durante o processo de determinação de dados.

Para o sensor BME280 da Adafruit é recomendado o uso das bibliotecas certificadas da empresa: Adafruit\_Sensor.h e Adafruit\_BME280.h. A primeira é uma biblioteca

de padronização de dados, para os sensores *Adafruit*, retornando valores comparáveis à qualquer outro sensor semelhante, permitindo a troca de modelos de sensor com pouco impacto no resto do sistema embarcado, ajudando a mitigar riscos, além de facilitar a transmissão e registo de dados. Para mais informações acesse: [Adafruit\\_Sensor.h](#).

Já a biblioteca `Adafruit_BME280.h` é voltada especificamente para o sensor. Dados e funções principais para o sistema:

- Endereço I2C: 0x76(padrão) ou 0x77;
- Classe: Adafruit\_BME280;
- Inicializador de parâmetros: `bool Adafruit_BME280::begin(uint8_t addr, TwoWire *theWire)` retorna nível lógico booleano de acordo com o sucesso da inicialização.
  - `addr`: Endereço I2C a ser usado;
  - `theWire`: utiliza biblioteca `Wire.h` para definição de portas, padrão & `Wire`;
- Leitura de dados:
  - Temperatura: `float Adafruit_BME280::readTemperature(void);`
  - Pressão: `float Adafruit_BME280::readPressure(void);`
  - Umidade `float Adafruit_BME280::readHumidity(void).`

As funções seguem o padrão do Sistema Internacional de Medidas para o processamento de dados, assim sendo, a temperatura é dada em Grau Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), umidade relativa em porcentagem (%) e pressão em hectoPascal (hPa).

O sensor BME280 já tem em seu sistema um IIR implementado, vide secção [5.1.1](#), e possui uma memória interna para armazenamento de constante de calibração. A implementação de software para a utilização de ambas características, também é contemplado na biblioteca escolhida. De acordo com [BOSCH \(2015\)](#), para a implementação de um sistema de monitoramento do clima as variáveis do sensor digital devem estar setadas como demonstrado na tabela [7](#).

Variável	Modo Sugerido
Modo de Operação	Forçada, 1 amostra por minuto
Configuração de sobreamostragem	pressão $x1$ , temperatura $x1$ e umidade $x1$
Filtro IIR	desligado

Tabela 7 – Configurações sugeridas para monitoramento do clima.

Com estas configurações o datasheet informa os seguinte parâmetros de performance:

- Consumo de corrente:  $0.1\mu\text{A}$
- Ruído RMS: 3.3 Pa / 30 cm e 0.07% RH
- Taxa de dados: 1/60 Hz

#### 5.1.5.2.3 Sensores de Detecção Solar

Para a aquisição de dados dos sensores LDR, utilizou-se novamente o filtro de média móvel exponencial, Apêndice L, de forma a conseguir uma média de leituras e reduzir a rápida oscilação da leitura analógica.

Com os dados filtrados são realizados os cálculos de 4 médias de valores: média sensores em cima, em baixo, à esquerda e à direita. Com essas 4 médias calculadas são realizadas as diferenças horizontais e verticais.

A diferença calculada servirá para determinação de necessidade de movimento vertical ou horizontal de acordo com uma tolerância estabelecida a partir do teste de bancada, apêndice J.2.1. Caso o módulo da diferença seja maior que a tolerância, será realizado o movimento de ajuste, seguindo a limitação de graus por tipo de movimento, Figura 41.

Utilizou-se a biblioteca `Servo.h`, do *Arduino IDE*, para o movimento dos servos motores, para referência acesse: [Servo.h](#).

#### 5.1.5.3 Protocolo de Comunicação

Para a comunicação da Estação de Monitoramento do Ar e o Zéfiro API, foi escolhido o protocolo *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), um protocolo de comunicação, máquina para máquina (M2M), com foco em internet das coisas, sendo um protocolo de mensagem com suporte para a comunicação assíncrona entre as partes. Essa característica desacopla o emissor e o receptor da mensagem tanto no espaço quanto no tempo e, portanto, é escalável em ambientes de rede que não são confiáveis.

O MQTT vêm sendo muito utilizado, por ser um protocolo leve, flexível, de baixo consumo de dados e possibilitar comunicação bilateral. Baseado no modelo de publicação e assinatura, o MQTT possui dois atores no sistema o Broker e o Cliente, o primeiro tem como função a filtragem de mensagens publicadas para os tópicos e envio ao inscritos de cada tópico, ele é o servidor intermediário da informação. Já o Cliente atua na postagem e recebimento, “publish” e “subscriber” respectivamente, podendo realizar unicamente uma função ou ambas, porém sempre sendo necessária a presença do Broker.

- **Transmissão de dados:** O protocolo MQTT utiliza o protocolo TCP para a transmissão de dados;

- **Qualidade de Serviço (QoS):** O MQTT possui três modos de entrega de mensagem a serem especificadas para o Broker:
  - QoS 0 - No máximo uma vez;
  - QoS 1 - Pelo menos uma vez;
  - QoS 2 - Exatamente uma vez.

#### 5.1.5.3.1 Broker Zéfiro

O Broker funciona como um *gateway*, intermediando a troca de dados entre o servidor e a estação. Existem opções de Brokers públicos, mas foi decidido a criação de um para o projeto por questões de segurança. O Broker foi desenvolvido junto do servidor, utilizando uma biblioteca em node ([Aedes](#)). Ele está disponível em [Zéfiro](#) na porta **1883**.

#### 5.1.5.3.2 Cliente - Servidor Zéfiro

O servidor além de utilizado como uma API Rest ele também é um cliente do Broker. O servidor tem três papéis como cliente: Enviar uma solicitação de leitura de dados, receber os dados de leitura ou receber uma estação nova.

O servidor possui um *cronjob* para solicitar uma leitura de dados da Estação Zéfiro. A publicação da solicitação se dará no tópico: [Zéfiro/\[Nome da Estação\]](#). Utilizando a Tabela 6 como referência, as requisições são definidas do seguinte modo:

Código	Período de requisição
00	Nos minutos finais 2, 4 e 8
01	A cada 10 minutos
10	A cada hora, das 6h as 18h
11	1 por hora, das 19h as 5h

Tabela 8 – Período de requisição para cada código.

Quando a Estação envia algum dado para o Broker, o servidor reconhece os dados enviados de acordo com o tópico em que foi publicado, vide apêndice M. Os tópicos que o servidor fica observando segue o padrão [Zéfiro/\[Nome da Estação\]/\[Código\]](#)

Na inicialização de cada estação será publicado os dados da estação no tópico [Zéfiro/Station](#). Quando o servidor receber algo nesse tópico ele irá criar uma nova estação no Banco de Dados caso não haja nenhuma com aquelas informações.

O servidor está disponível em [Zéfiro](#) na porta **3000**.

### 5.1.5.3.3 Cliente - Estação Zéfiro

O microcontrolador da nova estação irá se conectar ao Broker e enviar seus dados de identificação e os dados da primeira coleta para que o Servidor se inscreva nos tópicos para este nova estação. Após isso, deverá ser feita a inscrição no tópico criado pelo servidor para o envio dos comandos temporizados, vide secção [5.1.5.3.2](#).

Ao receber uma mensagem o microcontrolador realizar a rotina setada para o tipo de mensagem e em sequência enviará os dados coletados para um tópico pré-determinado.

Tópicos de submissão do cliente Estação Zéfiro:

- `Zefiro/[Nome da Estação/00]`: Para publicação quando mensagem recebida for `payload = "00"`;
- `Zefiro/[Nome da Estação/01]`: Para publicação quando mensagem recebida for `payload = "01"`;
- `Zefiro/[Nome da Estação/10]`: Para publicação quando mensagem recebida for `payload = "10"`;
- `Zefiro/[Nome da Estação/11]`: Para publicação quando mensagem recebida for `payload = "11"`.

### 5.1.5.4 Lógica do Sistema

Tendo em vista todo o processo de desenvolvimento do sistema embarcado, optou-se por representá-lo por meio de um diagrama de Máquina de Estados, Figura [22](#).

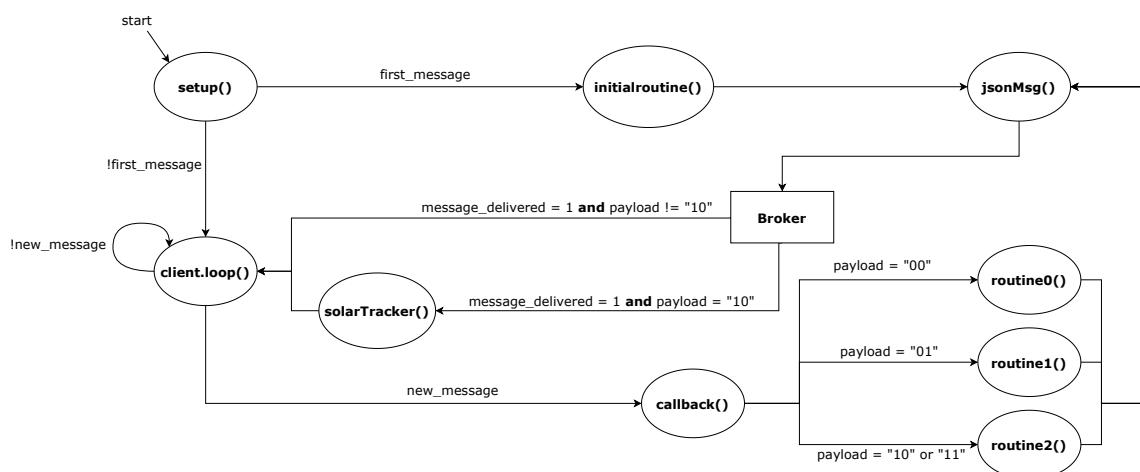


Figura 22 – Diagrama de Máquina de Estados do Sistema Embarcado da estação Zéfiro.

O sistema ao ser iniciado irá para o estado `setup`, onde será realizada a conexão do microcontrolador com a rede Wi-Fi e com o Broker,a inscrição do sistema nos tópicos

de publicação do servidor e a criação dos tópicos de publicação da própria Estação Zéfiro, além de das configurações das portas do microcontrolador serem setadas.

Caso seja a primeira iniciação do sistema, a variável `first_message` estará em nível lógico alto, acarretando na transição de estado para o estado `initialroutine` onde será realizada a aquisição de dados de todos os sensores de qualidade do ar e em seguida, por meio do estado `jsonMsg`, a mensagem de identificação da estação, vide Apêndice M.1, é enviada. Após o envio da mensagem o sistema aguarda a confirmação de entrega da mensagem, enviada do Broker.

O estado `client.loop` é uma espera por uma nova mensagem, onde o sistema fica em constante conferência de aviso de nova mensagem vinda do Broker, caso exista uma nova mensagem ocorre a transição para o estado `callback`. Esse estado realiza o processamento da mensagem recebida e de acordo com o conteúdo da mensagem é realizada a transição para uma das rotinas de aquisição de dados.

Os estados denominados como `routine0`, `routine1` e `routine2` realizam a aquisição de dados dos sensores de qualidade do ar, a sequência de processos que acontecem nesses estados estão no Apêndice N; os dados a serem lidos podem ser verificados no Apêndice M.2 e o processamento já foi explicado anteriormente na secção 5.1.5.2.1. Realizada a aquisição dos sensores de qualidade do ar, ocorre a transição para o estado `jsonMsg`.

Caso a mensagem recebida do servidor não seja “10” do estado `jsonMsg` é realizada a transição para o estado `client.loop`, porém se a mensagem do servidor for “10”, ao receber a confirmação da entrega dos novos dados o sistema, o sistema transiciona para o estado `solarTracker`, onde ocorre o rastreamento solar.

Para análise ao código acesse: [Zefiro Embedded System](#).

## 5.1.6 Painel Fotovoltaico

### 5.1.6.1 Irradiação Solar

A conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre pelos efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Entre esses, destacam-se os efeitos termoelétrico e fotovoltaico. O primeiro caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, em condições específicas. No segundo, os fôtons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica, por meio do uso de células solares.(ANEEL, 2005)

Neste trabalho, será tratado especificamente sobre o efeito da conversão de energia fotovoltaica. Para tanto, é necessário inicialmente compreender os conceitos de radiação e irradiação. A primeira é a energia liberada pelo Sol, sendo uma parte em forma de luz, a qual conseguimos perceber visualmente e outra parte em forma de infravermelhos (IV)

e ultravioletas (UV). Já a segunda, é a quantidade de radiação solar em determinado intervalo de tempo, e tem como unidade de medida o watt hora por metro quadrado ( $\text{Wh}/\text{m}^2$ ).

O entendimento do conceito de irradiação, bem como seu cálculo, é essencial para chegar aos entendimentos dos efeitos fotoelétricos, e, posteriormente do efeito fotovoltaico. O primeiro diz respeito à emissão de elétrons por um material quando exposto a uma radiação eletromagnética, em que se arranca elétrons da placa incidida, geralmente metálica.(LIMA, 2012) Já o efeito fotovoltaico, é a criação de uma tensão e corrente elétricas num material após sua exposição à luz. Este último explicita como as placas solares podem ser associadas a um sistema de geração de energia elétrica.

#### 5.1.6.1.1 Sistemas Fotovoltaico On-Grid e Off- Grid

A busca pela diversificação da matriz energética brasileira tem se tornado cada vez mais necessária, sendo motivada por dois principais fatores. Primeiramente pelo atual panorama energético, em que, com a diminuição das chuvas e consequente redução da energia gerada por hidrelétricas, associado à necessidade da utilização de termelétricas, aumentou-se, significativamente, o preço da energia. E ainda, pela necessidade de explorar recursos renováveis que trazem flexibilidade e sustentabilidade quando da sua utilização. Diante deste cenário, a energia solar fotovoltaica apresenta-se como uma tecnologia em constante avanço, no Brasil e no mundo. (ALMEIDA, 2016)

Os painéis solares, ou módulos, são os principais componentes do sistema fotovoltaico de geração de energia. Estes são formados por um conjunto de células fotovoltaicas associadas, eletricamente, em série e/ou paralelo, dependendo das tensões e/ou correntes determinadas em projeto. O conjunto destes módulos é chamado de gerador fotovoltaico e constituem a primeira parte do sistema, ou seja, são os responsáveis no processo de captação da irradiação solar e a sua transformação em energia elétrica.(PEREIRA, 2011)

O primeiro tipo de sistema fotovoltaico é o ON GRID, apresentado na Figura 23, que trabalha concomitantemente à rede elétrica da distribuidora de energia. De forma sucinta, o painel fotovoltaico gera energia elétrica em corrente contínua e, após convertê-la para corrente alternada, é injetada na rede de energia elétrica. Tal conversão se dá pela utilização do inversor de frequência, que realiza a interface entre o painel e a rede elétrica.(PEREIRA, 2011)

O segundo tipo de sistema fotovoltaico é o OFF GRID, apresentado na Figura 24, que não depende da rede elétrica convencional para funcionar, sendo possível sua utilização em localidades carentes de rede de distribuição elétrica. Existem dois tipos de autônomos: com armazenamento e sem armazenamento. O primeiro pode ser utilizado em carregamento de baterias de veículos elétricos, em iluminação pública e, até mesmo,

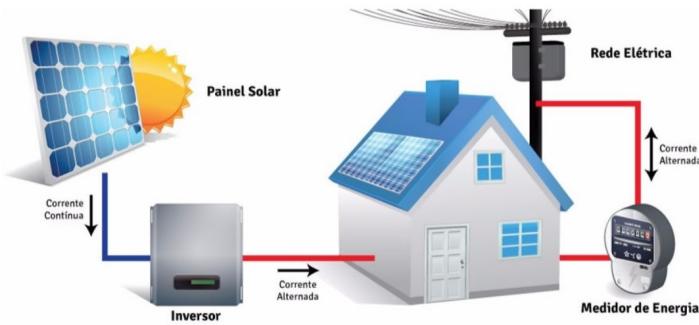


Figura 23 – Sistema Fotovoltaico ON GRID

em pequenos aparelhos portáteis.(GAZOLI, 2012) Enquanto o segundo, além de ser frequentemente utilizado em bombeamento de água, apresenta maior viabilidade econômica, já que não utiliza instrumentos para o armazenamento de energia.(PEREIRA, 2011)

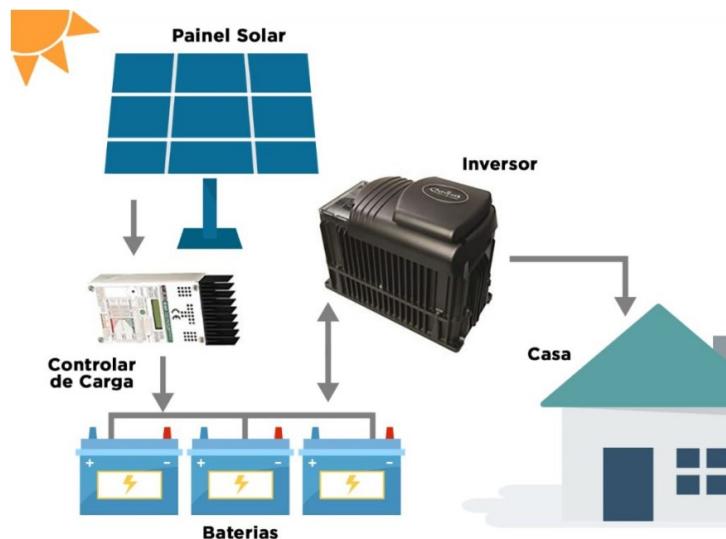


Figura 24 – Sistema Fotovoltaico OFF GRID

A associação de sistemas fotovoltaicos com demais fontes de energia fundamenta-se no sistema híbrido. O seu maior benefício é proporcionar eletricidade (armazenada nas baterias), na privação de sol, ou seja, em dias de baixa, ou nenhuma, geração. No entanto, é apontado como um sistema complexo, já que necessita integrar diversas formas de produção de energia elétrica, como motores à diesel ou gás, ou por geradores eólicos.(PEREIRA, 2011)

O tipo de sistema fotovoltaico utilizado para dimensionar o sistema de fornecimento de energia neste trabalho foi o OFF GRID com armazenamento. Realizou-se o dimensionamento da bateria, tendo como seu material o chumbo-ácido. Juntamente com o dimensionamento dos módulos (ou placas) fotovoltaicos necessários para o funcionamento

do sistema elétrico geral. Além disso, para o bom funcionamento da bateria, acopla-se um controlador de carga.

Os controladores de carga têm como principal função proteger os acumuladores, isto é, as baterias de sobrecargas do sistema. Além disso, se bem regulados, asseguram que o sistema opere em sua máxima eficiência. ([PEREIRA, 2011](#))

As baterias, ou acumuladores, entre os diversos sistemas, são mais utilizadas nos sistemas isolados da rede elétrica, ou seja, off grid. As baterias são dispositivos responsáveis por fazer o armazenamento da energia elétrica gerada pelos módulos, com o intuito de suprir a demanda da mesma na ausência da radiação solar. Com isso, podem ser consideradas de extrema importância, já que a radiação solar não ocorre nos períodos noturnos, e é reduzida em dias nublados. ([MELLO, 2008](#))

#### 5.1.6.1.2 Dimensionamento Fotovoltaico

Para realizar o dimensionamento fotovoltaico se definiu um local de referência para obtenção de dados de irradiação solar, e consequentemente a realização dos demais cálculos. O local de referência foi a Faculdade UnB Gama que se localiza na Região Administrativa do Gama, que fica a uma distância aproximada de 30km de Brasília-DF.

O dimensionamento deste projeto está dividido em consumo de carga, cálculo para definir os módulos fotovoltaicos e sua quantidade, cálculo para definir a quantidade de bateria e a definição do controlador de carga.

##### **Consumo de carga**

Para implantação do sistema fotovoltaico off-grid primeiramente foi feito um levantamento de carga dos equipamentos, como na Tabela 25 ([BARBOSA, 2018](#)). Após o levantamento do consumo de carga, se calculou a potência total em Wh diário, considerando o tempo de funcionamento de cada sensor, a potência consumida diariamente é de 42,7Wh, como pode ser observado na Tabela 26.

Tabela 1: Dados dos Equipamentos a serem utilizados

<b>Equipamentos</b>	<b>Tensão (V)</b>	<b>Corrente(A)</b>	<b>Potência (W)</b>
Adafruit BME280	5	$7,14 \times 10^{-4}$	$3,57 \times 10^{-3}$
Individual Sensor Board	5	$1 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3}$
LDR	3.3	0.03	0.1
Motor	6	0.43	2.58
ESP32	5	0.24	1.2
OPC-N3	5	0.18	0.9
Fan de Ventilação	12	0.18	2.16
<b>TOTAL</b>	<b>41,3</b>	<b>1.06</b>	

Fonte: Própria Autoria

Figura 25 – Dados dos Equipamentos a serem utilizados

Tabela 2: Consumo Diário em Wh de cada Sensor

<b>Equipamentos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Tempo(h)</b>	<b>Total (Wh)</b>
Adafruit BME280	1	$3,57 \times 10^{-3}$	24	0.08
Individual Sensor Board	5	$5 \times 10^{-3}$	24	0.6
LDR	4	0.1	12	4.8
Motor	3	2.58	0.1	0.75
ESP32	1	1.2	24	28.8
OPC-N3	1	0.9	24	5.42
Fan de Ventilação	1	2.16	1	2.16
<b>TOTAL</b>				<b>42,7</b>

Fonte: Própria Autoria

Figura 26 – Consumo Diário em Wh de cada Sensor

## Cálculo dos módulos

Para o dimensionamento solar se utilizou o método da insolação, para saber o potencial energético solar, ou seja, saber a quantidade de radiação solar incidente sobre o painel solar para que a energia gerada possa ser calculada. Para obtenção dos dados de irradiação, primeiramente se escolheu um provável lugar de instalação do sistema de monitoramento do ar, escolhemos o Campus da UnB Gama, que se localiza na Região Administrativa do Gama, localizado no Distrito Federal.

Com auxílio do Programa Google Earth foi possível obter as coordenadas de latitude e longitude, sendo  $15,98961^\circ$  ao Sul e  $48,0443975^\circ$  ao Oeste, sendo possível a obtenção

dos dados de irradiação solar anual disponibilizadas, fornecendo o ângulo da latitude e o maior e menor valor diário anual de irradiação solar, como pode ser observado na tabela 3, os dados foram obtidos com o auxílio da plataforma online do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. ([CRESESB, 2020](#))

<b>Ângulo</b>	<b>Inclinação</b>	<b>Irradiação solar diária média mensal [kWh/m<sup>2</sup>.dia]</b>													
		<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Maio</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Média</b>	<b>Delta</b>
Plano Horizontal	0° N	5,39	5,64	5,09	5,00	4,80	4,75	4,94	5,81	5,63	5,47	5,09	5,38	5,25	1,06
Ângulo igual a latitude	16° N	4,99	5,41	5,13	5,40	5,52	5,68	5,83	6,53	5,85	5,33	4,76	4,93	5,45	1,76
Maior média anual	18° N	4,92	5,36	5,12	5,42	5,59	5,78	5,92	6,59	5,85	5,30	4,71	4,85	5,45	1,88
Maior mínimo mensal	5° N	5,29	5,60	5,13	5,16	5,06	5,08	5,25	6,08	5,74	5,46	5,01	5,26	5,34	1,06

Figura 27 – Irradiação Solar no Plano Inclinado - Região Administrativa do Gama-DF

A partir dos dados de piores índices de irradiação se calculou uma média da irradiação solar diária para saber as horas de sol pleno (HSP) da Faculdade do Gama, para poder dimensionar o modelo e quantidade de painel solar para o projeto:

$$HSP = \frac{4.71 + 4.75 + 4.76}{3} = 4.74 \text{ KwH/m}^2\text{dia} \quad (5.7)$$

Neste dimensionamento o cenário considerado foi a partir da média dos piores índices de irradiação solar, sendo a inclinação de pior irradiação o de 18°. As características do módulo também devem ser levadas em consideração para melhor geração de energia, o módulo escolhido foi da Decibel (Indústria e Comércio LTDA) por melhor se adequar ao projeto, as informações do painel podem ser observadas na Tabela 28

Painel Solar Fotovoltaico Decibel- 12V15W	
Potência	15W
Voltagem de Máxima Potência (Vmp)	17.5V
Corrente de Máxima Potência (Vmp)	0.86A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	21V
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	0.93A
Área	0.385mx0.345 m
Eficiência	11.2%

Figura 28 – Dados da Placa Solar a ser utilizada no dimensionamento

Considerando a média da insolação escolhida e as características dos módulos é possível saber a média de geração diária do sistema, ou seja, quanto de energia será gerada a partir do módulo fotovoltaico. ([BARBOSA, 2018](#))

$$E_p = E_s * A_m * \eta_m \quad (5.8)$$

onde,

$E_p$  é a Energia produzida pelo módulo diariamente (Wh),  $E_s$  é a média da insolação diária ( $\text{Wh}/\text{m}^2 \text{ dia}$ ),  $A_m$  é a área de superfície do módulo ( $\text{m}^2$ ) e  $m$  é a eficiência do Módulo ( $\text{m}^2$ ).

A partir da equação 5.8 e com os dados fornecidos no datasheet da placa solar é possível calcular a quantidade de energia gerada pelo sistema, desse modo temos:

$$E_p = 4740 * (0.385m * 0.345m) * 0.112 = 70.6\text{Wh} \quad (5.9)$$

A partir da energia produzida pelo módulo diariamente e a energia consumida pelo sistema é possível calcular o número de módulos:

$$N = \frac{E_c}{E_p} = \frac{42.7}{70.6} = 0.60 \quad (5.10)$$

De acordo com os cálculos será necessário aproximadamente 0.60 módulos para abastecer o sistema, sendo assim foi feita uma aproximação para 1 módulo de 15W.

### Cálculo das baterias

O cálculo da bateria permite determinar a quantidade de baterias e os tipos de bateria que será utilizado no sistema para o armazenamento da energia de modo que o consumo demandado seja atingido. As equações utilizadas para o dimensionamento são a da energia armazenada, capacidade de carga do banco e a quantidade de bateria.

Para o cálculo da energia armazenada se considerou um sistema que tenha autonomia de 3 dias e a descarga máxima da bateria de 99%.

$$E_a = \frac{n_{aut}^\circ * Energia_{consumida}}{D} \quad (5.11)$$

onde,

$E_a$  é a energia armazenada,  $n^\circ_{aut}$  é o número de dias de autonomia,  $E_{consumo}$  é a energia consumida e  $D$  é a descarga máxima da bateria.

Substituindo os valores na equação tem-se:

$$E_a = \frac{3 * 42.7}{0.99} = 129.4\text{Wh} \quad (5.12)$$

A capacidade do banco de baterias será de

$$C_{banco} = \frac{E_a}{V_{sit}} \quad (5.13)$$

onde,

$C_{banco}$  é a capacidade do banco de baterias,  $E_a$  é a energia armazenada e  $V_{sit}$  é a tensão do sistema.

$$C_{banco} = \frac{129.4}{41.3} = 3.13Ah \quad (5.14)$$

Sendo assim, o banco de baterias será composto por uma bateria de 12V, apesar do cálculo recomendar uma bateria de 3.13 Ah, a bateria utilizada para o projeto será uma de 7Ah, por se tratar de um sistema off-grid de energia a escolha da bateria deve se observar sua aplicação para sistemas de energia solar e monitoramento remoto, ao realizar buscas de baterias que se adequasse ao projeto a de amperagem mais próximo do nosso dimensionamento encontramos somente a de 7Ah, as especificações da bateria se encontram na Tabela 29.

Bateria 12V7Ah- BAT 0070122	
Tensão	12V
Capacidade	7Ah
Tensão de Flutuação	De 13.5V a 13.7 V
Tensão de Carga/ Equalização	De 14.5V a 14.7 V
Dimensão	(151x100x65) mm
Peso	2.45 kg ± 10%

Figura 29 – Dados da Bateria a ser utilizada no Sistema

O controlador de carga é responsável pela vida útil da bateria, sua função é monitorar o nível de tensão da bateria e partir desse nível conectá-la ao painel ou ao sistema. Para melhor definir o controlador é preciso saber a corrente do lado do consumo de carga e do painel.(SOUZA, 2013)

A corrente de consumo do sistema é de 1,06 A como pode ser observado na Tabela 30, enquanto a corrente do painel é de 5A, sendo assim o controlador de carga escolhido é o modelo D408 de 6A da DECIBEL LTDA, este controlador de carga vem juntamente com o painel fotovoltaico.

### Montagem do sistema

Após a escolha do painel solar, definição de controlador de carga e bateria que irão alimentar a carga do sistema, Figura 30, sabe-se que o painel será de 15W, a bateria será de 7Ah com autonomia de duração de 3 dias, no caso de dias nublados. O controlador de carga serve para proteger o sistema de sobrecargas.

### Diagrama Unifilar de Alimentação do Sistema

<b>Controlador de Carga D408-6</b>	
Tensão Máxima do Painel	20V
Corrente Máxima da Carga	6.5Ah
Máxima Corrente da Carga	6A
Tensão Minima de Operação	7V
Consumo Interno de Corrente	13 a 20mA
Corrente de Fuga Reversa Noturna	0mA
Quedas de Tensão -Célula/Bateria	0.4V
Quedas de Tensão -Bateria/Carga	0.3V
Desconexão de Carga por Tensão Baixa (LVD)	11.5V
Reconexão por LVD	12.6V
Atraso por LVD	2 segundos
Regulagem de Tensão Constante de Bateria Selada	14.1V
Regulagem de Tensão Constante de Bateria Convencional	14.4V
Coeficiente de Compensação de Temperatura ref. 25°C	-28mV/°C
Dimensão	(44x62x156) mm

Figura 30 – Dados do Controlador a ser utilizada no Sistema

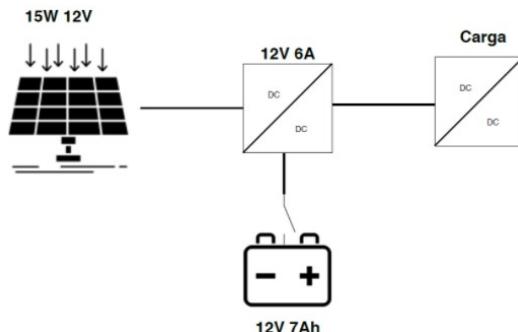


Figura 31 – Sistema Off-Grid da Estação de Monitoramento do Ar

Realizou-se a criação do Diagrama unifilar de alimentação do sistema, este está presente no Apêndice O.

### 5.1.7 Alimentação Sistema Elétrico

O sistema elétrico confeccionado exige diferentes tensões para alimentar os módulos projetados, sendo elas: 12V, 6V e 5V. A Tabela 25 apresenta onde cada uma dessas 3 tensões requeridas são utilizadas.

O sistema de alimentação faz uso de uma bateria de 12V, como mencionado anteriormente. Para atender os demais requisitos de alimentação faz-se uso de uma conversão da tensão de 12V em 6V e 5V. O esquemático do circuito para gerar essa conversão é apresentado na Figura 32.

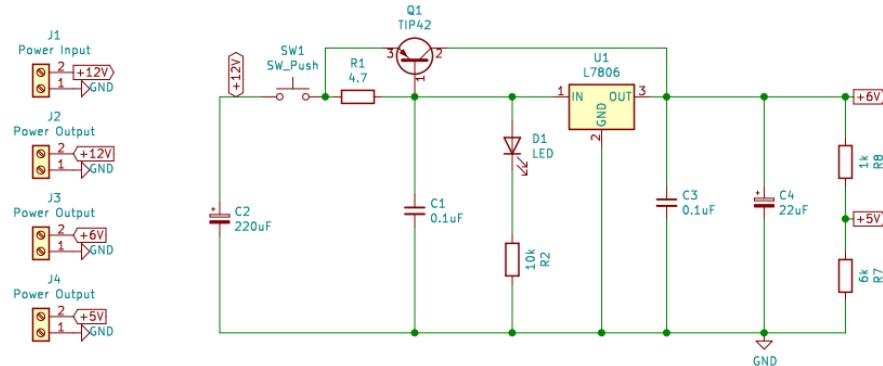


Figura 32 – Esquemático Conversor de Tensão

O circuito possui um regulador de tensão para regular a tensão de 12V para 6V e posteriormente, um divisor de tensão para obter uma saída de 5V a partir da tensão de 6V. É possível observar no esquemático do circuito que existe a presença de um botão e de um LED. O botão tem o objetivo de ligar e desligar o Zéfiro e o led indica quando o dispositivo está ligado, emitindo uma luz verde quando este está em funcionamento.

O resultado da simulação do circuito pode ser observado na Figura 33, onde é demonstrado o seu funcionamento de maneira eficiente.

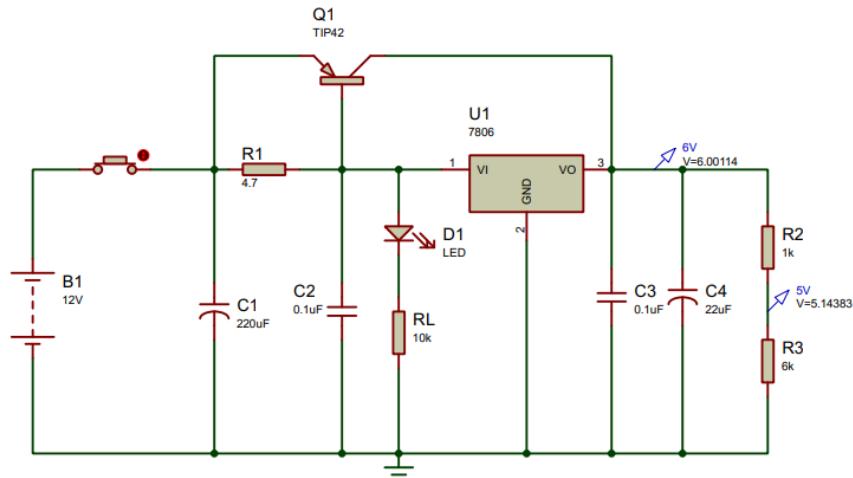
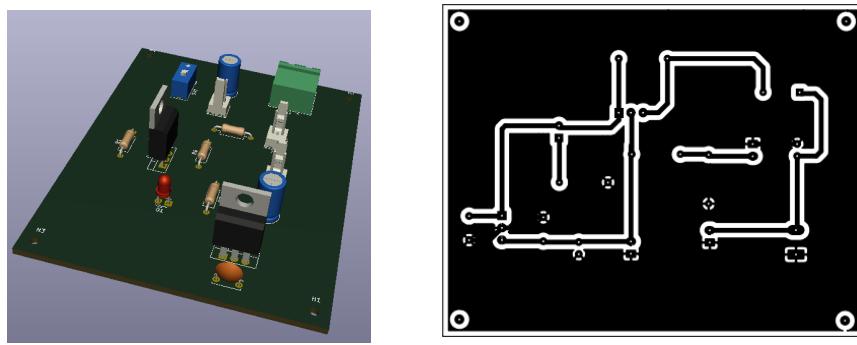


Figura 33 – Simulação Conversor de Tensão

Com a simulação resultando nas tensões esperadas desenvolve-se a PCI para a fonte simétrica. A Figura 34 apresenta o modelo 3D e a máscara para aplicação no cobre.



(a) Design 3D

(b) Máscara para PCI

Figura 34 – Conversor de Tensão.

### 5.1.8 Diagrama e Esquemático Elétrico Geral

O Diagrama presente no Apêndice G apresenta o diagrama do sistema elétrico apresentando a comunicação entre os blocos, alimentação de cada bloco.

Utilizando este diagrama como base foi mais simples desenvolver o esquemático geral do sistema, Apêndice H, onde são apresentados os módulos com suas entradas e saídas.

### 5.1.9 Dimensionamento dos Fios

O dimensionamento dos cabos fotovoltaicos é realizado observando-se sempre critérios de Normas Brasileiras Regulamentadoras a respeito do funcionamento de placas fotovoltaicas. O primeiro cálculo realizado objetiva conhecer o valor da bitola do cabo e é definido da seguinte maneira:

$$S = N * Isc \quad (5.15)$$

- S: Seção do Fio
- N: Número de Strings
- Isc: Corrente de Curto- Circuito
- S:  $1 \cdot 0.93 = 0.93A$

A bitola do fio de acordo com sua seção, de acordo com a NBR 5410, Figura 35, é de  $0.5\text{mm}^2$ .

TABELA DE CONDUTORES, DE ACORDO COM A CAPACIDADE DE CORRENTE ELÉTRICA	
SEÇÃO DO CONDUTOR (mm <sup>2</sup> )	CORRENTE ELÉTRICA (A)
0,50	6
0,75	10
1,00	12
1,50	15,5
2,50	21
4,00	28
6,00	36
10,00	50
16,00	68
25,00	89
35,00	111
50,00	134
70,00	171
95,00	207
120,00	239

\*Escala métrica NBR 70C

Figura 35 – Condutores de Acordo com a Capacidade de Corrente Elétrica (NBR 5410).

Para finalizar os cálculos de dimensionamento dos cabos fotovoltaicos, necessita-se saber qual a queda de tensão máxima permitida aplicada à este projeto. Segundo a NBR 5410:

“Limites de queda de tensão fixados pela NBR 5410: 4% para as instalações alimentadas diretamente pela rede de distribuição pública de baixa tensão; e 7% para as instalações que contam com subestação própria ou com geração própria. Além disso, a queda de tensão máxima admissível nos circuitos terminais é de 4%.”

Considerando a NBR acima, seguem os cálculos para descobrir a máxima queda de tensão permitida no presente projeto:

$$V_{mp} = \text{Tensão máxima permitida} = 17,5V \quad (5.16)$$

$$\text{NBR 5410: } 4\% \text{ de } 17,5V = 0,7V \quad (5.17)$$

$$\text{Máxima tensão de queda permitida} = 16,8V \quad (5.18)$$

### 5.1.10 Rastreador Solar

Os rastreadores solares são os únicos capazes de acompanhar o movimento do sol, a partir de um único ponto de referência ou a partir de dois pontos de referência. O

seguir solar de um eixo segue apenas o movimento do sol, enquanto o seguidor duplo se movimenta de leste para oeste e de norte a sul.

Os tipos de rastreadores solar, segundo (MEDEIROS, 2016) de dois eixos com ajuste de inclinação sendo:

Rastreador de eixo vertical: eixo de norte-sul com o eixo do zênite, conhecido como rastreador de azimute do sol;

Rastreador de eixo horizontal: orientado em paralelo à superfície da terra, pode ser orientado de leste-oeste ou norte-sul;

Rastreador azimute-elevação: tem dois eixos de movimento, podendo gerar um melhor rendimento na captação de radiação solar, porém é necessário correção angular a partir do ângulo de azimute (Z) e o ângulo de elevação (H).

O sistema de dimensionamento do Zéfiro será feito com um rastreador azimute/elevação, Figura 36 , onde o sistema se movimenta a partir do eixo de rotação e translação, tendo o sol como referência , o fuso horário e dia no ano local. (CARVALHO, 2015)

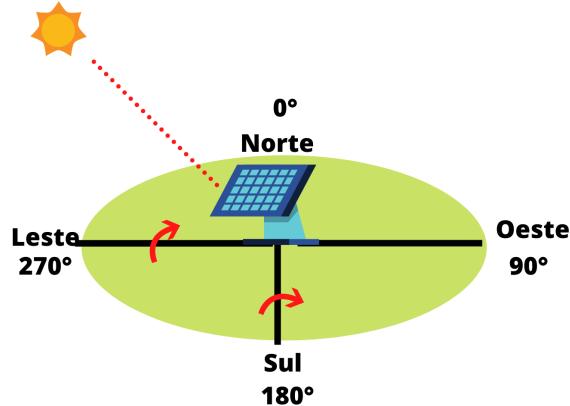


Figura 36 – Modelo Rastreado Azimute-Elevação.

A partir do Local Standard Time Meridian (LSTM) é feita a compensação do fuso local pela equação 5.19:

$$LSTM = 15^\circ TGMT \quad (5.19)$$

Onde, TGMT é a diferença entre o fuso horário local com relação ao fuso horário do meridiano de Greenwich. Outro ponto que deve ser considerado é a trajetória do sol (EoT) que tem como finalidade corrigir a excentricidade da órbita terrestre.

$$EoT = 9.37\sin(2B) - 7.53\cos(B) - 1.5\sin(B) \quad (5.20)$$

$$B = \frac{360}{365} \cdot (d - 81) \quad (5.21)$$

em que d é o número de dias do ano.

A partir da compensação do fuso local e a longitude do ambiente é possível obter o fator de correção:

$$TC = 4 \cdot (Longitude - LSTM) + EoT \quad (5.22)$$

O horário solar local (LST) é obtido a partir do horário local (LT) definido e do fator de correção

A partir da compensação do fuso local e a longitude do ambiente é possível obter o fator de correção:

$$LST = LT + TC \quad (5.23)$$

Para converter os dados obtidos em valor angular é necessário passar todos os dados em horário angular (HRA):

$$HRA = 15^\circ (LST - 12) \quad (5.24)$$

Com os dados em valor angular é possível obter o ângulo de declinação, que varia a cada estação do ano, ou seja, quando se inicia uma nova estação a incidência dos raios solares da Terra mudam, com isso nos período de equinócio o ângulo de declinação é considerado igual a  $0^\circ$ , enquanto para os períodos de solstício o ângulo deve ser calculado conforme a equação 6, onde d é o número de dias do ano e  $\alpha = 23,45^\circ$  é utilizado para os meses de solstícios que é de junho a dezembro.

$$\delta = \sin^{-1}(\sin(\alpha) \sin((\frac{360}{365})(d - 81))) \quad (5.25)$$

Onde  $\alpha = 0^\circ$  ou  $23,45^\circ$

A partir do ângulo de elevação é possível calcular a altura (H) da placa solar, equação 7, e o azimute solar de rotação (Z), equação 8, ou seja, para cada hora do dia o azimute/elevação muda de acordo com os ângulos obtidos pela equação 5.26 e 5.27:

$$H = \sin^{-1}[\sin(\varphi) + \cos(\delta) \cos(\varphi) \cos(HRA)] \quad (5.26)$$

$$Z = \cos^{-1}[\sin(\theta) - \cos(\delta) \cos(\theta) \cos(HRA)] \quad (5.27)$$

Para analisar o comportamento da placa solar a partir das equações utilizadas que determinam seu grau de deslocamento, se escolheu o dia 22/10/2020 para, primeiramente realizar o cálculo de forma analítica, os resultados obtidos podem ser vistos na Figura 37.

HORÁRIO	AZIMUTE(Z)	ALTURA(H)
06h00	113°	45°
07h00	115,21°	56°
08h00	116°	67°
09h00	117°	68°
10h00	116°	60°
11h00	113°	48°
12h00	110°	34°
13h00	106°	20°
14h00	103°	6°
15h00	99°	-7°
16h00	95°	-22°
17h00	91°	-37°
18h00	88°	-54°

Figura 37 – Resultados obtidos de forma analítico para o dia 22/10/2020.

A partir da tabela 38 foi possível compreender o sistema de mecanismo de funcionamento de movimentação da placa solar para um dia, sendo assim se criou um modelo no Excel, Figura 38 , para observar o comportamento da mudança do azimute/elevação para cada dia do ano, pois para cada dia do ano o ângulo de incidência muda, além do mais de janeiro a maio o ângulo do ângulo de declinação é igual a 0°, enquanto de junho a dezembro o é igual a  $\alpha = 23,45^\circ$ , interferindo na posição de elevação e de rotação dos eixos da placa solar.

Dias do Ano	Hora
1	6
2	7
3	8
4	9
5	10
6	11
7	12
8	13
9	14
10	15
11	16
12	17
13	18
14	
15	
16	Eq. Ou Sol
17	0
18	23.45
19	
20	
21	
22	

Dia	292	Equinocio ou Solsticio	23.45
Hora	9	HRA	364.4494449
LSTM	45	Ang. Declinação	-10.80676429
Delta T	3		
EoT	15.13662966	Latitude	15.98
B	208.109589	Altura	68.07699318
TC	27.29662966		
Longitude	48.04		
LST	36.29662966		

Eq. Ou Sol	Fórmulas, não efetuar modificação
0	Dados fornecidos
23.45	

Figura 38 – Modelo Matemático das Equações de Azimute-Elevação em Excel para os 365 dias do ano.

## 5.2 Solução de Estrutura

O sistema de monitoramento do ar tem como características a facilidade de instalação, operação e manutenção de seus componentes. Dessa forma, o equipamento deve ser leve, de fácil acesso a componentes internos e, ao mesmo tempo, resistente quando submetido à diversas condições ambientais, como: exposição ao Sol, chuva, rajadas de vento, entre outros. Tais características, tornam o dispositivo portátil o suficiente para a instalação em diferentes regiões, de forma a mapear a qualidade do ar de uma área significativamente maior.

O design estrutural do Zéfiro foi desenvolvido para atender às necessidades de melhor captura dos poluentes atmosféricos. Além disso, tal design favorece a proteção do equipamento como um todo. A partir desses conceitos, foi realizada a seleção dos materiais que compõe a estrutura, assim como as informações para auxiliar na sua fabricação e as simulações.

### 5.2.1 Design Final

Com a definição dos componentes internos, foi possível elaborar o Design Final da estação Zéfiro, levando em consideração às necessidades estipuladas para leitura dos dados pelos sensores. Os desenhos técnicos da Estação Zéfiro estão presentes no Apêndice Q.

#### 5.2.1.1 Visualização externa e interna

A Figura 39 apresenta a estrutura externa da estação Zéfiro que será fixada em um poste. Composta por um gabinete onde estão instalados o sistema de alimentação e sen-

soriamento, e na parte frontal desse gabinete, uma plataforma móvel onde será instalado o painel solar.

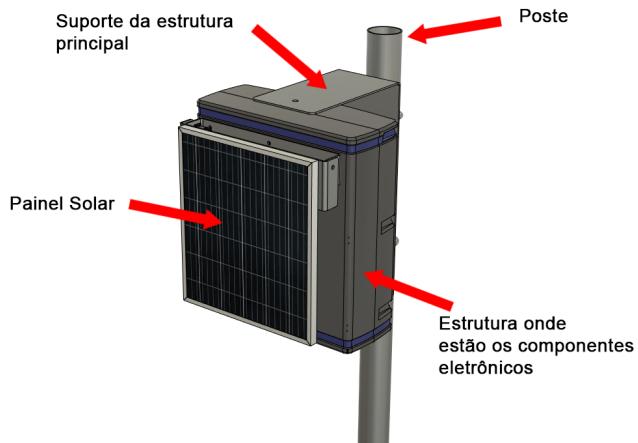


Figura 39 – Estrutura externa da estação Zéfiro

Internamente a torre é dividida em dois espaços: um aloja os circuitos eletrônicos auxiliares e o microcontrolador, Figura 40a, e o outro é um túnel de vento onde os sensores analisarão a qualidade do ar circundante, Figura 40b.

Por fim, a Figura 40c apresenta a disposição dos sensores utilizados para aquisição da qualidade do ar. Vale ressaltar que o sensor OPC-N3 tem seu próprio sistema de ventilação forçada, não necessitando da conexão no duto.

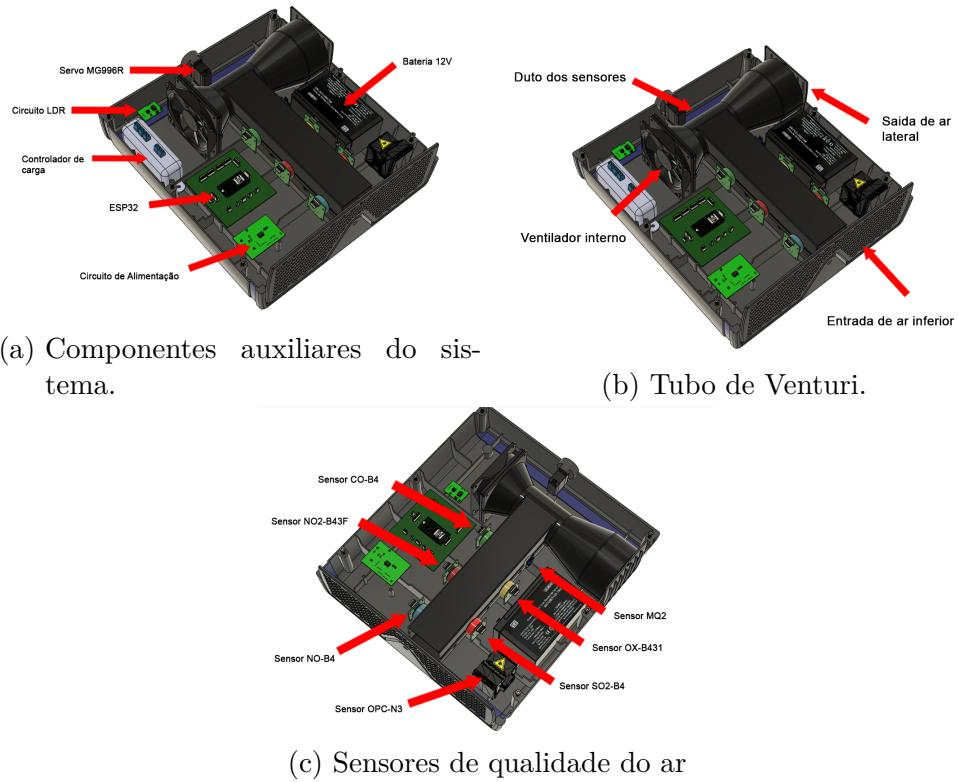


Figura 40 – Estrutura interna e disposição dos componentes.

### 5.2.1.2 Movimentação do Painel Solar

Para melhor eficiência na aquisição de energia pelo painel solar, é indicado que o sistema tenha dois graus de liberdade. Desta forma, foi implementada uma plataforma móvel para movimento vertical da placa fotovoltaica (Figura 41a) e o gabinete será montado sobre um suporte que dará à estação um segundo grau de liberdade (Figura 41b).

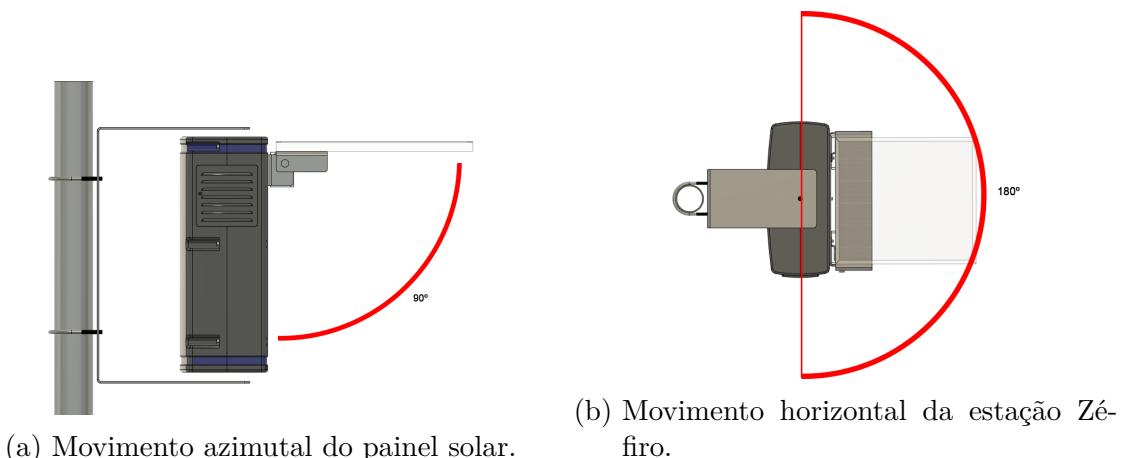


Figura 41 – Apresentação dos graus de liberdade para o sensoriamento solar.

### 5.2.2 Método de Fabricação

Para o processo de fabricação do protótipo e dos componentes referentes à estrutura externa e duto interno de circulação, serão utilizadas técnicas e tecnologia de manufatura aditiva por deposição em camadas, conhecida popularmente por Impressão 3D. Será utilizada uma impressora IZZE-3D CuBe XL Pro com volume de 700x500x450 mm com ambiente controlado de impressão.

No processo de inclusão dos insertos de bronze com rosca, será utilizado, também, uma máquina IZZE-BI, com a finalidade de criar conexões parafusadas na estrutura, que possibilitem a manutenção sem desgaste nas partes plásticas devido ao processo de montagem e desmontagens regulares.

Nos componentes que serão fabricados por manufatura aditiva será utilizado o polímero ASA, ele possuir proteção contra raios UV e boa resistência a soluções químicas em geral, sendo a melhor alternativa para aplicações em ambientes externos desprovidos de abrigo.

Para os componentes estruturais metálicos referentes aos suportes da estrutura e do painel solar, serão utilizadas ligas de aço inoxidável AISI 304 para evitar altos graus de oxidação, provocado por intempéries referentes a utilização do equipamento em ambiente externo desprovido de abrigo.

As peças metálicas da estrutura serão fabricadas por corte a laser e conformação mecânica fornecidos pela Naoko Metalúrgica<sup>TM</sup>.

Como uma segunda forma de produção voltada à larga escala e distribuição do produto em nível nacional, serão utilizadas matrizes de injeção para um processo automatizado. Devido ao volume e quantidade de material utilizado em cada peça da estrutura, será confeccionado uma matriz metálica com apenas uma cavidade com o princípio de viabilizar a injeção em uma maior gama de maquinários.

### 5.2.3 Cálculos e simulações

#### 5.2.3.1 Simulação térmica

A análise térmica nessa seção tem como objetivo verificar o comportamento da radiação solar na estrutura e conferir a temperatura que será alcançada nas superfícies externas. A influência externa da temperatura é necessária para definir limites, faixas de operação e tipos de materiais para utilizar no sistema embarcado e também na própria estrutura, para garantir a integridade física do produto. Para essa análise, diferente da análise preliminar, a carga de radiação solar vai ser considerada. A intensidade solar em Brasília para essa simulação foi obtida pelo banco de dados fornecido pela ferramenta do *Ansys workbench* chamada *Solar Loading Calculator* que faz parte do ambiente de

trabalho com fluidos *Fluent*. Esses dados foram conferidos com os dados do [ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL \(2020\)](#) fornecidos pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB).

A geometria foi simplificada para poupar custos computacionais. A simplificação consistiu em retirar bordas pequenas, arredondamentos, buracos e outros detalhes, que dificultam a criação da malha, como é possível ver na Figura 42. Com a geometria simplificada, a malha foi criada utilizando a ferramenta *Enclosure* para criar o ambiente. Com 10mm como tamanho específico de elemento não-forçado, a malha gerada tem 853.568 Nodes e 4.779.446 Elementos, todos os outros parâmetros foram controlados pelo programa.

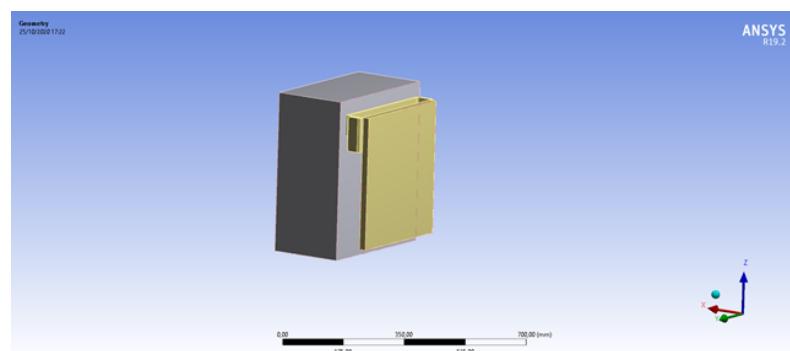


Figura 42 – Geometria Simplificada

A qualidade da malha foi garantida utilizando como métrica a Skewness (distorção) máxima de 0,9 como pode ser verificado na Figura 43. Os elementos respeitando a métrica, em sua maioria, ficaram entre 0 e 0,4 de deformação.

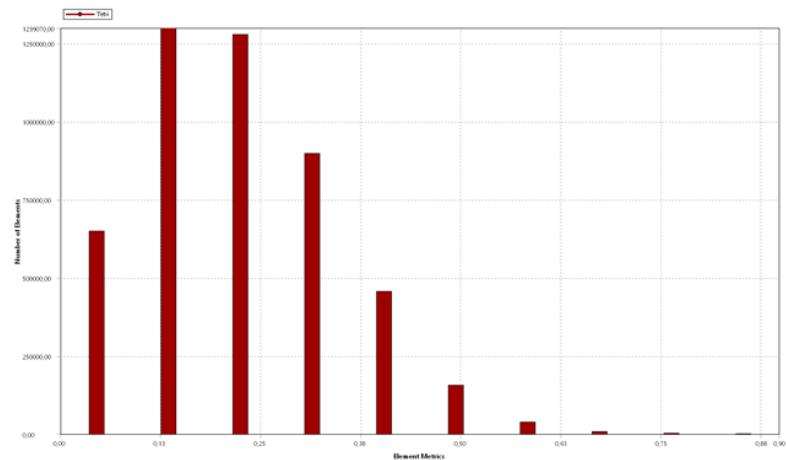


Figura 43 – Gráfico de deformação dos elementos “Skewness”

O método de solução utilizado foi o “Discrete Ordinates” para modelos de radiação. Esse método é uma boa escolha para análises com objetos opacos. ([ANSYS, INC., 2009](#))

E seu grupo de formulação contribui para o tipo de geometria e análise proposta. Abaixo é possível verificar as equações utilizadas para a solução pelo Fluent.

- Emissão da superfície da parede:

$$e_s = n^2 \epsilon_w \sigma T_w^4 \quad (5.28)$$

- Energia difusa refletida:

$$d_r = f_d(1 - \epsilon_w)q_i \quad (5.29)$$

- Energia especular refletida:

$$s_r = (1 - f_d)(1 - \epsilon_w)q_i \quad (5.30)$$

- Absorção na superfície da parede:

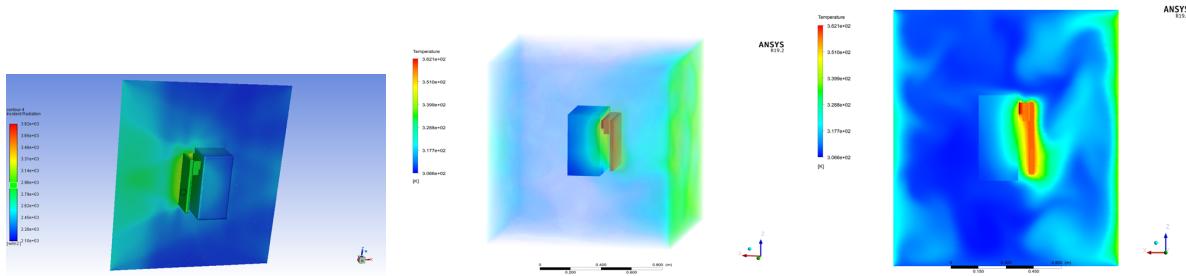
$$a_w = \epsilon_w q_i \quad (5.31)$$

Onde  $f_d$  é a fração difusa,  $n$  é o índice refrativo do meio adjacente,  $\epsilon_w$  é a emissividade da parede,  $\sigma$  é a constante de Boltzmann, e  $T_w$  é a temperatura da parede. Em [ANSYS, Inc. \(2009\)](#) é possível verificar a descrição completa sobre como o método “Discrete Ordinates” funciona é encontrada no “user’s guide” do ansys.

A solução foi caracterizada para a situação de incidência solar em Brasília com coordenadas de latitude  $-15,98961^\circ$  e longitude  $-48,0443975^\circ$ . Já considerando o caso mais extremo onde não haverá ventos fortes para refrigerar e o sistema de refrigeração interno também não será considerado, dessa maneira é possível determinar se os materiais escolhidos suportam a condição menos favorável. Se suportar essa condição, então não há necessidade da inclusão de outros detalhes na análise, pois a intenção é concluir se a temperatura será um problema ou não.

A incidência de radiação na Figura 44a é específica do mês de junho coletada as 13 hrs de um dia com céu completamente limpo e considerando temperatura ambiente de 300 Kelvin ( $\sim 27^\circ\text{C}$ ). A máxima incidência mostrada na legenda não é vista na imagem com clareza porque é um ponto de concentração causado pela malha, mas conseguimos visualizar com facilidade a distribuição da radiação solar na estrutura que está de frente para o sol (Marcações em verde). Com essa incidência solar, a temperatura pode ser verificada na Figura 44b.

Percebe-se que a placa fotovoltaica absorve bastante calor chegando à temperatura de 360 Kelvin ( $86,85^\circ\text{C}$ ) e também transmite parte desse calor para o gabinete. Portanto, com os parâmetros apresentados da incidência solar, podemos garantir a integridade física do painel solar e da estrutura.



(a) Incidência de radiação (Sol à esquerda). (b) Vista volumétrica da temperatura (Sol à direita). (c) Vista 2D da distribuição de temperatura (Sol à direita).

Figura 44 – Resultado da Simulação Térmica

O gabinete não absorve calor tão rápido como a placa, mas ainda absorve o suficiente para chegar à temperatura de 340 Kelvin (66,85°C) no contato com o alumínio do suporte da placa fotovoltaica. Já dentro da caixa a temperatura chega no máximo de 320 Kelvin (46,85°C) e mantém a média menor que 45°C no restante da estrutura do gabinete.

Os eletrônicos escolhidos suportam as temperaturas apresentadas e pelas especificações técnicas não vão sofrer danos na PCI, Apêndice K. Qualquer desvio de aferição no sensoriamento pode ser evitada com tratamento de dados para eliminar os possíveis ruídos digitais.

### 5.2.3.2 Simulação do duto de Venturi

Os sensores de gás precisam de um ambiente controlado e uma circulação constante de ar sobre eles de modo a sempre realizar uma leitura atualizada da massa de ar. Foi desenvolvido um tubo de Venturi para gerar uma vazão necessária para o ambiente controlado.

O tubo Venturi apresenta na entrada um fan de 120 mm de diâmetro com o fluxo mássico de 42,69 g/s. Nas condições de operação o escoamento é incompressível devido a baixa velocidade, de 3,31 m/s considerando o ar com densidade de 1.225 kg/m<sup>3</sup> e sem variação de temperatura.

O tubo foi simulado usando o software Ansys Fluent, usando o solucionador baseado em densidade e com o modelo de turbulência k-ômega. Devido ao domínio a ser simulado ser um escoamento interno na entrada do Venturi, foi colocado uma velocidade no valor de 3,31 m/s e na entrada do tubo onde estão instalados os sensores, uma condição de pressão com o valor da pressão externa. Na saída do Venturi, foi adicionado uma saída de pressão no valor da pressão externa e as demais regiões, contorno de parede. A princípio foi feita uma simulação 2D, secção 5.2.3.2.1, de modo a ver o comportamento preliminar do fluido de trabalho e posteriormente foi feita uma simulação 3D, secção 5.2.3.2.2, em

que foi analisado o comportamento detectado na 2D.

#### 5.2.3.2.1 Simulação 2D

Com as condições de contorno inicialmente definidas, foram obtidos os campos de pressão, velocidade, vorticidade e linhas de trajetória. O objetivo da simulação 2D foi encontrar presença de regiões de recirculação do escoamento.

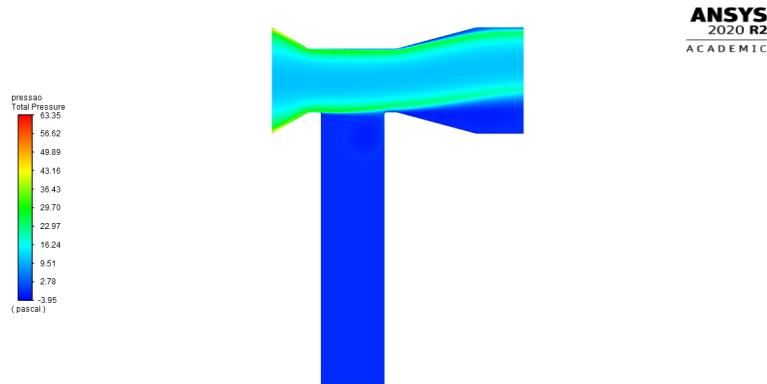


Figura 45 – Campo de Pressão total em 2D.

No campo de pressão, Figura 45, é visível uma sucção de 3.85 Pa no duto onde serão localizados os sensores de gás, não mostra zonas de baixa pressão, ou seja, se houver zonas de recirculação, elas não geram gradientes de pressão significativos que interferem a pressão do sistema.

Já na Figura 46, é apresentando o campo de velocidade, onde é possível visualizar uma região de recirculação na junção do tubo de leitura com o Venturi, devendo ser analisado os campos de vorticidade e as linhas de trajetória para definir a zona de interferência da recirculação.

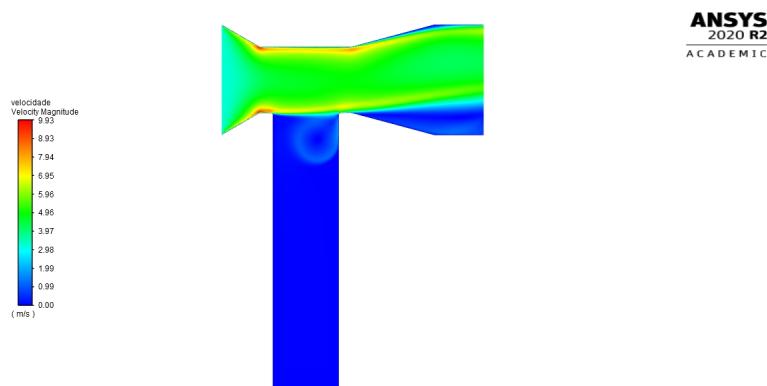


Figura 46 – Campo de Velocidade em 2D.

No campo vetorial, Figura 47, é possível ver a região onde a vorticidade apresenta um valor constante, onde é adequada a posição dos sensores. Na zona de recirculação, apresenta uma vorticidade com um valor mais elevado, alterando a precisão da leitura dos sensores.

Na Figura 48, é apresentada, por meio da trajetória do escoamento, a zona de interferência da recirculação gerada na junção dos dois tubos. Entretanto, é necessária uma visualização das linhas 3D para analisar a real magnitude da zona de recirculação.

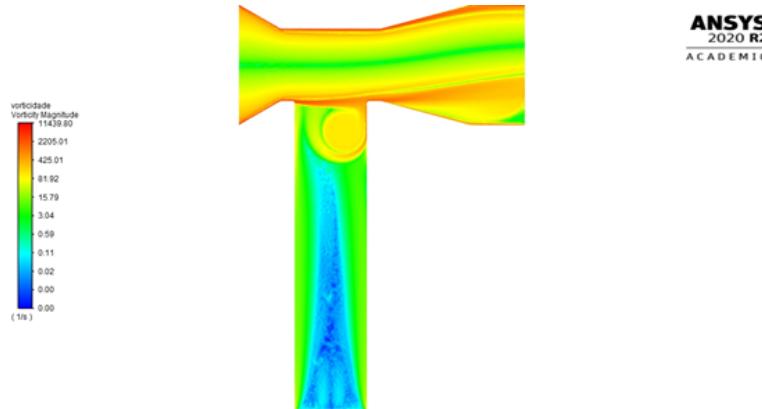


Figura 47 – Campo de vorticidade.

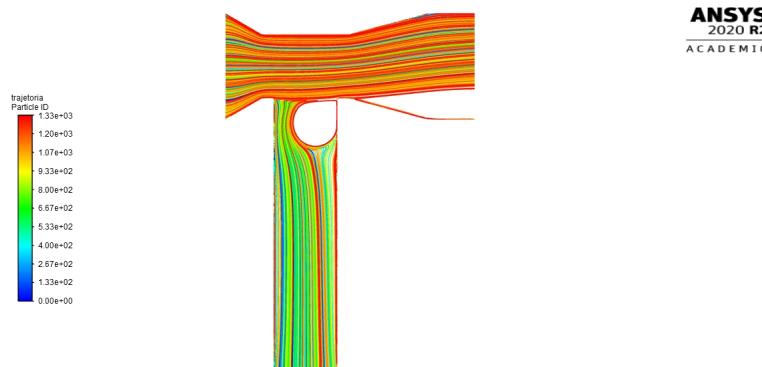


Figura 48 – Linhas de trajetória do escoamento.

### 5.2.3.2.2 Simulação 3D

Na simulação 3D foram utilizadas as mesmas condições de contorno do escoamento 2D, entretanto a região de recirculação se apresentou de forma mais detalhada em relação a simulação bidimensional.

Na Figura 49, é possível ver nitidamente a zona de recirculação, que apresenta vários vórtices na região dos sensores. Com a visualização dos vórtices, é possível definir

a zona segura para posicionar os sensores, a Figura 50 sinaliza as zonas seguras para instalação dos sensores.

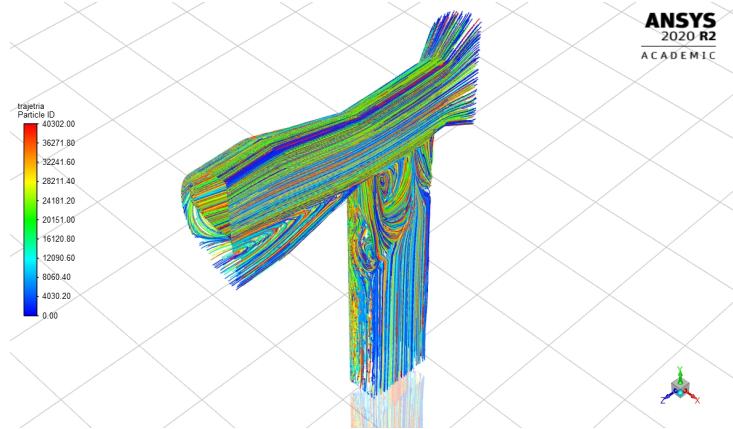


Figura 49 – Linhas de trajetória 3D.

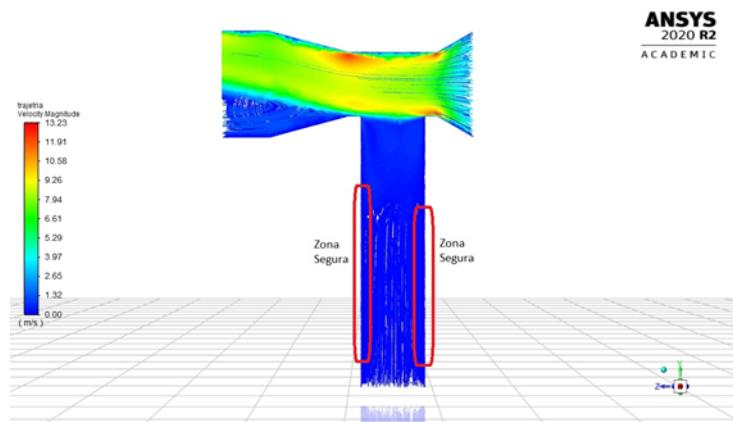


Figura 50 – Região adequada para a instalação dos sensores.

### 5.2.3.3 Simulação de esforços estruturais

As simulações foram realizadas no software Ansys R19.1. As condições de contorno serão mostradas a cada simulação, sendo as forças aplicadas decorrentes do peso dos componentes que estão sendo suportados pelas chapas e pelas forças decorrentes do vento a 32.4 km/h. Essa velocidade foi escolhida com base no atlas de velocidade média dos ventos no Brasil, relatório elaborado pelo Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica (CRESESB), onde é demonstrada a velocidade média dos ventos em todo o país a 50m de altura, sendo que a maior velocidade média fica no litoral com cerca de 32.4 km/h, visando que a estrutura não ficará posicionada a 50 m de altura e que as velocidades a essa altitude são maiores do que próximo ao solo, e não sabendo a localização específica de cada estação de monitoramento, foi utilizada a velocidade de 32.4 km/h visando ser mais um fator de segurança na simulação.

Na malha foi utilizado o método de qualidade Skewness. Esse método é definido como a diferença entre a forma da célula e a forma de uma célula equilaterial de volume equivalente. Células altamente distorcidas podem diminuir a precisão dos resultados da simulação. Por exemplo, as malhas quadrilaterais ideais terão ângulos de vértice próximos a 90 graus, enquanto as malhas triangulares devem ter ângulos de perto de 60 graus e todos os ângulos menores que 90 graus. As malhas foram feitas visando sempre ter um número menor que 0.98, número esse indicado em bibliografias da área de simulação, porém sempre adequando de acordo com os limites computacionais disponíveis.

Para os cálculos de força com base na velocidade do vento, foi utilizada a Fórmula geral de cálculo de força do vento,

$$F = A \cdot P \cdot C_d \quad (5.32)$$

onde,

- $F$ : Força em N (Newton);
- $A$ : Área;
- $P$ : Pressão do Vento;
- $C_d$ : Coeficiente de arrasto.

Os valores de área foram retirados do software de CAD, P é calculado utilizando a seguinte formula:  $P = 0.613xV^2$ , essa fórmula é a adotada pela Sociedade Americana de Engenheiros Civis (ASCE) e o Cd foi estimado com base em tabelas retiradas de referências bibliográficas.

#### 5.2.3.3.1 Chapa de suporte do Gabinete

A chapa da estrutura principal pode ser visualizada na Figura 51.

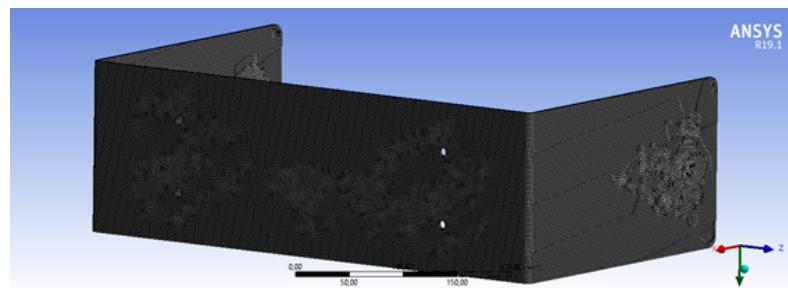


Figura 51 – Estrutura de apoio do gabinete.

- **Material:** AISI 304
- **Tamanho de malha:** 2 mm
- **Métricas de Malha:**
  - **Skewness:** Menor que 0.98;
  - **Número de Nós:** 4831754;
  - **Número de Elementos:** 86884.

A Figura 122a, apresenta as métricas acima setadas no ambiente computacional.

- **Condições de contorno** (Figura 122b): Foram aplicados 4 suportes fixos onde ficam os parafusos, uma força na parte superior e uma na parte inferior nas abas da chapa, ambas com 25N, valor esse, considerado de acordo com a massa estimada da case central com todos os componentes já considerados e na parte traseira foi aplicada uma carga distribuída, onde seria a força do vento que foi calculada com a fórmula presente na equação 5.32.

- **Resultados:**

- Stress de von-Mises (Figura 123a): Os valores são baixos e não apresentam problema para a estrutura;
- Deformação total (Figura 123b): foi de aproximadamente 2.27 mm, deformação essa já era esperada devido ao tamanho da chapa e aos locais onde as forças são aplicadas(extremidades);
- Deformação em escala (Figura 123c): Para uma melhor visualização de como aconteceria a deformação nessa chapa, a imagem de deformação foi colocada em escala;
- Deformação direcional no eixo X (Figura 123d): Proveniente da carga do vento.

Como a deformação total ficou relativamente alta, foi feito um reforço na lateral da chapa, Figura 52, visando diminuir a deformação da mesma e logo em seguida foi novamente simulada com as mesmas condições de contorno da simulação da Figura 122.

- **Resultados:**

- Deformação total (Figura 125a): após reforço: diminuiu de 2,27mm para 0,37mm;
- Stress von-Mises (Figura 125b): houve uma redução e espaçamento em comparação com a Figura 123a.

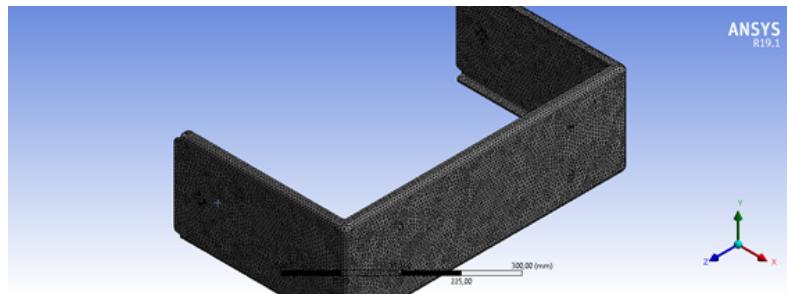


Figura 52 – Estrutura de apoio do gabinete reforçada.

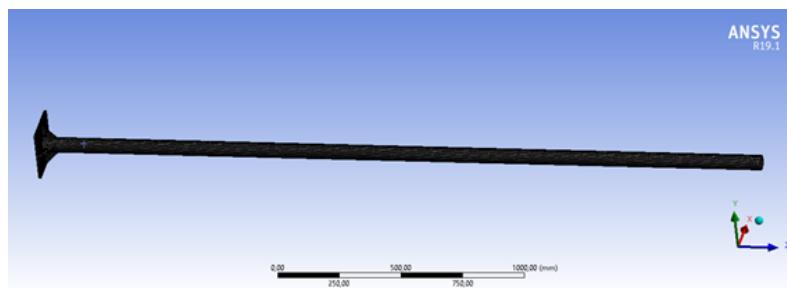


Figura 53 – Poste de suporte e elevação.

#### 5.2.3.3.2 Poste de suporte e elevação

O poste de suporte e elevação pode ser visualizado na Figura 53.

- **Material:** AISI 304
- **Tamanho de malha:** 8 mm
- **Métricas de Malha:**
  - **Skewness:** Menor que 0.98;
  - **Número de Nós:** 131555;
  - **Número de Elementos:** 66745.

A Figura 126a, apresenta as métricas acima setadas no ambiente computacional.

- **Condições de contorno** (Figura 126b): Foi aplicado um suporte fixo B nos pontos de fixação na chapa localizada na parte inferior do tubo e aplicada a força distribuída A de 25.5 N, que simula a força do vento.
- **Resultados:**
  - Deformação total (Figura 127a): Apenas 2mm na parte superior do tubo, bem baixa, considerando as dimensões da peça já era esperada certa deformação na extremidade da mesma;

- Deformação em escala: (Figura 127b);
- Stress de von-Mises (Figura 127c): Os valores são baixos e não apresentam problema para a estrutura.

#### 5.2.3.3.3 Chapa Central

A chapa central pode ser visualizado na Figura 54.

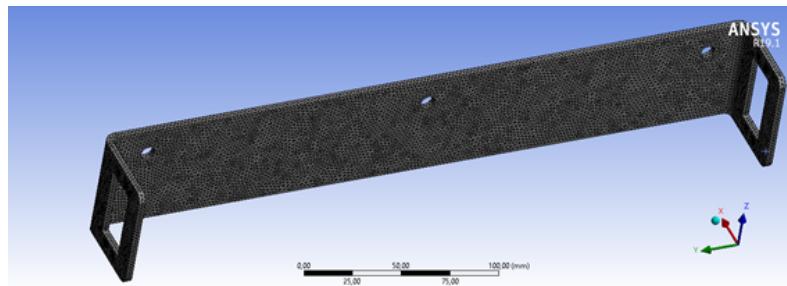


Figura 54 – Chapa central.

- **Material:** AISI 304
- **Tamanho de malha:** 2 mm
- **Métricas de Malha:**
  - **Skewness:** Não ficou na faixa alvo, abaixo de 0.98, porém ficou bem próxima com 0.99 e não foi possível melhorar devido a capacidade computacional requerida.
  - **Número de Nós:** 172046;
  - **Número de Elementos:** 104970.

A Figura 128a, apresenta as métricas acima setadas no ambiente computacional.

- **Condições de contorno** (Figura 128b): Aplicada uma força de 45N já contando a massa dos componentes nas quais suporta mais um fator de segurança de 1,5. Essa força foi distribuída igualmente nos 4 pontos de suporte dos componentes e também foi aplicada uma força distribuída na face lateral da chapa, simulando a força exercida pelo vento.
- **Resultados:**
  - Deformação total (Figura 129a): Deformação máxima de 0,01mm;
  - Deformação em escala: (Figura 127b);
  - Stress de von-Mises (Figura 127c): Os valores são baixos e não apresentam problema para a estrutura.

### 5.2.3.3.4 Chapa de suporte do Painel Fotovoltaico

A chapa de suporte do Painel Fotovoltaico pode ser visualizada na Figura 55.

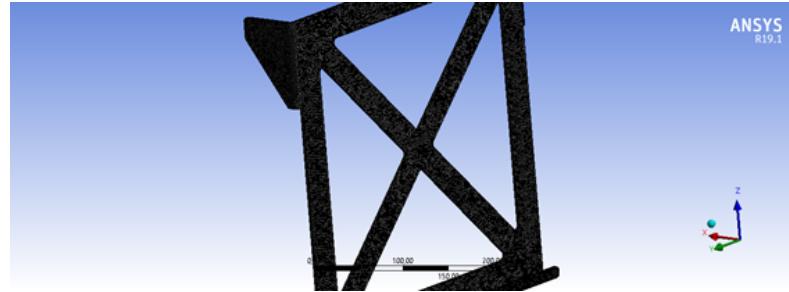


Figura 55 – Chapa central.

- **Material:** Alumínio
- **Tamanho de malha:** 2 mm
- **Métricas de Malha:**
  - **Skewness:** Menor que 0.98;
  - **Número de Nós:** 630217;
  - **Número de Elementos:** 384728.

A Figura 130a, apresenta as métricas acima setadas no ambiente computacional.

- **Condições de contorno** (Figura 130b): Foi considerado o pior caso, a placa na posição vertical, onde tem maior área de arrasto para cargas de vento, foi considerada com a carga D de 39 N sendo a massa do painel, a carga C de 4.29 N sendo força do vento frontal, Carga B de 0.25 N sendo a força de vento lateral e os suportes fixos nos locais nos quais a placa estará parafusada.
- **Resultados:**
  - Deformação total (Figura 131a): Deformação máxima de 1,02mm;
  - Stress de von-Mises (Figura 131b): Os valores são baixos e não apresentam problema para a estrutura;
  - Deformação no eixo X (Figura 131c): Sentido da carga do vento;
  - Deformação no eixo Z (Figura 131d): Sentido do peso do painel;
  - Deformação no eixo Y (Figura 131e): Sentido da carga lateral do vento.

### 5.2.4 Dimensionamento de Motores para Rastreamento Solar

As principais informações para determinar os dados necessários para o motor são a Carga de torque e o momento de inercia da carga. Como o motor não vai precisar acelerar rápido, o torque de aceleração não vai impactar significativamente nos cálculos e pode ser automaticamente incluso no fator de segurança.

O software [Motor Sizing Software \(2020\)](#) ajudou a calcular os dois parâmetros, colocando os dados de massa e características do formato da estrutura.

#### 5.2.4.1 Motor de Controle do Painel Solar

Utilizando como base o mecanismo de braço, Figura 56, e considerando o motor diretamente acoplado, a massa de 2.6 kg arredondada para 3 kg e os respectivos dados da Figura 57:

- $A = 384$  mm;
- $B = 15$  mm;
- $C = 345$  mm;
- $e = 180$  mm;

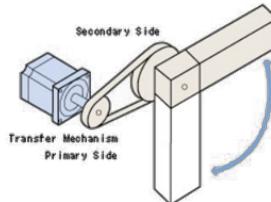


Figura 56 – Mecanismo Braço.

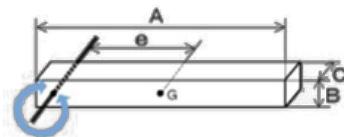


Figura 57 – Dimensões Braço.

Utilizando o torque de carga ( $t$ ) igual a equação 5.33, onde,  $F$  é a força peso do painel e  $\theta$  é o ângulo que o painel rotaciona ( $90^\circ$ ). O torque de carga é igual a 5.3 N.m.

$$t = \left( e + \frac{A}{2} \right) \cdot F \cdot \sin(\theta) \quad (5.33)$$

$$I = \frac{(m \cdot r^2)}{2} \quad (5.34)$$

Utilizando o momento de inercia de massa ( $I$ ) de acordo com a equação 5.34 , onde  $m$  é a massa do painel solar e  $r$  é a distância do centro de massa até a ponta da estrutura, no caso é igual a  $A/2$ . O momento de inercia de massa é igual a:  $1341.20 \cdot 10^{-4}$  kg.m $^2$ .

Considerando a aceleração angular ( $\alpha$ ) de 0.69 rad/s $^2$ , o torque extra para movimentar ( $t^\circ$ ) é calculado através da seguinte equação:

$$t^\circ = I \cdot \alpha \quad (5.35)$$

Portanto,  $t^\circ = 0.08$  N.m. Mostrando que o  $t^\circ$  não é significativamente relevante para o calculo do torque, já que o painel se move lentamente.

Com base nos cálculos, foi escolhido o motor **WP45 45Kg Full Waterproof CNC Brushless Servo**, com sua torção de 6 V de 3.63 [N.m] e totalmente a prova d'água, para que nos dias de chuva o motor esteja bem protegido. Dois motores desse tipo trabalhando junto, suprem as necessidades básicas de movimentação do painel solar, mantendo o valor do torque utilizado abaixo dos 80% da capacidade máxima do motor.

#### 5.2.4.2 Motor de Controle do Gabinete

Considerando a base aproximada de um disco na horizontal e o motor diretamente acoplado, Figura 58. Como nesse caso o motor não suportará a estrutura, apenas movimentando-a angularmente, o valor do torque vai ser significativamente mais baixo, pois não haverá Torque de carga, apenas Torque necessário para mover.

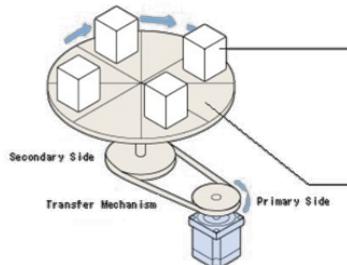


Figura 58 – Base disco horizontal.

Então o único Torque a ser calculado é o de movimento. Utilizando as fórmulas anteriores e a mesma aceleração angular do painel solar só falta o momento de Inercia de massa.

A massa de todo gabinete feita em CAD (m) é igual a 10.28 kg, adicionando um fator de segurança de 20%, a massa da estrutura vai para 12 kg. O diâmetro do disco da Figura 58 é de 420 mm, correspondente a largura do gabinete no CAD. O momento de inercia de massa vai ser igual a  $2646.00 \cdot 10^{-4}$  kg · m<sup>2</sup>.

Então o Torque para movimentar o gabinete ( $t^\circ$ ) vai ser igual a 0.18 N.m. Então considerando que esse calculo é de um modelo aproximado e que o motor não suportaria nenhum peso da estrutura. O motor escolhido para essa situação é o mesmo do anterior, por ele cumprir o torque necessário, ser a prova d'água e facilitar sua compra.

#### 5.2.4.3 Conclusão

A tabela 9, apresenta a conclusão do dimensionamento dos motores de rastreamento solar e o motor escolhido.

Localização do Motor	Torque Necessário [N.m]
Painel Solar	5.3
Gabinete	0.18
Motor Escolhido	Torque [N.m]
WP45 45Kg Full Waterproof CNC Brushless Servo	3.63

Tabela 9 – Tabela conclusão do dimensionamento dos motores de rastreamento solar.

#### 5.2.5 Análise Dinâmica

A vibração de um sistema pode ser considerada prejudicial pois pode produzir inúmeros tipos de falhas tanto estruturais, quanto em outros subsistemas. Por isso é importante conhecer o comportamento dinâmico do sistema a ser projetado, de forma a minimizar as vibrações e conhecer as frequências de ressonância do sistema.

A análise dinâmica deste trabalho consiste numa análise modal, de forma a conhecer os modos de vibração da estrutura e uma análise a resposta harmônica, onde foi aplicado cargas cíclicas na estrutura e avaliou-se a carga gerada por tais carregamentos. O software utilizado para as referidas simulações foi o *Ansys* nos ambientes *Modal* e *Harmonic Response*.

Para realizar a simulação modal, foi gerado um modelo simplificado da estrutura, sem os componentes internos e zonas de contato de forma a reduzir o esforço computacional. Foi mantida as distribuições de massa. Como condição de contorno, foi utilizado na parte inferior do poste a condição e engaste, simulando a condição de funcionamento, conforme mostra a Figura 59.

A estrutura engastada, as frequências naturais obtidas estão disponíveis na tabela 10.



Figura 59 – Geometria simplificada com condição de contorno de engaste na parte inferior do poste.

Modo	Figura	Frequência [Hz]
1°	<a href="#">132a</a>	2.4371
2°	<a href="#">132b</a>	2.5425
3°	<a href="#">132c</a>	9.5776
4°	<a href="#">132d</a>	12.819
5°	<a href="#">132e</a>	28.384
6°	<a href="#">132f</a>	40.926

Tabela 10 – Frequências naturais.

A primeira frequência natural da estrutura é de 2.4371 Hz, e é a frequência que deve ser se ter atenção, para que não haja excitação suficiente para que ocorra ressonância. O valor da primeira frequência natural está em ordem de grandeza muito próximos de cargas geradas por rajadas de vento cíclicas. Dessa forma foi necessária a elaboração de uma análise de Resposta Harmônica.

Para análise de resposta harmônica, foi necessário definir as forças exercidas na estrutura. Para a análise foi utilizada cargas aerodinâmicas ao longo da estrutura. Foram considerados dois casos: vento máximo sustentado (VMS) de 14 km/h e rajada de 102 km/k, de modo a representar uma situação calma e condição climática severa respectivamente. Os valores de velocidade do vento foram obtidos por [Weatherspark \(2020\)](#), Figura 60.

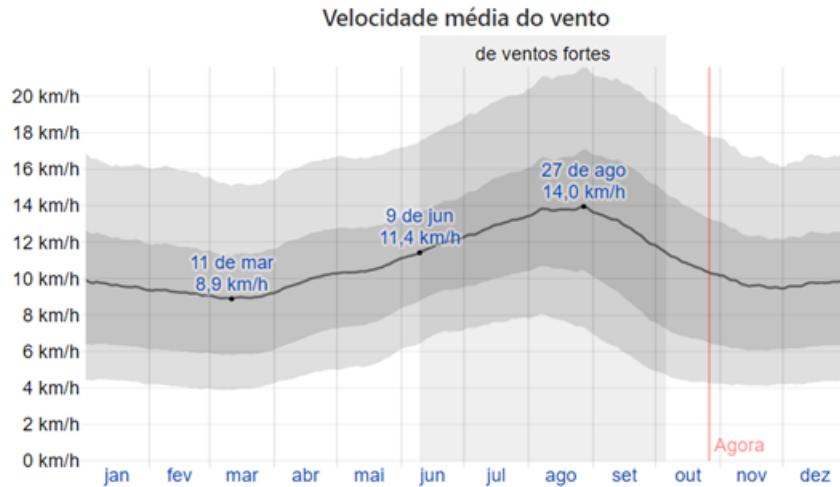


Figura 60 – Velocidade média do vento em Brasília.

Para modelar as cargas de vento, a estrutura foi decomposta em duas partes, o poste e o gabinete. O poste por ser considerado uma estrutura esbelta, foi possível determinar a força de arrasto exercida nele pelo uso da norma NBR 6123, ([TÉCNICAS, 1988](#)) que trata sobre forças devido a vento em edificações. Segundo a referida norma, a força de arrasto é definida usando a equação 5.36.

$$D_p = 0.613 C_d v^2 S \quad (5.36)$$

Onde  $D_p$  é a força de arrasto do poste,  $v$  é a velocidade do vento,  $S$  é a área molhada e  $C_d$  é o coeficiente de arrasto, que depende das propriedades geométricas da estrutura e do escoamento para o fluido. Para definição do coeficiente de arrasto, as propriedades são mostradas na Figura 139.

As propriedades do poste juntamente com a força de arrasto gerado tanto em vento máximo sustentado, quanto em condição de rajada estão disponíveis na tabela 11.

Propriedade	Magnitude da Força
$Re \cdot 10^{-5}$ VMS	0.16
$Re \cdot 10^{-5}$ Rajada	1.22
$H$ [m]	2.00
$l_1$ [m]	0.06
$S$ [ $m^2$ ]	0.12
$D_p$ VMS [N]	1.33
$D_p$ Rajada [N]	70.86

Tabela 11 – Propriedades e magnitude da força de arrasto do poste.

Para modelar as cargas de vento no gabinete, foram criadas três forças de arrasto perpendiculares entre si, o gabinete foi considerado uma placa plana perpendicular a cada

direção de vento, que é o pior caso de arrasto. Sendo assim, as forças de arrasto foram calculadas usando a equação 5.37. Onde,  $D_g$  é a força de arrasto do gabinete,  $\rho$  é a densidade do ar, considerada  $1,225 \text{ kg/m}^3$ ,  $v$  é a velocidade do vento relativo,  $S_i$  é a área molhada de cada seção perpendicular à direção da força e  $C_D$  é o coeficiente de arrasto de placa plana perpendicular à força de arrasto, que tem o valor de 1.28 segundo Anderson e John D. (2010) e o  $\theta$  o ângulo formado entre a normal da área e a direção do vento. Os valores da força de arrasto podem ser vistos na tabela 12.

$$D_g = \frac{1}{2}\rho v^2 S_i C_D \cos\theta \quad (5.37)$$

Posição	Área [m <sup>2</sup> ]	Arrasto em condição de Vento Máximo Sustentado [N]	Arrasto em condição de Rajada [N]
Vista Frontal	0.171	2.02	107.62
Painel Solar	0.06077925	0.14	3.51
Vista Lateral	0.1385175	0.72	87.17

Tabela 12 – Cargas dinâmicas aplicadas na simulação.

A Figura 61 mostra a aplicação das forças no software Ansys. A estrutura utilizada tem a mesma geometria simplificada usada na Análise Modal, entretanto, nesta simulação, as forças de arrasto foram aplicadas como cargas cíclicas nas mesmas frequências de ressonância obtidas pela análise modal de forma a avaliar o pior caso de carregamento dinâmico na estrutura, os resultados para cargas de vento máximo sustentado estão disponíveis na Figura 133.

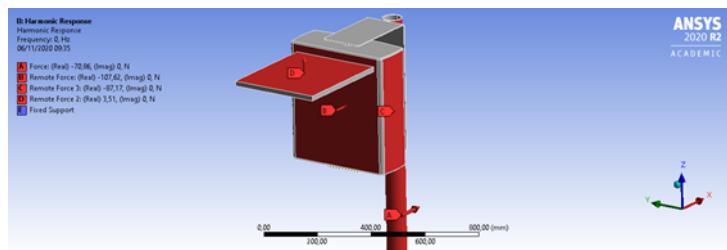


Figura 61 – Aplicação das forças de arrasto na estrutura.

Como é possível notar analisando os resultados na Figura 133, nas condições normais de operação, uma excitação com carga de vento nas frequências naturais, as tensões apresentam uma ordem de magnitude muito abaixo da tensão de escoamento do material, ou seja, a estrutura não se comprometerá em condições normais de operação.

Entretanto, é necessária avaliar as condições severas como rajadas de vento, pois a estrutura não poderá comprometer sua integridade quando submetida a esse tipo de

carregamento. As cargas foram aplicadas também nas frequências naturais da estrutura de modo a avaliar o pior caso possível da estrutura, os resultados das formas modais estão presentes na Figura 134.

Mesmo em condições de rajada de vento, as tensões dos carregamentos cílicos não apresentaram uma magnitude tão alta a ponto de danificar a estrutura, apenas na sexta frequência natural de vibração, Figura 134f, que a tensão equivalente de Von Mises se torna superior à tensão de escoamento do material, entretanto é uma frequência extremamente elevada e que não há condições naturais de ocorrência a cargas por vento.

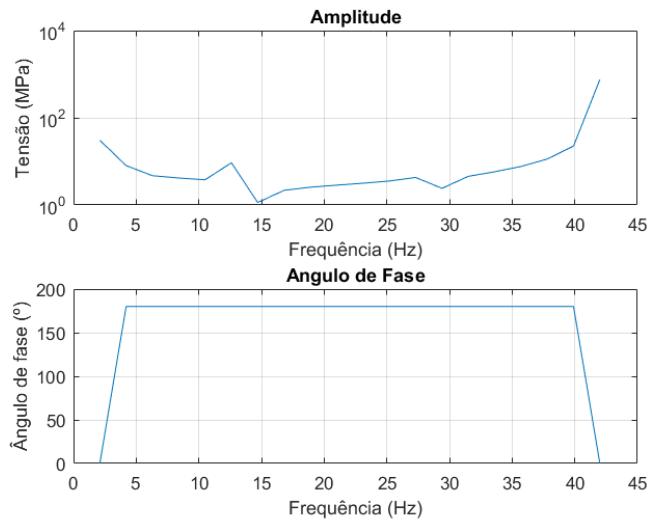


Figura 62 – Resposta em frequência da estrutura submetida a cargas de vento em condição de rajada a 102 km/h.

A Figura 62 mostra a resposta em frequência do sistema, nota-se que as cargas de vento dinâmicas se tornam preocupantes apenas após o sexto modo de vibração, entretanto a probabilidade de uma carga externa com frequências naturais elevadas se torna praticamente nula e os modos anteriores, a tensão imposta na estrutura tem amplitude muito inferiores em relação aos modos posteriores. Considera-se que a estrutura conseguirá manter sua integridade mesmo solicitada em cargas dinâmicas originárias de rajadas de vento de até 102 km/h.

## 5.3 Solução de Software

### 5.3.1 Escopo de Software

Considerando as conexões entre as mudanças climáticas, emissão de poluentes e impactos na saúde é perceptível que há uma necessidade global urgente em desenvolver e adotar ferramentas de comunicação de saúde pública, tanto em nível individual quanto

governamental, para ajudar pessoas vulneráveis a reduzir sua exposição à efeitos da baixa qualidade do ar e possibilitar o acesso à informação. O uso da tecnologia é uma solução possível, com os aplicativos para dispositivos mobile e assistentes virtuais personalizados desempenhando um papel importante na conscientização e apoio aos mais diversos grupos sociais.

Diante disso surge a necessidade da criação do aplicativo Zéfiro, que está disponível para Android e iOS, voltado para a população com problemas respiratórios. Ele é responsável por informar e sugerir de meios de prevenção contra crises de problemas de saúde, além de notificar os usuários quando a qualidade do ar estiver baixa.

Dentre algumas funcionalidades, tem-se o envio de notificações quando o índice de qualidade do ar estiver crítico para a saúde, exibição de gráficos com histórico da qualidade do ar nos últimos sete dias, envio de alertas quando houver presença de fumaça no ar, recomendações de saúde e atividades para os usuários do aplicativo, exibição de atuais componentes do ar que o usuário está respirando, disponibilização de localidade das estações de monitoramento em funcionamento e o índice de qualidade do ar coletado por ela.

O Zéfiro também conta com uma *skill* (habilidade) da Alexa, onde o usuário pode receber informações sobre a qualidade do ar através de perguntas. O Zéfiro é capaz de responder perguntas utilizando os dados coletados nas estações de monitoramento do ar.

### 5.3.2 Arquitetura da Informação

Arquitetura da informação condiz com desenvolver uma interface que auxilie as pessoas a encontrarem o que elas estão procurando dentro de uma aplicação. Ela está ligada diretamente à qualidade do software.

Para o projeto foi pensado em uma logo, Figura 63, que fosse minimalista e demonstrasse sobre o que é o projeto.



Figura 63 – Logo Zéfiro

Ao escolher a paleta de cores, Figura 64, foi importante pensar em como as cores seriam enxergadas pelo usuário, de forma a facilitar sua navegação no aplicativo.

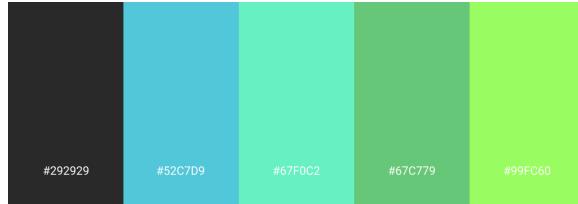


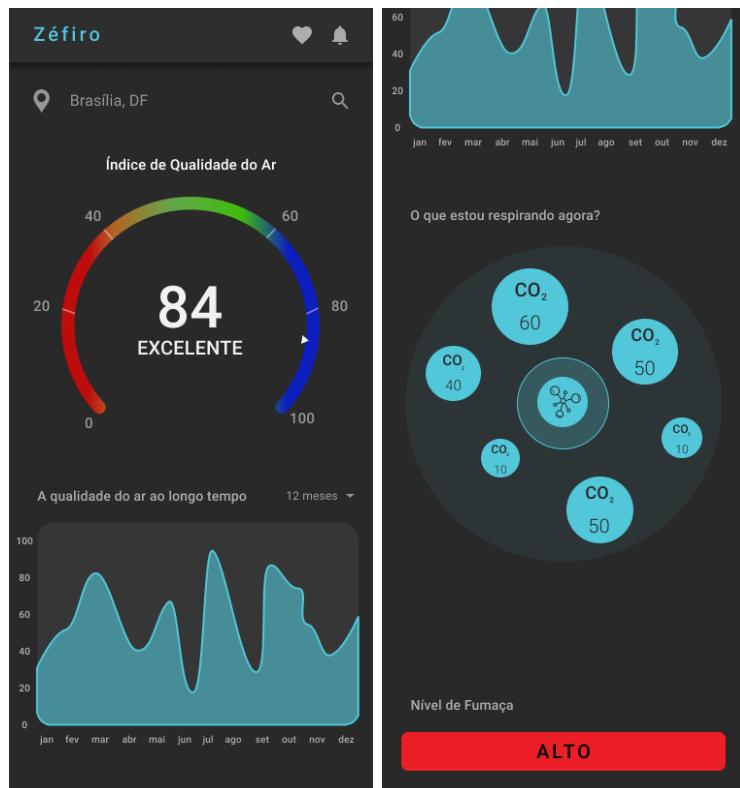
Figura 64 – Paleta de cores Zéfiro

A tipografia foi escolhida para que fosse de fácil leitura e interpretação. A tipografia escolhida foi Roboto Regular, Roboto Medium e Roboto Bold.

### 5.3.2.1 Protótipo

#### 5.3.2.1.1 Homepage

A Figura 65, demonstra o protótipo de homepage da aplicação.



(a) Início da homepage

(b) Fim da homepage

Figura 65 – Tela protótipo Homepage.

onde a Figura 65a é o início da página em que estão presentes informações como o nível do IQA no local escolhido e um gráfico contendo o histórico do IQA, onde o usuário pode filtrar por um período de tempo específico e o usuário pode também visualizar o local em que está.

Já a Figura 65b é a segunda parte da homepage, onde é possível visualizar o nível de Fumaça e um conjunto de elementos presentes no ar, com seus valores em *ppm*.

### 5.3.2.1.2 Mapa

A Figura 66 representa a tela do mapa de estações, onde o usuário tem acesso a todas as estações disponíveis e selecionar a que deseja visualizar os dados pelo mapa.

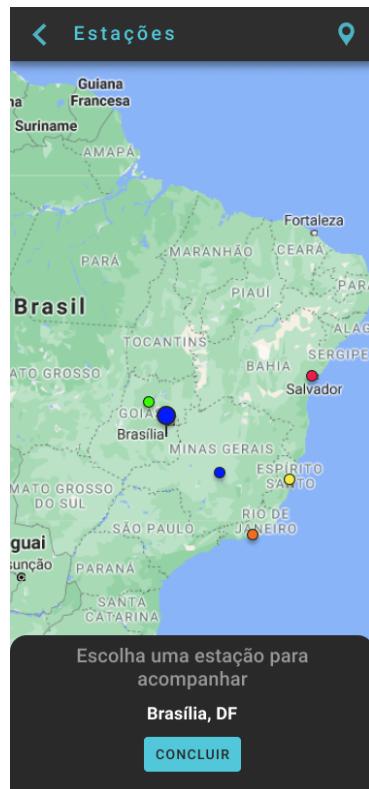


Figura 66 – Tela protótipo do mapa de estações

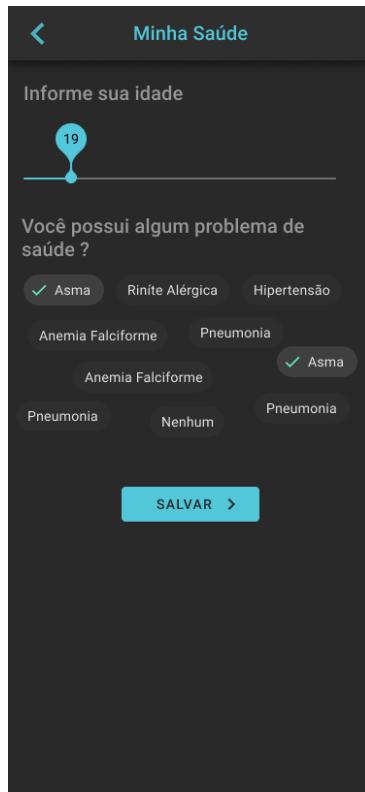


Figura 67 – Tela protótipo de Cadastro de informações personalizadas

#### 5.3.2.1.3 Informações Personalizadas

A tela de cadastro, Figura 67, representa a tela de cadastro das informações personalizadas do usuário, onde esse deve inserir seus dados, informando sua idade e possíveis problemas de saúde, para que receba suas recomendações direcionadas para seu perfil.

#### 5.3.2.1.4 Notificações

A Figura 68, apresenta duas telas da aplicação Zéfiro, a primeira representa uma notificação de alerta de fumaça, já a Figura 68b, apresenta a tela protótipo de acesso ao histórico de recomendações personalizadas. É possível que o usuário exclua as recomendações selecionando-as.



(a) Notificação alerta de fumaça (b) Tela protótipo histórico de recomendações

Figura 68 – Protótipo Notificações.

### 5.3.3 Arquitetura de Software

O estilo arquitetural de microsserviços é uma abordagem que visa implementar uma aplicação como uma suíte de pequenos serviços, onde cada um executa um processo próprio e se comunica, geralmente, com *requests* HTTP (JACKSON, 2019). Em 2016, o termo micro *frontend* foi falado pela primeira vez no Thoughtworks Technology Radar, com o intuito de estender o conceito de microsserviços para o desenvolvimento *frontend*, onde cada uma desses “serviços” precisam ser completamente isolados dos outros com tecnologias e objetivos próprios (GEERS, 2017).

Tendo em vista as principais características desses dois estilos arquiteturais, o software Zéfiro foi criado com base neles. Com isso, há um microsserviço para o *backend*, chamado de Zéfiro API e dois micro *frontends* sendo eles, o Zéfiro APP e o Zéfiro Alexa Skills. Cada um desses três serviços possuem seu próprio repositório, de forma que estes possuam ambiente de desenvolvimento, tecnologias, integração contínua e *deploy* específicos (LEWIS; FOWLER, 2016).

O software Zéfiro está dividido em três serviços independentes:

- Zéfiro APP

- Zéfiro Alexa Skills
- Zéfiro API

Para o desenvolvimento do software, faz-se necessário o consumo de dados de fontes externas, sendo elas:

- Google Maps API

A Figura abaixo representa o diagrama de relações do sistema Zéfiro, demonstrando as interações entre os serviços independentes, sistema de medição e fontes externas.

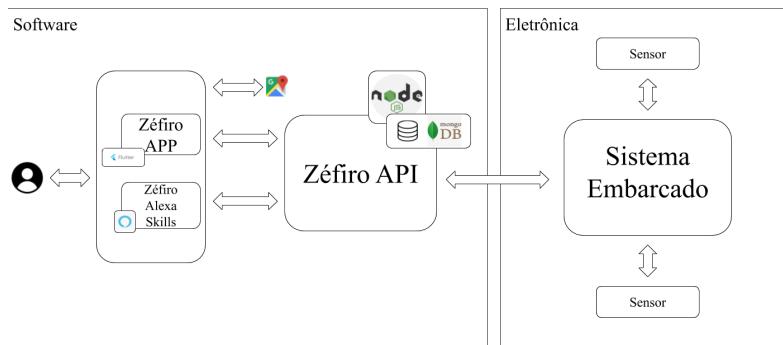


Figura 69 – Diagrama de Relações.

### 5.3.4 Representação dos Serviços

#### 5.3.4.1 Zéfiro APP

O Zéfiro APP é uma aplicação mobile responsável pelo contato direto com o usuário; esta precisa seguir uma arquitetura da informação bem definida e garantir acessibilidade. Ela é responsável também por exibir um gráfico com o histórico do indicador de qualidade do ar, apresentar informações sobre quais poluentes o usuário está respirando naquele momento e um mapa com as estações de monitoramento do ar. Ainda envia notificação para o usuário e exibe um alerta de fumaças.

#### 5.3.4.2 Zéfiro Alexa Skills

O Zéfiro Alexa Skills é uma aplicação que faz interação com o usuário por meio de comandos de voz. Ela é responsável por responder como está a condição do ar, com base na faixa de qualidade do ar internacional, como estava a qualidade do ar nos últimos sete dias e quais são os poluentes que o usuário está respirando no momento do seu pedido.

### 5.3.4.3 Zéfiro API

O Zéfiro API é responsável por lidar com o core do projeto, - monitoramento da qualidade do ar. Para isso ele possui diversas funcionalidades. A principal delas é o cálculo da qualidade do ar, feita de acordo com a faixa de qualidade do ar internacional e utilizando as informações dos poluentes coletados.

O cálculo do IQA é feito com base nas informações presentes do Guia Técnico para Monitoramento e Avaliação do Ar disponibilizado pelo CONAMA. Consiste na aplicação de uma fórmula matemática, equação 5.38, para cada uma das concentrações dos poluentes obtidas via sensores.

$$IQA = I_{ini} + \frac{I_{fin} - I_{ini}}{C_{fin} - C_{ini}} \cdot (C - C_{ini}) \quad (5.38)$$

Onde,

- $I_{ini}$ : valor do índice da concentração inicial da faixa;
- $I_{fin}$ : valor do índice da concentração final da faixa;
- $C_{ini}$ : concentração inicial do poluente dentro da faixa correspondente;
- $C_{fin}$ : concentração final do poluente dentro da faixa correspondente;
- $C$ : concentração do poluente.

Os quatro primeiros valores são obtidos através das faixas de qualidade do ar, apresentadas na Figura 70. Onde  $I$  são os valores presentes na coluna “índice” e  $C$  são os valores presentes na coluna correspondente ao poluente que será calculado.

Qualidade do Ar	Índice	MP <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 24h	MP <sub>2,5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 24h	O <sub>3</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 8h	CO (ppm) 8h	NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 1h	SO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 1h
N1 - Boa	0 - 40	0 - 50	0 - 25	0 - 100	0 - 9	0 - 200	0 - 20
N2 - Moderada	41 - 80	>50 - 100	>25 - 50	>100 - 130	>9 - 11	>200 - 240	>20 - 40
N3 - Ruim	81 - 120	>100 - 150	>50 - 75	>130 - 160	>11 - 13	>240 - 320	>40 - 365
N4 - Muito Ruim	121 - 200	>150 - 250	>75 - 125	>160 - 200	>13 - 15	>320 - 1130	>365 - 800
N5 - Péssima	201 - 400	>250 - 600	>125 - 300	>200 - 800	>15 - 50	>1130 - 3750	>800 - 2620

Figura 70 – Faixas de qualidade do ar.

A partir do valor dos índices individuais de cada poluente, é realizada uma comparação entre eles e o valor mais alto, logo mais grave, é utilizado como IQA geral. Esse valor é apresentado ao usuário como o valor da qualidade do ar atual.

Além do cálculo, as informações de quais poluentes estão presentes no ar e suas quantidades são disponibilizadas para o usuário. As concentrações dos poluentes que serão entregues pelas estações estarão em ppm(parte por milhão), uma vez que essa unidade de medida é a utilizada internacionalmente e é aceita pelo CONAMA, será a mesma apresentada para o usuário.

Também é necessário a criação de algoritmos para determinar qual a estação de monitoramento do ar mais próxima ao usuário, de forma a apresentar a qualidade do ar e os poluentes presentes em sua localização. Isso é realizado em dois métodos da classe Station, que é responsável por guardar todas as informações de uma estação e suas coletas. Estas funções são para calcular a distância entre a localização do usuário e as estações existentes e para encontrar a estação mais próxima.

O Zéfiro-API é responsável também por realizar diferentes notificações ao usuário. A primeira delas é a de qualidade do ar, que é feita sempre que uma nova coleta chegar ao banco de dados. A segunda é feita quando a quantidade de um poluente for alarmante. Essa só é feita para usuários que possuírem condições de saúde. O último tipo de notificação é a de verificação do volume de fumaça no ar. Sempre que o mesmo estiver alto, todos os usuários receberão a notificação. Por último, se tem a funcionalidade de recomendação que é feita com base no IQA e nas faixas de qualidade do mesmo.

### 5.3.5 Tecnologias

#### 5.3.5.1 Flutter

O Flutter é o framework construído pela Google com objetivo de facilitar o desenvolvimento de aplicativos móveis, multiplataforma, ele utiliza o Dart como linguagem de programação. As principais alternativas à escolha do flutter são: React-Native e desenvolvimento nativo. Ao comparar as alternativas apresentadas o flutter foi escolhido, pois apresenta melhor desempenho em alguns aspectos como memória e uso de CPU, principalmente comparado ao React-Native. Já em comparação com o desenvolvimento nativo, apesar do desempenho ser muito parecido, o flutter vence pela possibilidade do desenvolvimento multiplataforma, exigindo menos recursos para alcançar um público maior. Além dos aspectos técnicos de cada abordagem, foi levada em conta a familiaridade de parte da equipe com o flutter. ([DEMEDYUK; TSYBULSKYI, 2020](#)).

#### 5.3.5.2 MongoDB

O MongoDB é uma base de dados baseada em NoSQL, orientada à objetos, que são mantidos como documentos dentro de coleções, em vez de colunas dentro de tabelas, como é feito em bancos relacionais. O MongoDB apresenta características como: alta disponibilidade, alta performance, fácil escalabilidade, flexibilidade e possui recursos para

auxiliar aplicações baseadas em dados geoespaciais, tais como o Zéfiro. Além dos aspectos técnicos do MongoDB, foi levada em conta a experiência da equipe com esta tecnologia ([JAYARAM, 2016](#)).

#### 5.3.5.3 Node Js

Node Js é um ambiente de execução, open-source, que permite o desenvolvimento de aplicações utilizando o JavaScript como linguagem de programação. As principais vantagens da escolha do Node Js são: performance, disponibilidade e variedade de pacotes reutilizáveis, comunidade/ecossistema muito ativo e alta disponibilidade de documentação. Além destas vantagens, o fato da equipe possuir experiência com esta tecnologia, também motivou a escolha ([MDN WEB DOCS, 2020](#)).

#### 5.3.5.4 Alexa

A Alexa é um serviço de voz baseado em nuvem da Amazon. É compatível com diversos dispositivos e permite que o usuário interaja com a tecnologia, de forma mais intuitiva. O Alexa Skill Kit é utilizado no desenvolvimento do Zéfiro Alexa Skill, disponibilizando ao usuário uma interface alternativa para uso das funcionalidades do Zéfiro ([AMAZON ALEXA, 2020](#)).

#### 5.3.5.5 Google Maps API

Trabalhar com dados relacionados ao monitoramento da qualidade do ar, por meio de estações distribuídas geograficamente, traz a necessidade da obtenção dos respectivos dados geográficos. O Google Maps Platform possui diversos serviços para fornecimento deste tipo de dado e o valor cobrado é proporcional ao uso. É uma plataforma de alta disponibilidade e confiabilidade, que, além de fornecer um crédito mensal gratuito, disponibiliza serviços para fornecimento de mapas estáticos e dinâmicos gratuitamente, dentro da taxa de uso estabelecida, para uso em dispositivos móveis ([GOOGLE, 2020](#)).

### 5.3.6 Visão Lógica

O software Zéfiro é construído utilizando a tecnologia Flutter na linguagem Dart e o kit de skills da Alexa, sobre a plataforma Node JS em linguagem JavaScript na API. O objetivo da Alexa Skills Kit é disponibilizar ferramentas para a criação de softwares que extraiam a intenção do usuário através de comandos de voz e retornem algo de valor.

O Zéfiro possui uma versão mobile e uma versão por comando de voz que utilizam dados recebidos do Zéfiro API. Este foi desenvolvido na plataforma Node JS, que é um ambiente de tempo de execução que executa o código em Javascript para escrever ferramentas de linha de comando e para scripts do lado do servidor, capaz de executar

uma entrada/saída assíncrona, que permite que outro processamento continue antes que a transmissão tenha encerrado.

### 5.3.7 Pacotes de Design Significativos do Ponto de Vista da Arquitetura

#### 5.3.7.1 Diagrama de pacotes Zéfiro-APP

A Figura 71 demonstra o diagrama de pacotes do Zéfiro-APP.

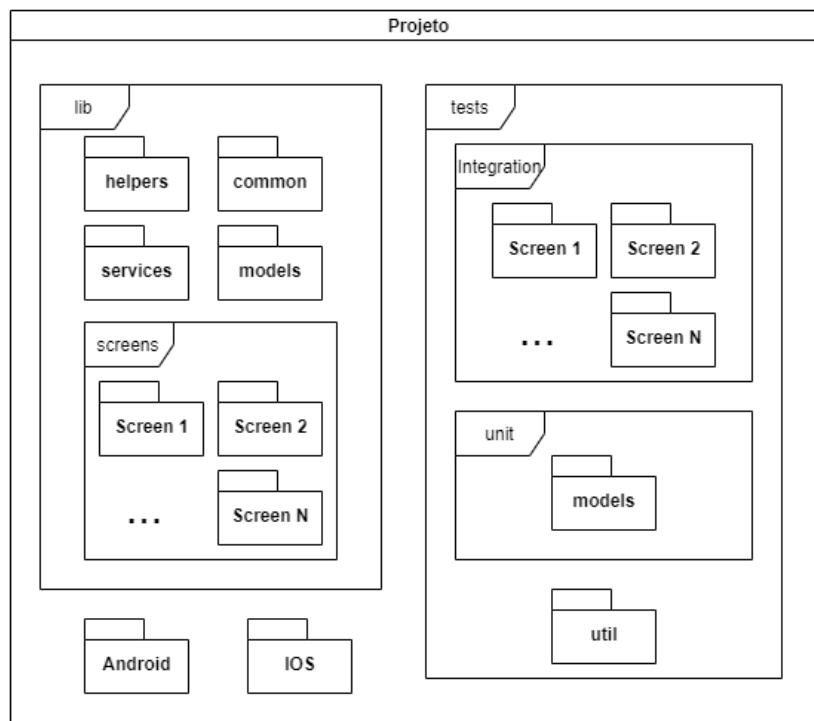


Figura 71 – Diagrama de Pacotes do Zéfiro-APP.

Analizando a figura acima, nota-se, que a organização interna do serviço de front-end foi feita utilizando quatro pacotes principais, o *lib*, o *tests*, o android e o iOS. Os dois primeiros são os que guardam toda a lógica e código fonte do Zéfiro-APP. Enquanto as pastas android e iOS guardarão a lógica responsável por fazer o aplicativo funcionar nos dois sistemas.

### 5.3.8 Diagrama de pacotes Zéfiro-API

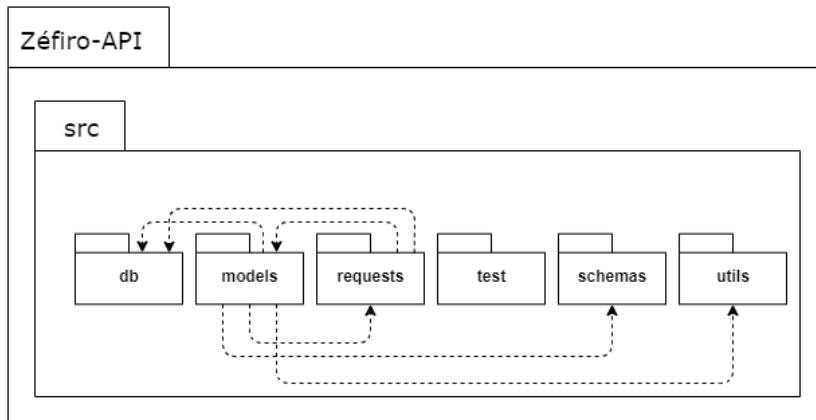


Figura 72 – Diagrama de Pacotes do Zéfiro API.

O serviço de backend Zéfiro-API, Figura 72, está organizado com uma pasta principal, chamada de *src* e outras seis pastas para melhor divisão do código-fonte. O pacote *db* é onde estão as conexões com o banco de dados MongoDB; o *models* guarda as classes com seus respectivos métodos; o *requests* possui todas as requisições que o Zéfiro-API precisa para fazer para sistemas externos; o *tests* contém os testes unitários feitos no sistema; o *schemas* guarda as tabelas do banco de dados; e, por fim, o *utils* contém todo e qualquer código que auxilie no funcionamento do Zéfiro-API.

#### 5.3.8.1 Diagrama de classes

Para o desenvolvimento do software Zéfiro, foi necessário a criação de duas classes, *Station* e *Notification*, diagrama de classes presente na Figura 73. A primeira destas é responsável por guardar os dados que serão recebidos das estações de monitoramento via requisição HTTP. Ela é a classe principal do sistema, pois é ela que guarda o cerne do sistema. O cálculo do índice de qualidade do ar, a lista de poluentes no ar, a lista de estações e a criação dos gráficos serão métodos dela. Já a segunda classe, *Notification*, é responsável por lidar com os três tipos de notificações existentes no software. Ela não possui atributos, pois as informações necessárias para seus métodos são recebidos tanto da classe *Station* quanto da requisição do Zéfiro-APP.

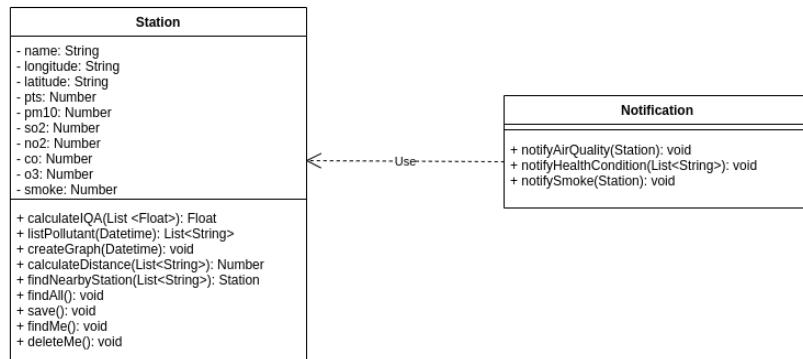


Figura 73 – Diagrama de classes Zéfiro.

### 5.3.8.2 Diagrama de Sequência

O diagrama da Figura 74 descreve tanto a interação do usuário com o sistema como a interação entre serviços internos e externos. Todas as atividades que devem ser realizadas pelo Zéfiro estão descritas de forma sequencial por meio de atividades de pedido e retorno. Além disso, indica a duração total que cada serviço precisa para realizar todas as atividades das quais é responsável.

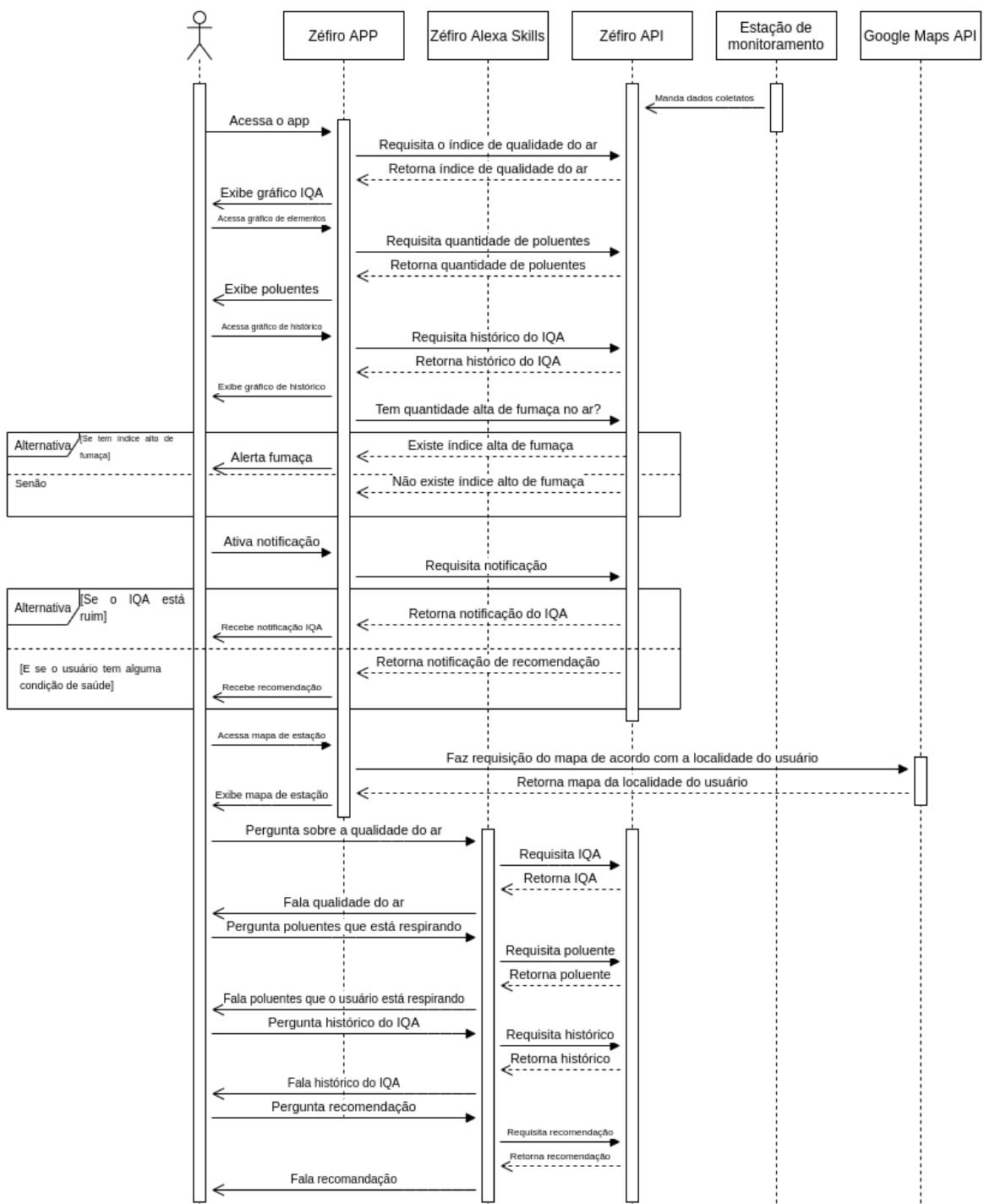


Figura 74 – Diagrama de Sequência.

# 6 Visão Geral do Produto

## 6.1 Perspectiva do Produto

O Zéfiro é um monitorador de qualidade do ar, que funciona de maneira autônoma, captando os gases por sensores e os armazenando em uma nuvem para transmitir para um central, onde esses dados serão processados e enviados para fomentar relatórios regidos pela norma do CONAMA e para também o aplicativo de uso da população para avaliar a poluição atmosférica de acordo com doenças que podem sofrer pioras clínicas devido a má qualidade do ar.

Há no mercado, outros produtos de avaliação de qualidade de ar, como mostrado secção 3.4, entretanto o Zéfiro traz consigo a ideia de automatização dessa medição do ar, com a mínima interferência humana possível, disponibilizando esses dados para o contratante e para os cidadãos que sofrem com problemas de saúde agravados por poluição atmosférica.

## 6.2 Resumo das Capacidades

Na tabela 13, resume os benefícios para o cliente e descreve as características que possibilitam o benefício.

<b>Benefício para o Cliente</b>	<b>Recursos de suporte</b>
Monitoramento da qualidade do ar seguindo os critérios do CONOMA	A estação de monitoramento faz a aquisição de dados qualidade do AR diariamente.
Notificação para o usuário de acordo com o perfil de saúde.	Informação da quantidade da concentração de gases nocivos à saúde, com alertas diferenciados caso o usuário seja portador de alguma doença, cujo esses gases possam apresentar maiores malefícios.
Alimentação Sustentável	Visando contribuir com o meio ambiente, a estação irá apresentar uma alimentação fotovoltaica, fazendo uso de um sistema de rastreamento que irá posicionar a placa onde ocorre maior incidência de luz solar.
Fácil manutenção	A estação de monitoramento foi elaborada levando em consideração a facilidade da manutenção, onde os componentes e tamanho da estrutura, fornecem fácil manutenção.
Acesso ao histórico de monitoramento	O usuário, por meio do aplicativo, pode acessar o histórico de monitoramento da estação, podendo ser visualizado através de gráficos.
Estrutura Compacta	A estação de monitoramento foi elaborada de forma a não ocupar muito espaço, sendo de fácil alocação.

Tabela 13 – Tabela de capacidades do produto

### 6.3 Suposições e Dependências

O projeto depende das normas vigentes sobre a qualidade do ar, que são regidas pela resolução nº 491/2018 do CONAMA/MMA. Com isso foi possível determinar os quais tipos de sensores serão utilizados para captar os dados do ar.

Os dados coletados pelos sensores deverão ser armazenados e processados para, por fim serem disponibilizados no aplicativo, a fim de cumprir isso será necessário um banco de dados em Nuvem e um sistema de comunicação entre estação Zéfiro e Nuvem. Com o processamento dos dados poderão ser feitos os cálculos do Índice de Qualidade do Ar (IQA) e enviados para o aplicativo. Haverá nisso, a integração com a Alexa, envio de notificações e acompanhamento de status da qualidade do ar pelo local da estação.

Além dos sensores para a captação dos dados, o sistema vai depender de um "rastreador solar" com a placa fotovoltaica para alimentação da bateria e de todo sistema de medição de qualidade do ar.

Com o desenvolvimento dos circuitos que envolvem a medição e o dimensionamento da placa e da bateria é possível determinar a estrutura física do gabinete operacional e da barra de sustentação do monitorador, considerando também o resfriamento necessário dos componentes do projeto para não ocorrer superaquecimento e não queimar nenhum componente.

## 6.4 Custo e Precificação

O Apêndice [U](#), descreve os custos básicos para o desenvolvimento do produto. Vale ressaltar que os sensores dos gases poluentes são muito específicos são estrangeiros e são suscetíveis a frete e valor do dólar comercial.

## 6.5 Licenciamento e Instalação

As licenças são contratos de uso e aquisição de software, pois estes são conteúdos intelectuais e estão protegidos por direitos autorais. A licença que será utilizada no Zéfiro é Apache 2.0, que é permissiva. Seu uso obriga a divulgação da licença com o código e a indicação de mudanças significativas.

Para o uso da aplicação Zéfiro será necessário realizar um download que estará disponível para celulares com sistema android e iOS. Para o uso do sistema via Alexa será necessário a instalação da skill.

# 7 Recursos e Restrições do Produto

## 7.1 Recursos

Capacidade de medição de poluentes atmosféricos, sendo estes: materiais particulados MP10 e MP2.5, Dióxido de Enxofre, Dióxido de Nitrogênio, Ozônio, Fumaça e Monóxido de Carbono e disponibilizar esses dados ao contratante para realização do relatório segundo CONAMA.

Realização o cálculo de IQA de cada um dos poluentes, avaliando, com isso, se o ar está bom, regular, inadequado, mal ou péssimo. Disponibilização os dados coletados e processados para a população, separando por tipo de doenças que os poluentes podem agravar, alertando sobre a qualidade do ar e que elas deveriam se cuidar.

## 7.2 Restrições

O Zéfiro é indicado para áreas urbanas e ambiente externo, não deve-se se instalado dentro de ambientes fechados e ambientes de clima extremo. Também para que se tenha pleno funcionamento é necessário exposição ao sol, caso a estação seja colocada em local sombreado não é possível assegurar a autonomia energética.

# 8 Análise de Riscos

O plano de risco tem como objetivo descrever quais são os riscos do projeto, como eles serão monitorados e controlados ao longo das *sprints*, visando entender seus impactos, procurando formas de mitigá-los ([PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2017](#)).

## 8.1 Análise Qualitativa e Quantitativa dos Dados

A análise qualitativa e quantitativa dos riscos do projeto é feita a partir da probabilidade de ocorrência e do impacto gerado e a com esses desses dois valores é feita a análise do grau de risco. As tabelas 14 e 15 mostram como esses valores são definidos.

Probabilidade	% de certeza	Peso
Nula	0%	0
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

Tabela 14 – Identificação de peso da Probabilidade

Impacto	Impacto sobre o Custo Original (%)	Peso
Nulo	0%	0
Muito Baixo	1 a 5%	1
Baixo	5 a 10%	2
Médio	10 a 15%	3
Alto	15 a 20%	4
Muito Alto	Acima de 20%	5

Tabela 15 – Identificação de peso da Impacto

O grau de risco é definido pela multiplicação da probabilidade pelo impacto. Conforme tabela abaixo.

Probabilidade	Grau de risco					Impacto
	5	10	15	20	25	
4	4	8	12	16	20	
3	3	6	9	12	15	
2	2	4	6	8	10	
1	1	2	3	4	5	
	1	2	3	4	5	Impacto

Tabela 16 – Definição de Grau de Risco

Sendo que:

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

### 8.1.1 Riscos e suas consequências

#### 8.1.1.1 Riscos de Projeto

<b>Id</b>	<b>Risco</b>	<b>Consequência</b>	<b>Probabilidade</b>	<b>Impacto</b>	<b>Grau de risco</b>
<b>1</b>	Desistência de membros	Sobrecarga dos membros remanescentes, distribuição de tarefas	2	4	8
<b>2</b>	Mudança arquitetural	Gera retrabalho, como alteração nas tarefas planejadas, mudanças estruturais e mudanças a nível de código.	2	5	10
<b>3</b>	Falha na comunicação	Erros e até perdas de informação	5	5	25
<b>4</b>	Mudança de escopo	Alteração no cronograma e redefinição dos requisitos	3	5	15
<b>5</b>	Descomprometimento da equipe	Falhas na entrega, desgaste nos membros comprometidos	5	5	25
<b>6</b>	Erro de priorização	Estimativa de produtividade e refatoração	3	4	12
<b>7</b>	Imaturidade na gerência	Diminui qualidade das entregas, aumenta o custo do projeto, afeta o planejamento, entre outros.	3	5	15
<b>8</b>	Planejamento falho	Alteração do cronograma, falhas na entrega	3	5	15

Tabela 17 – Riscos de Projeto

#### 8.1.1.2 Riscos de Técnicos

<b>Id</b>	<b>Risco</b>	<b>Consequência</b>	<b>Probabilidade</b>	<b>Impacto</b>	<b>Risco(val.)</b>
<b>9</b>	Dificuldade com as tecnologias adotadas	Prazo e qualidade de entrega, priorização de requisitos e planejamento, entre outros.	5	4	20
<b>10</b>	Integração entre áreas	Produto não atender as necessidades do cliente.	4	5	20
<b>11</b>	Atraso nas entregas	Planejamento e prazo	4	4	16

Tabela 18 – Riscos de Técnicos

#### 8.1.1.3 Riscos de Externos

<b>Id</b>	<b>Risco</b>	<b>Consequência</b>	<b>Probabilidade</b>	<b>Impacto</b>	<b>Riscos(val.)</b>
<b>12</b>	Greve na UnB	Viabilidade do projeto	1	1	1
<b>13</b>	Covid-19	Falta de algum membro e falta de maior contato entre o time pelo distanciamento	3	4	12
<b>14</b>	Política Pública	Alteração na política existente pode prejudicar a execução do projeto	1	3	3

Tabela 19 – Riscos Externos

#### 8.1.1.4 Riscos de Produto

<b>Id</b>	<b>Risco</b>	<b>Consequência</b>	<b>Probabilidade</b>	<b>Impacto</b>	<b>Riscos(val.)</b>
<b>15</b>	Produto não atender aos objetivos	O problema levantado não ser solucionado	2	5	10
<b>16</b>	Instalação do produto ser em uma área inadequada	Fucionamento incorreto do produto	2	5	10

Tabela 20 – Riscos de Produto

## 8.2 Planejamento de Respostas aos Riscos

<b>Id</b>	<b>Risco(val.)</b>	<b>Ação</b>	<b>Descrição da Ação</b>	<b>Responsável</b>
1	8	Aceitar	Realocação de Tarefas	Diretores
2	10	Mitigar	Pensamento crítico a respeito da arquitetura e procurando professores e outros suportes para a construção	Arquiteta de Software
3	25	Prevínir	Realizando sempre todos os rituais e incentivando a comunicação por issue	Diretores e Gerente geral
4	15	Prevínir	Validando constantemente com os stakeholders	Diretores e Gerente geral
5	25	Prevínir	Mostrar o propósito de suas ações, trazendo a sensação de responsabilidade.	Equipe toda
6	12	Prevínir	Utilizando técnicas de priorização e estar constantemente reavaliando a priorização	Diretores
7	15	Mitigar	Mantendo o pensamento crítico e estratégico a respeito das métricas coletadas e realizando todos os rituais. Manter o alinhamento.	Gerente geral
8	15	Prevínir	Validar constantemente o planejamento, focando sempre em entregar valor.	Diretores e Gerente geral
9	20	Mitigar	Promover treinamentos e fornecer suporte para dúvidas e dificuldades. Manter o canal de comunicação aberto.	Diretores
10	20	Mitigar	Manter as informações sempre alinhadas fazendo uso da boa comunicação.	Gerente geral
11	16	Prevínir	Realizando os rituais e observando ao longo da sprint a necessidade de intervenção dos diretores.	Equipe toda
12	1	Aceitar	Reavaliar o planejamento do projeto	Diretores e Gerente geral
13	12	Aceitar	Distribuição de tarefas e reavaliar o planejamento do projeto	Diretores e Gerente geral
14	3	Aceitar	Adequar projeto aos novos padrões	Equipe toda
15	10	Prevínir	Fazendo uma pesquisa de mercado e avaliando se a solução atende ao problema	Diretores e Gerente geral
16	15	Prevínir	Escrita de manual e guia de instalação	Diretores

Tabela 21 – Planejamento e Resposta aos riscos

# 9 Cronograma de Atividades

Como o *framework* de desenvolvimento estabelecido foi o **Scrum**, o cronograma foi dividido em 3 entregas, de acordo com os Marcos (Tabela 23) estabelecidos no TAP. Nessas entregas, as tarefas são espalhadas em *Sprints*, de duração de uma semana ([SCRUM GUIDES, 2018](#)).

## 9.1 Ponto de Controle 1

Ponto de Controle 1			
Sprint		Tarefa	Equipe
Início	Término		
28/08	11/09	Problematização	Geral
		Justificativa e Objetivos	Software/Elétrica
		Plano de Metodologia	Software
		Organização da equipe	Software
		TAP	Geral
		EAP	Geral
		Treinamentos	Software/Eletrônica
		Gerenciamento de recursos humanos	Software
		Documento de Visão	Geral
		Criação do Github	Software
		Criação da Wiki	Software
		Documentação LaTex	Elétrica
		CAD Preliminar	Estrutura
		Identificação de Gases e Partículas	Elétrica/Software
		Plano de Comunicação	Software
		Plano de Gerenciamento de riscos	Geral
		Mapeamento do processo de software	Software
		Levantamento de requisitos do aplicativo	Software
		Definição da arquitetura de software	Software
		Cronograma	Geral
		Análise de Mercado	Geral
		Revisão Bibliográfica	Geral
		Diagrama de classe	Software
		Diagrama de pacote	Software
		Principais decisões do projeto	Software

**Sprint 0**

Figura 75 – Cronograma de atividades para o PC1

## 9.2 Ponto de Controle 2

Sprint		Ponto de Controle 2		
Inicio	Término		Tarefa	Equipe
Sprint 1	12/09 18/09		Especificação de sensores	Elétrica
			Especificação de Microcontroladores/Microprocessadores	Elétrica
			Dimensionamento dos circuitos elétricos	Elétrica
			Dimensionamento sistema fotovoltaico	Elétrica
			Desenvolvimento de Sistema Girassol	Estrutura/Elétrica
			Coleta de dados	Estrutura
			Curso de Fusion 360	Estrutura
			Refinamento de diagrama de pacote	Software
			Elicitação de histórias de usuário	Software
			Configuração do ambiente dos repositórios	Software
Sprint		Ponto de Controle 2		
Inicio	Término		Tarefa	Equipe
Sprint 3	26/09 02/10		Simulação dos circuitos	Elétrica
			Desenvolvimento do envio de dados para Nuvem	Elétrica
			Escolha de Painéis e Arranjos	Elétrica
			Escolha de Baterias e Arranjos	Elétrica
			Design Estrutural Avançado	Estrutura
			Configuração de ambiente dos repositórios	Software
			Receber informações personalizadas	Software
			A Alexa deve responder questões sobre quais são os poluentes presentes no ar	Software
Sprint		Ponto de Controle 2		
Inicio	Término		Tarefa	Equipe
Sprint 2	19/09 25/09		Confeção do relatório	Geral
			Documentação dos esquemáticos	Elétrica
			Documentação do sistema embarcado	Elétrica
			Documentação Estrutural	Estrutura
			criação do Mapa	Software
			Deploy da API	Software

Figura 76 – Cronograma de atividades para o PC2

## 9.3 Ponto de Controle 3

Sprint		Ponto de Controle 3		
Inicio	Término		Tarefa	Equipe
Sprint 5	10/10 16/10		Protocolo de calibração dos sensores	Elétrica
			Integração sistema físico-aplicação	Elétrica/Software
			Ajustes do sistema fotovoltaico	Elétrica
			Simulações	Estrutura
			Organizar documentos para o draft e manual	Estrutura
			Notificação de recomendação	Software
			A Alexa deve responder questões personalizadas de acordo com um problema de saúde	Software
Sprint		Ponto de Controle 3		
Inicio	Término		Tarefa	Equipe
Sprint 7	24/10 30/10		Protocolo de teste do Sistema Girassol	Elétrica/Estrutura
			Confeção do manual	Estrutura
			Confeção do desenho	Estrutura
			Alerta fumaça	Software
			Mostrar informações	Software
Sprint		Ponto de Controle 3		
Inicio	Término		Tarefa	Equipe
Sprint 6	17/10 23/10		Protocolo de testes do sensoramento de qualidade do ar	Elétrica
			Simulações	Estrutura
			Organizar documentos para o draft e manual	Estrutura
			Criação do gráfico	Software
			Notificação do IQA	Software
			A Alexa deve responder perguntas sobre o histórico da IQA	Software
Sprint		Ponto de Controle 3		
Inicio	Término		Tarefa	Equipe
Sprint 8	31/10 06/11		Confeção do relatório	Geral
			Confeção do manual	Estrutura
			Confeção do desenho	Estrutura
			Confeção dos documentos para PC3	Estrutura
			Status do IQA na estação	Software

Figura 77 – Cronograma de atividades para o PC3

## Referências

ALMEIDA, R. . Energia solar fotovoltaica: Revisão bibliográfica. Fumec, 2016. Citado na página 63.

ALPHASENSE. Alphasense user manual opc-n3 optical particle counter. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 45 e 46.

ALPHASENSE. *OPC-N3 Particle Monitor*. 2019. Disponível em: <<http://www.alphasense.com/WEB1213/wp-content/uploads/2019/03/OPC-N3.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2020. Citado na página 45.

ALPHASENSE. Alphasense 4-electrode individual sensor board (isb) - user manual. 2020. Disponível em: <<http://www.alphasense.com/WEB1213/wp-content/uploads/2019/10/ISB.pdf>>. Citado na página 42.

ALPHASENSE. *Technical Specification - CO-B4 Carbon Monoxide Sensor 4 - Electrode*. 2020. Disponível em: <<http://www.alphasense.com/WEB1213/wp-content/uploads/2019/09/CO-B4.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 231.

ALPHASENSE. Technical specification - individual sensor board (isb) alphasense b4 4-electrode gas sensors. 2020. Disponível em: <<http://www.alphasense.com/WEB1213/wp-content/uploads/2019/10/ISB.pdf>>. Citado na página 41.

ALPHASENSE. *Technical Specification - NO-B4 Nitric Oxide Sensor 4 - Electrode*. 2020. Disponível em: <<http://www.alphasense.com/WEB1213/wp-content/uploads/2019/09/NO-B4.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 233.

ALPHASENSE. *Technical Specification - NO2-B43F Notrogen Dioxide Sensor 4 - Electrode*. 2020. Disponível em: <<http://www.alphasense.com/WEB1213/wp-content/uploads/2019/09/NO2-B43F.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 232.

ALPHASENSE. *Technical Specification - OX-B431 Oxidising Gas Sensor Ozone + Nitrogen Dioxide 4-Electrode*. 2020. Disponível em: <<http://www.alphasense.com/WEB1213/wp-content/uploads/2019/09/OX-B431.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 235.

ALPHASENSE. *Technical Specification - SO2-B4 Sulfur Dioxide Sendsor 4 - Electrode*. 2020. Disponível em: <<http://www.alphasense.com/WEB1213/wp-content/uploads/2019/09/SO2-B4.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 234.

ALVES, R. e. a. *LDR - Light Dependent Resistor - Projeto Contador de Passagem*. 2010. Disponível em: <[https://www.gta.ufrj.br/grad/01\\_1/contador555/ldr.htm](https://www.gta.ufrj.br/grad/01_1/contador555/ldr.htm)>. Citado na página 48.

AMAZON ALEXA. *O que é Alexa?* 2020. Disponível em: <<https://developer.amazon.com/pt-BR/alexa>>. Acesso em: 10 set. 2020. Citado na página 107.

AMORIM, F. de O. *Espaço da circulação e saúde ambiental na produção do espaço urbano em Manaus*. 2011. Citado na página 27.

ANDERSON; JOHN D. *Fundamentals of aerodynamics*. [S.l.]: Tata McGraw-Hill Education, 2010. Citado na página 97.

ANEEL. Atlas de energia elétrica do brasil. 2005. Disponível em: <[https://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2005\\_AtlasEnergiaEletricaBrasil2ed/06b7ec52-e2de-48e7-f8be-1a39c785fc8b](https://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2005_AtlasEnergiaEletricaBrasil2ed/06b7ec52-e2de-48e7-f8be-1a39c785fc8b)>. Citado na página 62.

ANSYS, INC. *Discrete Ordinates (DO) Radiation Model Theory*. 2009. Disponível em: <<https://www.ansys.com/-/media/assets/ansys-corporate/white-papers/ansys-discrete-ordinates-radiation-model-theory.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 81 e 82.

ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL. *Banco de dados solarimétricos*. 2020. Disponível em: <[http://cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas\\_Solarimetrico\\_do\\_Brasil\\_2000.pdf](http://cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf)>. Citado na página 81.

BARBOSA, A. . Implantação de um sistema de fotovoltaico off-grid na região do pantanal sul-mato-grossense. *IX Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, São Bernardo do Campo, São Paulo, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 65 e 67.

BOEHRINGER INGELHEIM BRASIL. *Como respira o brasileiro?* 2015. Disponível em: <<https://www.boehringer-ingelheim.com.br/press-release/como-respira-o-brasileiro>>. Acesso em: 26 ago. 2020. Citado na página 128.

BOSCH. *BME280 Combined humidity and pressure sensor*. 2015. Disponível em: <[https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BME280\\_DS001-10.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BME280_DS001-10.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2020. Citado 3 vezes nas páginas 37, 39 e 58.

CANDIDO, G. *Sensor de Gás NQ-135 e a família de MQ de detectores de Gás*. 2017. Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/sensor-de-gas-mq-135/>>. Acesso em: 29 set. 2020. Citado na página 47.

CARVALHO. Desenvolvimento de um mecanismo de posicionamento de placas fotovoltaicas para rastreamento solar via raspberry pi. UFPR, 2015. Citado na página 74.

CDP. *Monitoramento da qualidade do ar*. 2018. Disponível em: <<https://www.cdp.com.br>>. Acesso em: 29 set. 2020. Citado na página 22.

CELLS, C. P. Gl5528 datasheet, disponível em:< [https://img.filipeflop.com/files/download/datasheet\\_ldr.pdf](https://img.filipeflop.com/files/download/datasheet_ldr.pdf)>. Acesso em, v. 4, 2018. Citado 3 vezes nas páginas 48, 49 e 50.

CETESB. *Histórico*. 2019. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/historico/>>. Acesso em: 1 set. 2020. Citado na página 21.

CIMM. *Definição - O que é Material particulado*. 2020. Disponível em: <<https://www.cimm.com.br/portal/verbetes/exibir/709-material-particulado>>. Citado na página 22.

CIRCUIBRAS. *Parâmetros Técnicos para o Desenvolvimento de Circuitos Impressos*. 2009. Disponível em: <[http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/te232/textos/CIRCUIBRAS\\_Manual\\_Tecnico.pdf](http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/te232/textos/CIRCUIBRAS_Manual_Tecnico.pdf)>. Citado na página 157.

COM CIÊNCIA. *O que é a Agenda 2030 das Nações Unidas e quais são os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. 2019. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/>>. Acesso em: 11 set. 2020. Citado na página 141.

COMSCORE. *The Global Mobile Report*. 2015. Disponível em: <<https://www.comscore.com/por/Insights/Apresentacoes-e-documentos/2015/The-Global-Mobile-Report>>. Acesso em: 11 set. 2020. Citado na página 141.

CRESESB. *Base de Dados de radiação solar incidente (irradiação solar)*. 2020. Disponível em: <<http://www.creesesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 06 out. 2020. Citado na página 67.

DEMEDYUK, I.; TSYBULSKYI, N. *Flutter vs Native vs React-Native: Examining performance*. 2020. Disponível em: <<https://medium.com/swlh/flutter-vs-native-vs-react-native-examining-performance-31338f081980>>. Acesso em: 10 set. 2020. Citado na página 106.

ECOSOFT . *Ecosoft Soluções Ambientais*. 2015. Disponível em: <<https://www.ecosoft.com.br/>>. Acesso em: 8 set. 2020. Citado na página 21.

ECYCLE. *Dióxido de nitrogênio? Conheça o NO<sub>2</sub>*. 2020. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/2393-no2-dioxido-de-nitrogenio>>. Acesso em: 27 set. 2020. Citado na página 23.

ECYCLE. *Os perigos do material particulado*. 2020. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/1379-material-particulado>>. Citado na página 22.

ECYCLE. *Ozônio: o que é?* 2020. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/2026-ozonio.html>>. Acesso em: 27 set. 2020. Citado na página 23.

ECYCLE. *Óxidos de nitrogênio: o que são os NO<sub>x</sub> e quais seus impactos*. 2020. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/3052-oxidos-de-nitrogenio>>. Acesso em: 27 set. 2020. Citado na página 23.

FERREIRA, V. R. *Dióxido de Enxofre*. 2020. Disponível em: <<https://www.manualdaquimica.com/quimica-ambiental/dioxido-enxofre.htm>>. Acesso em: 23 set. 2020. Citado na página 23.

GARROCHO, J. S. *Luz natural e projeto de arquitetura*. 2005. Citado na página 51.

GAZOLI, V. . Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. Érica, São Paulo, 2012. Citado na página 64.

GEERS, M. *Micro Frontends extending the microservice idea to frontend development*. 2017. Disponível em: <<https://micro-frontends.org/>>. Acesso em: 10 set. 2020. Citado na página 103.

GOMES, P. A. M. V. Utilização de sensores de baixo custo na medição de monóxido de carbono no ar ambiente. nov 2015. Citado na página 40.

GOOGLE. *APIs de geolocalização. Google Maps Platform*. 2020. Disponível em: <<https://cloud.google.com/maps-platform>>. Acesso em: 10 set. 2020. Citado na página 107.

- JACKSON, C. Micro frontends. *Da https://martinfowler.com/articles/micro-frontends.html*, 2019. Citado na página 103.
- JAYARAM, P. *When to Use (and Not to Use) MongoDB*. 2016. Disponível em: <<https://dzone.com/articles>>. Acesso em: 10 set. 2020. Citado na página 107.
- LEWIS, J.; FOWLER, M. *Microsserviços em poucas palavras*. 2016. Disponível em: <<https://www.thoughtworks.com/pt/insights/blog/microservices-nutshell>>. Acesso em: 10 set. 2020. Citado na página 103.
- LIMA, C. B. D. *Técnicas de Projetos Eletrônicos com os Microcontroladores AVR*. [S.l.]: Clube de Autores, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 156 e 157.
- LIMA, G. B. *Física, 3<sup>a</sup> série: ensino médio*. [S.l.]: Editora Educacional, 2012. Citado na página 63.
- LOPATOVSKA, I. et al. Talk to me: Exploring user interactions with the amazon alexa. *Journal of Librarianship and Information Science*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 51, n. 4, p. 984–997, 2019. Citado na página 140.
- LOPES, T. s. A. e. a. Influência das condições metereológicas da cidade de natal-rn na dispersão de poluentes armosféricos. *IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental e III Fórum Americano de Engenharia e Sustentabilidade*, 2017. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/engineeringproceedings/xveneeamb/111.pdf>>. Citado na página 37.
- MDN WEB DOCS. *Introdução Express/Node*. 2020. Disponível em: <[https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Learn/Server-side/Express\\_Nodejs](https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Learn/Server-side/Express_Nodejs)>. Acesso em: 10 set. 2020. Citado na página 107.
- MEDEIROS, I. Sistema de controle rastreável para painéis fotovoltaicos: Protótipo. UFRN, 2016. Citado na página 74.
- MEHL, E. L. d. M. Circuitos impressos - Origens e materiais. *Apostilas sobre Projeto de Circuitos Impressos usando o software EAGLE*, p. 1–9, 1995. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/pci/apostila1cc.pdf>>. Citado na página 156.
- MELLO, D. . Estudo da implementação de um sistema de energia solar fotovoltaica em um edifício da universidade presbiteriana mackenzie. . Abenge –Associação Brasileira de Educação de Engenharia. Fortaleza, Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2008. Citado na página 65.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. Boletim epidemiológico. v. 47, n. 19, 2016. Disponível em: <<https://www.saude.gov.br/images/pdf/2016/maio/06/2015-026-doencas-respiratorias-cronicas.pdf>>. Acesso em: 3 set. 2020. Citado na página 27.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. MMA anuncia programa de qualidade do ar. 2016. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/informma/item/15508-mma-anuncia-programa-de-qualidade-do-ar.htm>>. Acesso em: 3 set. 2020. Citado na página 22.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *RESOLUÇÃO Nº 491, DE 19 DE NOVEMBRO DE 2018.* 2018. Disponível em: <[https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TzC2Mb/content/id/51058895](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TzC2Mb/content/id/51058895)>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 238.

MONTE, E. Z.; ALBUQUERQUE, T. T. d. A.; REISEN, V. A. Impactos das variáveis meteorológicas na qualidade do ar da região da grande vitória, espírito santo, brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, Scielo, p. 546 – 554, 12 2016. Citado na página 24.

MOTOR SIZING SOFTWARE. *Version 4.1.4. Oriental Motor Asia Pacific PTE.LTD.* 2020. Disponível em: <<https://www.orientalmotor.com.sg/>>. Citado na página 92.

NASCIMENTO, J. L. do. Desenvolvimento de um protótipo de seguidor solar biaxial. p. 65, 2019. Citado na página 50.

NATIONAL SERVICE CENTER FOR ENVIRONMENTAL PUBLICATIONS. *Flame Retardants in Printed Circuit Boards.* 2015. Disponível em: <[https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/pcb\\_ch2.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/pcb_ch2.pdf)>. Citado na página 156.

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: 26 ago. 2020. Citado 3 vezes nas páginas 22, 25 e 128.

ONU. *Lançamento da Análise do Monitoramento da Qualidade do Ar no Brasil – 2019.* 2019. Disponível em: <<https://www.saudeesustentabilidade.org.br/acoes/lancamento-da-analise-do-monitoramento-da-qualidade-do-ar-no-brasil-2019/>>. Acesso em: 26 ago. 2020. Citado na página 22.

PEGORIM, J. *Alta pressão piora a qualidade do ar.* 2015. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/noticias/316157/alta-pressao-piora-a-qualidade-do-ar/>>. Citado na página 24.

PEREIRA. Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica. *Publindústria*, Porto, 2011. Citado 3 vezes nas páginas 63, 64 e 65.

PRÓ-SAÚDE. *Os riscos da inalação de fumaça e como se proteger no período de queimadas.* 2020. Disponível em: <<https://www.prosaude.org.br/noticias/os-riscos-da-inalacao-de-fumaca-e-como-se-proteger-no-periodo-de-queimadas/>>. Acesso em: 29 set. 2020. Citado na página 22.

PROGRAMME, U. N. E.; ORGANIZATION, W. H. Environmental healt criteria 13 - carbon monoxide. *International Programme on Chemical Safety,* 1979. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc013.html>>. Citado na página 23.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide).* [S.l.]: Project Management Inst, 2017. v. 6. Citado na página 116.

SANTOS, C. A. D. S.; SILVA, H. A. A.; CARVALHO, J. L. D. Desenvolvimento De Um Mecanismo De Posicionamento De Placas Fotovoltaicas Para Rastreamento Solar Via Raspberry Pi. p. 106, 2015. Citado na página 50.

SCRUM GUIDES. *The Scrum Guide.* 2018. Disponível em: <<https://www.scrumguides.org/scrum-guide.html>>. Acesso em: 4 set. 2020. Citado na página 119.

SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE. Perfil da morbimortalidade por doenças respiratórias crônicas no brasil, 2003 a 2013. *Boletim Epidemiológico*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 47, n. 19, 2016. Citado na página 142.

SHOME, S. et al. Performance evaluation of different averaging based filter designs using digital signal processor and its synthesis on fpga. *International Journal of signal processing, Image processing and Pattern Recognition*, Citeseer, v. 5, n. 3, p. 75–92, 2012. Citado na página 158.

SILVA, B. A. F. da. *Sistema de Monitorização Ambiental Urbana com Redes de Sensores Sem Fios*. 2019. Citado 3 vezes nas páginas 41, 42 e 44.

SOUZA, C. Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo para alimentação de cargas em propriedades rurais. *Trabalho de Conclusão de Curso 2*, Universidade Federal de Uberlândia, 2013. Citado na página 69.

TEC-CI. *Circuito Impresso – As espessuras do laminado e do cobre. Onça (Oz) unidade de massa, de volume ou métrica?* 2016. Disponível em: <<https://tec-ci.com.br/blog/circuito-impresso>>. Citado na página 156.

TÉCNICAS, A. B. D. N. Nbr 6123: Forças devidas ao vento em edificações. *Rio de Janeiro*, 1988. Citado na página 96.

VEJA. *Alexa, da Amazon, deve manter liderança no mercado de assistentes pessoais*. 2020. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/tecnologia/alexa-da-amazon-deve-manter-lideranca-no-mercado-de-assistentes-pessoais/>>. Acesso em: 11 set. 2020. Citado na página 141.

WANG, Y. Q. et al. Modeling and simulation of printed circuit board drop test. *Proceedings of 5th Electronics Packaging Technology Conference, EPTC 2003*, n. January, p. 263–268, 2003. Citado na página 156.

WEATHERSPARK. *Condições meteorológicas médias de Brasília – weatherspark*. 2020. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/30238/Clima-caracteristico-em-Brasilia-Brasil-durante-o-ano>>. Citado na página 95.

WEIDAUER, A. *Conversational AI: Your Guide to Five Levels of AI Assistants in Enterprise*. 2018. Disponível em: <<https://blog.rasa.com/conversational-ai-your-guide-to-five-levels-of-ai-assistants-in-enterprise/>>. Acesso em: 10 set. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 140.

# Apêndices

# APÊNDICE A – TERMO DE ABERTURA DE PROJETO (TAP)

## A.1 Descrição do Projeto

O projeto é uma estação de monitoramento da qualidade do ar, realizando o sensoriamento dos gases e de partículas poluentes de acordo com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018. Os dados adquiridos são enviados para um banco de dados para o uso da aplicação mobile e *skill* da Alexa, a qual informará o usuário sobre as condições do ar, de forma que esses possam se prevenir pioras de quadros de saúde.

## A.2 Justificativa

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.

No entanto, existem indivíduos que apresentam histórico médico e mais predisposição genética para desenvolver quadros clínicos mais severos, como por exemplo: asmáticos. Em 2015, estimava-se que no Brasil tinha cerca de 20 milhões de pessoas com asma, de acordo com a Boehringer Ingelheim do Brasil ([BOEHRINGER INGELHEIM BRASIL, 2015](#)). Além de não ser saudável a constante exposição, a baixa qualidade do ar também atinge a economia, o Ministério da Saúde informou que em 2018 teve um gasto de mais de R\$ 1,3 bilhão com internações no sistema de saúde devido a problemas respiratórios.

## A.3 Objetivo

Sensorear a qualidade do ar de uma área pré-determinada, analisando o nível dos gases e partículas poluentes, visando alimentar um banco de dados para uso dos órgãos responsáveis, aplicação mobile e da *skill* da Alexa.

A aplicação tem o objetivo de informar, de alertar e de notificar para prevenção de possíveis crises de saúde quando a qualidade do ar estiver crítica. O aplicativo surge como meio de mostrar dados e sugestões, além de notificar os usuários quando a qualidade do ar for um perigo para eles para que possam tomar medidas preventivas. Já a *skill* da Alexa, vem como uma forma de dúvidas ou notificações rápidas sobre a qualidade do ar,

assim os usuários podem saber, rapidamente, o que precisam fazer naquele momento ou como podem se preparar.

## A.4 Requisitos

Os requisitos de alto-nível elencados foram:

- Sensoriamento automatizado de gases e partículas poluentes;
- Disposição de dados coletados na Nuvem;
- Autonomia energética;
- Fácil instalação e manutenção;
- Disponibilizar gráficos com histórico de qualidade do ar para que o usuário possa ter informações de como está o ar e comparar com períodos anteriores;
- O usuário deve receber informações sobre o ar e seus componentes, bem como outras informações para que possa estar ciente do que respira;
- O sistema deve possuir integração com a Alexa para que possa servir como suporte para o usuário usando comando de voz;
- O sistema deve notificar o usuário sobre a qualidade do ar para ajudar pessoas com problemas respiratórios;
- O usuário deve poder acessar a localização das estações de monitoramento e seus status para saber onde estão as estações;
- O sistema deve avisar ao usuário por meio de um alerta quando houver fumaça para ajudar pessoas com problemas respiratórios.

## A.5 Riscos

A tabela 22, descreve os riscos elencados durante a abertura do projeto.

Risco	Consequência
Produto não atender aos objetivos.	O problema levantado não ser solucionado.
Alteração na política existente pode prejudicar a execução do projeto.	Necessidade de readequar o escopo.
Dificuldade com as tecnologias adotadas.	Prazo e qualidade de entrega, priorização de requisitos e planejamento, entre outros.
Covid-19	Falta de algum membro e falta de maior contato entre o time pelo distanciamento.

Tabela 22 – Tabela de riscos elencada na Abertura do Projeto

## A.6 Marcos do Projeto

Durante a execução projeto, ocorrerão entregas principais, os Pontos de Controle (PC). Na tabela 23, é descrito os marcos e suas datas.

Marco	Descrição	Data
PC 1	Problematização, concepção e detalhamento da solução	13/09
PC 2	Projeto e construção do subsistema da solução da proposta	16/10
PC 3	Projeto de subsistemas e integração da solução proposta	13/11

Tabela 23 – Tabela de Marcos do Projeto

## A.7 Stakeholders

### A.7.1 Equipe

Engenharia AeroEspacial: Rafael Mascarenhas, Vitor Mendes e Yago Vencerlêncio

Engenharia Automotiva: Euclides Santanna e Luiz Gustavo Alberto

Engenharia Eletrônica: Clara Justa, Debóra Janini e Felipe Alcântara

Engenharia de Energia: Ana Carolina Faria e Icoana Martins

Engenharia de Software: Amanda Emilly, Calbe Rios, Indiara Duarte, Luciana Ribeiro, Vitor Cardoso

### 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)

### A.7.3 PÚBLICO ALVO

O público alvo do Zéfiro são pessoas portadoras de DRCs, principais afetados pela poluição do ar, pois seus quadros clínicos são drasticamente agravados, como: asmáticos, portadores de rinite alérgica e doença pulmonar obstrutiva.

### A.7.4 Investidor

Os Órgãos Estaduais do Meio Ambiente, por terem interesse no monitoramento da qualidade do ar e melhoria da mesma e os Órgãos de Saúde, que visam o controle e melhoria da saúde da população.

# APÊNDICE B – Estrutura Analítica do Projeto (EAP)

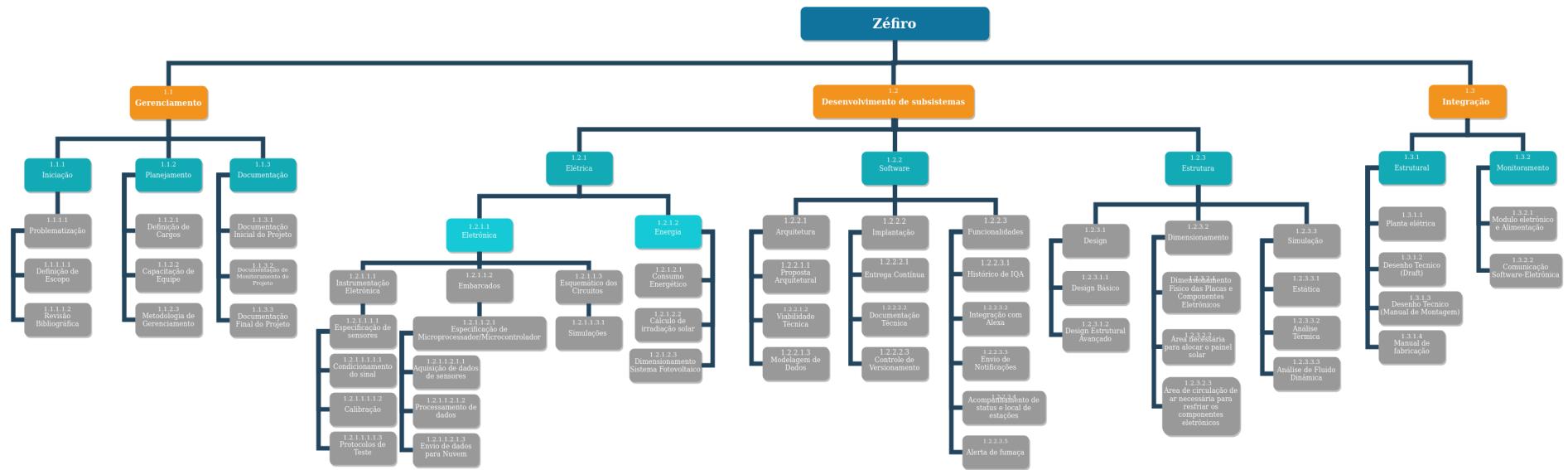


Figura 78 – Organograma da EAP.

# APÊNDICE C – PLANO DE GERENCIAMENTO DE COMUNICAÇÃO

O plano de comunicação tem como objetivo esclarecer e descrever todas as formas como a equipe irá se comunicar entre e si e com os demais *stakeholders*. O plano de comunicação é muito mais do que um simples relato das ferramentas usadas para comunicação, ele deve ser seguido a risca para que ocorra uma boa transmissão de informações e consequentemente um aumento nas chances de um projeto bem sucedido.

O foco desse plano é identificar quais são as necessidades comunicativas dos interessados e definir a maneira mais apropriada para que sua distribuição ocorra, evitando assim a existência de falhas na transição da mensagem.

Quem?	Membros da equipe e seus respectivos times, professores e demais <i>stakeholders</i> .
O quê?	Integração das diferentes equipes, comunicação de problemas, dificuldades e relatório de atividades.
Quando?	Diariamente para assuntos mais rápidos e duas vez na semana para assuntos importantes e oficiais.
Por quê?	Para que haja uma comunicação efetiva e de qualidade.
Como?	Telegram, Microsoft Teams, Github, Google Drive e Google Meet.
Por quem?	Todos os integrantes da equipe devem fazer parte da comunicação. Ficando a responsabilidade de passar as informações entre os times para o diretores.

Tabela 24 – Tabela plano de comunicação

- **Telegram:** É o principal meio de comunicação do time. Essa comunicação é feita em cinco grupos, um geral, um para a diretoria e três para os times que compõem a equipe. É utilizado para passar avisos, tirar dúvidas, indicar material de estudo e manter uma comunicação rápida e simples entre os membros.
- **GitHub:** O Github é a ferramenta onde se encontra a wiki do projeto, com toda a documentação criada durante o ciclo de vida do projeto. Além disso, possui repositórios somente utilizados pela equipe de software. Estes contém os códigos-fonte do sistema de monitoramento do ar.
- **Google Meet:** Todas as reuniões feitas entre os membros da equipe, desde reuniões gerais até reuniões entre diretorias, são feitas utilizando o Google Meet.
- **Google Drive:** É pelo Google Drive que o compartilhamento de materiais é feito. Além disso, toda a informação necessária de cada membro é guardada ali. Por último, é utilizada para criar documentos. Toda a documentação importante para o projeto é armazenada nele.
- **Microsoft Teams:** Toda comunicação e alinhamento entre equipe e professores será feita pelo Microsoft Teams.

# APÊNDICE D – PLANO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HUMANOS

## D.1 Papéis da Equipe Geral

Ao longo do projeto a equipe terá quatro papéis bem definidos, os quais irão trabalhar de forma organizada e em conjunto para garantir a integração de todas as engenharias. A figura 79 demonstra a distribuição da equipe.

### D.1.1 Gerente geral

O gerente geral é a pessoa responsável por conduzir o desenvolvimento do projeto, pelo planejamento e gestão do mesmo. Além disso, realiza projeções de riscos e resultados. É de obrigação do gerente geral possuir uma visão geral do projeto, de forma a garantir que todas as frentes de trabalho estão sendo feitas de acordo com o escopo definido.

### D.1.2 Diretor de qualidade

O diretor de qualidade é a pessoa responsável por dar suporte ao gerente geral e garantir que o produto atende aos requisitos técnicos do projeto.

### D.1.3 Diretor técnico

O diretor técnico é a pessoa responsável por conduzir o trabalho de sua subequipe, cuidar da gestão e do planejamento das atividades técnicas. Além disso, é encarregado pela comunicação entre gerente geral e subequipe. Para uma boa organização do projeto será necessário a existência de três diretores técnicos, sendo eles: diretor técnico de elétrica, diretor técnico de estrutura e diretor técnico de software.

### D.1.4 Desenvolvedor/projetista

O desenvolvedor/projetista é a pessoa responsável pela aplicação dos conhecimentos técnicos na produção dos elementos que compõem o projeto. Todos os integrantes serão projetistas.

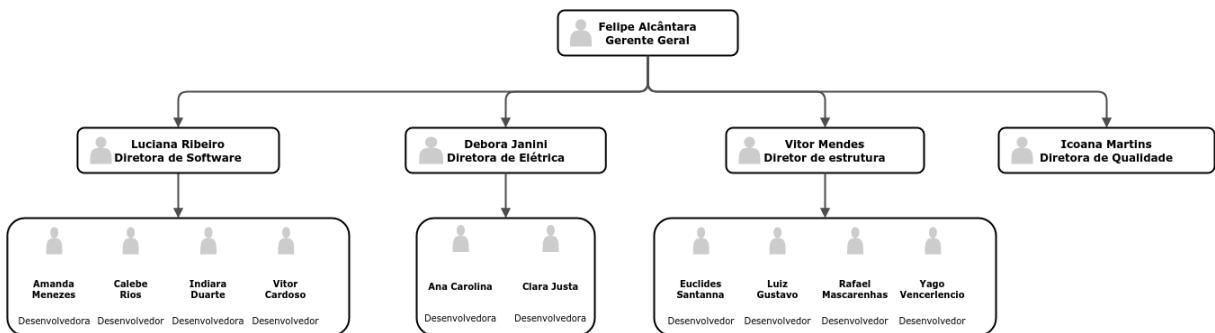


Figura 79 – Organograma da Distribuição de papéis da equipe.

## D.2 Práticas Ágeis

Essas práticas são formas de conduzir a equipe para alcançar melhores resultados, entre métricas, indicadores e rituais. Foram separadas algumas práticas ágeis que serão aplicadas ao longo do projeto.

- **Visão do produto:** é de extrema importância garantir que todos os integrantes entendam qual produto será criado, para que durante o desenvolvimento não ocorra conflitos de ideias. A visão do produto será definida no início do projeto. Para isso, uma análise detalhada será feita em reunião com a equipe, para que todos tenham o mesmo conceito sobre o produto.
- **Product Backlog:** é o conjunto de funcionalidades e características pensadas e desejadas para o produto.
- **Controle de versão:** será feito um controle de versão das documentações criadas durante o projeto.
- **Iterações:** uma iteração é uma sprint de trabalho. As sprints são fixas e têm duração de uma semana. Toda semana serão feitas duas reuniões com toda a equipe, às quartas e às sextas.
- **Sprint planning:** é uma reunião realizada no início de uma sprint para definir o que será feito nela.
- **Sprint review:** é uma reunião para verificar e analisar os resultados obtidos no final de uma sprint.
- **Daily stand-up meeting:** é uma reunião diária de no máximo 15 minutos, onde todos os integrantes devem falar o que fizeram e quais problemas estão enfrentando. É uma técnica utilizada para mitigar riscos.

## D.3 Gerenciamento da Equipe de Software

### D.3.1 Papéis da Equipe de Software

A tabela 25, descreve a separação da equipe nos papéis gerenciais.

#### D.3.1.1 Arquiteto

O arquiteto é a pessoa responsável por construir a arquitetura do projeto, garantir que o software segue a arquitetura desenhada e por definir as tecnologias que serão utilizadas.

#### D.3.1.2 DevOps

O devOps é a pessoa responsável por unir o desenvolvimento à parte operacional, realizando a configuração do ambiente de desenvolvimento, a integração contínua. Além disso, é a pessoa que tem uma visão geral do projeto todo.

#### D.3.1.3 Product owner

O product owner é a pessoa responsável por ter uma visão mais aprofundada do produto. Ela representa os interesses do cliente dentro do time. Garante que o desenvolvimento caminhe junto aos interesses do cliente. É a pessoa responsável por criar o conceito de produto do projeto e garantir que o projeto siga o que foi definido como produto.

#### D.3.1.4 Tech lead

O tech lead é a pessoa responsável por garantir a condução constante do projeto, planejar as sprints e garantir que este está sendo seguido. Além disso, é encarregado pela análise dos resultados de cada sprint e de mitigação de erros e riscos.

#### D.3.1.5 Quality assurance

O quality assurance é a pessoa responsável por garantir a qualidade do código e do produto junto ao PO durante sua construção e manutenção. Deve auxiliar na identificação de problemas desde o inicio do processo.

#### D.3.1.6 Devs

O time de devs é composto por uma equipe responsável por desenvolver e testar o que foi planejado.

<b>Arquiteto</b>	Amanda
<b>DevOps</b>	Calebe
<b>Product Owner</b>	Indiara
<b>Tech Lead</b>	Luciana
<b>Quality Assurance</b>	Vitor
<b>Devs</b>	Todos os integrantes do time de software.

Tabela 25 – Distribuição de papéis equipe de software.

### D.3.2 Práticas Ágeis de Software

- Testes:
  - Testes unitários;
  - Testes de Aceitação.
- Processo:
  - Definição de Pronto;
  - Backlog de Melhoria.

#### D.3.2.1 Requisitos

História de usuário - é uma forma de definir e organizar os requisitos do sistema, centrando a visão no usuário.

#### D.3.2.2 Desenvolvimento

##### D.3.2.2.1 Pair-Programming

O pareamento consiste em uma forma de trocar conhecimento, alinhar o grupo, tirar dúvidas e desenvolver algo em conjunto. É o momento em que os pares se juntam para que um desenvolva e o outro auxilie por um curto período até que o papel rotacione.

##### D.3.2.2.2 Refactoring

É o processo de refatoração de código com o intuito de melhorar a sua estrutura sem que haja alteração no que o sistema faz.

##### D.3.2.2.3 Build Automatizado

É utilizado para construir a aplicação de forma automatizada, a partir de apenas um comando.

#### D.3.2.2.4 Integração Contínua

A integração contínua é feita utilizando Travis e Codeclimate com o intuito de receber um *feedback* instantâneo a respeito do que foi commitado, rodando os testes e a análise do código de forma automática.

#### D.3.2.2.5 Code Review

A revisão de código é feita em duas partes. A primeira é quando o pull request precisa ser aceito, então algum integrante do time que não tenha trabalhado nisso precisa revisar e aceitar o mesmo. A segunda parte é feita na reunião da Sprint onde o time avalia e repassa os conhecimentos adquiridos, as dificuldades enfrentadas e então o que deve ser melhorado vem à tona.

#### D.3.2.2.6 Entregas Frequentes

As entregas ao longo do projeto são feitas de forma frequente. Para que a equipe alcance o nível ótimo de produtividade, é preciso que as entregas sejam constantes, para isso são planejadas as entregas ao longo da sprint.

# APÊNDICE E – Principais Decisões do Projeto

## E.1 Desenvolver uma skill da Alexa

Como principal fator de inovação para o tema do projeto será desenvolvido uma skill para Alexa da Amazon. Esta é uma assistente virtual personalizada e controlada por voz, que tem ganhado rápida popularidade nos últimos anos.

A literatura indica algumas projeções de inteligência artificial (IA) conversacional juntamente com um guia dos cinco níveis de assistentes de IA, e isso pode ser visto na figura abaixo.

A Alexa possui como classificação o nível 4, já que neste existe um grau de aprendizado amadurecido que faz com que a IA entre em contato e fale de forma proativa com base em contexto. Para isso, ela lembrará das preferências do usuário e fornecerá uma interface personalizada definitiva.

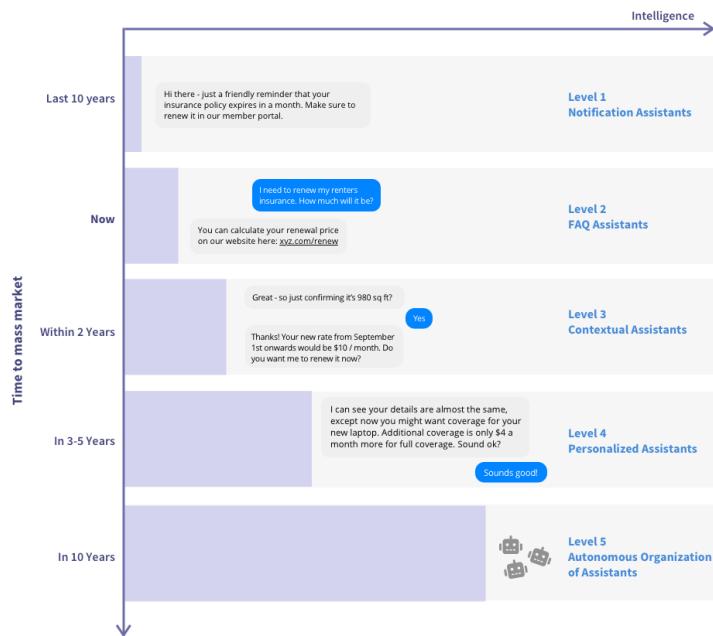


Figura 80 – Imagem de Weidauer (2018)

No estudo de Lopatovska et al. (2019), foi revelado o uso da Alexa se concentrou em verificar as previsões do tempo, em tocar música e controlar outros dispositivos, independente da faixa etária do usuário.

Já no relatório feito pela consultoria eMarketer os resultados indicaram que a Alexa da Amazon seguirá na liderança do mercado de assistentes pessoais até 2021 controlando mais da metade de toda a indústria. Dentre as justificativas para essa projeção estão as constantes atualizações que a assistente recebe, - o que aumenta sua efetividade em comparação com concorrentes como o Google Assistente; e também a abertura para que desenvolvedores externos criem suas próprias *skills* compatíveis com dispositivos de outras marcas ([VEJA, 2020](#)).

## E.2 Desenvolver uma aplicação Mobile

De acordo com o Mobile Globe Report, os usuários têm passado mais tempo conectados a internet a partir dos seus celulares, do que em outros tipos de dispositivos. Comprovadamente, o celular é usado por mais de 67% da população, o que representa cerca de dois terços do mundo, com mais de 5,2 bilhões de pessoas.

Segundo dados obtidos através desta pesquisa, a média do tempo dedicado ao celular chega a ser de 30 a 40 horas semanais. As conexões a partir de smartphones tiveram um aumento de 6,20% em 2019, comparado a 2018. Países que apresentam uma média alta no tempo das suas conexões, geralmente são aqueles que contam com uma experiência positiva no uso de aplicativos móveis ([COMSCORE, 2015](#)).

Dessa forma, surge a ideia de desenvolver um aplicativo mobile utilizando a tecnologia Flutter para que os usuários, sobretudo, àqueles que foram acometidos por doenças respiratórias consigam ter acesso rápido e prático a informações confiáveis sobre a qualidade do ar. Dentre algumas funcionalidades, temos o envio de notificações quando o índice de qualidade do ar estiver crítico para a saúde, exibição de gráficos com histórico da qualidade do ar nos últimos 7 dias, envio de alertas quando houver presença de fumaça no ar, recomendações de saúde e atividades para os usuários do aplicativo, dentre outras.

## E.3 Estruturar o escopo de funcionalidades com base nos ODS da Agenda 2030

A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável corresponde a um conjunto de programas, ações e diretrizes que orientam os trabalhos das Nações Unidas e de seus países membros rumo ao desenvolvimento sustentável. Ela é composta por 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas correspondentes, fruto do consenso obtido pelos delegados dos Estados Membros da ONU ([COM CIÊNCIA, 2019](#)).

Dentre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável elencados pela ONU, os três principais que se relacionam diretamente com o escopo de funcionalidades do nosso apli-

cativo e também da skill Alexa são:

- **Objetivo 3:** Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todas e todos, em todas as idades.
  - **Meta 3.9:** Até 2030, reduzir substancialmente o número de mortes e doenças por produtos químicos perigosos, contaminação e poluição do ar e água do solo.
- **Objetivo 12:** Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis.
  - **Meta 12.8:** Até 2030, garantir que as pessoas, em todos os lugares, tenham informação relevante e conscientização para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida em harmonia com a natureza.
- **Objetivo 13:** Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos.
  - **Meta 13.b:** Promover mecanismos para a criação de capacidades para o planejamento relacionado à mudança do clima e à gestão eficaz, nos países menos desenvolvidos, inclusive com foco em mulheres, jovens, comunidades locais e marginalizadas.

## E.4 Utilizar como público-alvo pessoas portadoras de doença respiratória

Com cerca de 4,5 milhões de óbitos anuais as doenças respiratórias crônicas representam cerca de 7% da mortalidade global. Apenas no Brasil, no ano de 2011, estas foram a terceira causa de morte no conjunto de doenças crônicas não transmissíveis. Além de provocar limitações físicas, emocionais e intelectuais, as DRC foram classificadas como responsáveis por 4% de todos os anos de vida perdidos ajustados por incapacidade em todo o mundo, de acordo com a Organização Mundial da Saúde ([SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE, 2016](#)).

A poluição atmosférica pode ser altamente nociva à saúde, assim como a fauna e flora. O monóxido de carbono, por exemplo, diminui a capacidade do sangue de transportar oxigênio, causando hipoxia tecidual, o ozônio, por ser oxidante e citotóxico, causa irritação nos olhos e diminuição na capacidade pulmonar, já o dióxido de enxofre e de nitrogênio podem causar graves irritações nas vias aéreas. Além disso, a poluição pode causar piores quadros de asma, infecções das vias aéreas, incidência de câncer de pulmão e doenças cardiovasculares. Um terço das mortes por derrame, câncer de pulmão e doenças cardíacas se deve à poluição atmosférica, sendo que em janeiro de 2019 a OMS

apontou a poluição do ar como primeiro ponto de prioridade de saúde para os próximos 5 anos.

Considerando as conexões entre as mudanças climáticas, emissão de poluentes e impactos na saúde, é perceptível que há uma necessidade global urgente em desenvolver e adotar ferramentas de comunicação de saúde pública, tanto em nível individual quanto governamental, para ajudar pessoas vulneráveis a reduzir sua exposição à efeitos da baixa qualidade do ar e possibilitar o acesso à informação. O uso da tecnologia é uma solução possível, com os aplicativos para dispositivos mobile e assistentes virtuais personalizados desempenhando um papel importante na conscientização e apoio aos mais diversos grupos sociais.

## E.5 Escolha das tecnologias

Para o desenvolvimento do Zéfiro as tecnologias foram escolhidas com base em três critérios principais: necessidades arquiteturais do sistema, conhecimento prévio e curva de aprendizado. O primeiro critério é importante, pois a escolha tecnológica deve sempre ter como objetivo a implementação da arquitetura do software. Os critérios restantes levam em conta as experiências posteriores que os desenvolvedores possuem.

## E.6 Escolha das diagramações

Para descrever a arquitetura do software e seu comportamento interno foi decidido criar quatro diagramas distintos. O primeiro deles é o Diagrama de Relações que mostra as fronteiras do software e como as diferentes partes do mesmo se comunicam entre si. O diagrama de classes foi criado para mostrar como a estrutura do backend deve ser implementada. O diagrama de pacotes define a estrutura dos módulos e a dependência entre eles. Foi decidido criar dois diagramas de pacotes distintos: o do Zéfiro-APP e o do Zéfiro-API. Por último, foi criado um diagrama de sequência para descrever os diferentes processos que deverão ocorrer entre as diferentes partes do software.

## E.7 Priorização das histórias de usuário

Para escolher a ordem de implementação das features foi levado em conta o que é o cerne do software e como ele agrega valor ao usuário. Como todo o Zéfiro se alimenta da qualidade do ar e dos poluentes, essas partes precisam ser feitas primeiro. Com elas entregues e em funcionamento, será possível a implementação das notificações e do gráfico de histórico.

## E.8 Arquitetura de Microsserviços e Micro Frontend

O estilo arquitetural de microsserviços é uma abordagem que visa implementar uma aplicação como uma suíte de pequenos serviços. Onde cada um executa um processo próprio e se comunica, geralmente, com requests HTTP. Em 2016, o termo micro frontend foi falado pela primeira vez no Thoughtworks Technology Radar, com o intuito de estender o conceito de microsserviços para o desenvolvimento frontend, onde cada uma desses “serviços” precisam ser completamente isolados dos outros com tecnologias e objetivos próprios. Diante das necessidades do software Zéfiro, o mesmo será criado utilizando uma mescla das principais características dos dois estilos arquiteturais.

## E.9 Implementar Splash Screen

Outra importante decisão tomada durante o projeto foi a de implementar uma Splash Screen no aplicativo. Essa é a primeira tela exibida na abertura do aplicativo, e é muito importante para o funcionamento e experiência do usuário. O grupo enxergou essa necessidade, pois o app necessita de alguns segundos para carregar suas principais funcionalidades para dar um feedback de que a aplicação está funcionando através da visualização de uma Splash Screen.

# APÊNDICE F – Código

Como primeira entrega de software, foi decidido a implementação das features que envolvem o cerne do produto. Elas são divididas em três categorias: API, frontend e Alexa. A lista a seguir mostra as histórias de usuários entregues com uma breve descrição das mesmas.

## 1. Histórias de usuário - API

Todo o código implementado no Zéfiro-API pode ser encontrado em [Zéfiro Back](#).

- Eu, como sistema (API), desejo calcular o IQA com base na correlação de dados dos poluentes recebidos pelas estações - nesta US foi feita a implementação da lógica de cálculo do índice de qualidade do ar, de forma a obter um valor e uma faixa de qualidade. Código: <<https://github.com/Monitoramento-do-Ar-PI2/zefiro-back/blob/main/src/utils/iqaUtil.js>>
- Eu, como sistema (API), desejo definir a variação de indicadores para categoria da qualidade do ar - nesta US foi criada a tabela da faixa de qualidade do ar, contendo todas as informações necessárias para a classificação do IQA. Código: <<https://github.com/Monitoramento-do-Ar-PI2/zefiro-back/blob/main/src/utils/qualityRangeTableUtil.js>>
- Eu, como sistema (API), desejo calcular e identificar a estação mais próxima à localização inserida pelo usuário e retornar o IQA - Nessa US foi implementada os métodos calculateDistance() e findNearbyStation(), de forma a garantir que o sistema é capaz de retornar os dados da estação mais próxima a localização do usuário. Código: <<https://github.com/Monitoramento-do-Ar-PI2/zefiro-back/blob/main/src/models/StationModel.js>>
- Eu, como sistema (API), desejo receber os dados medidos pelas estações de monitoramento - nesta US foi implementada a requisição que recebe os dados das estações de monitoramento, disponibilizando o endpoint necessário para o mesmo. Código: <<https://github.com/Monitoramento-do-Ar-PI2/zefiro-back/blob/dev/src/broker.js>>
- Eu, como sistema (API), desejo enviar os dados dos poluentes presentes no ar de acordo com uma estação - Nessa US foi implementada a rota que disponibiliza o endpoint sobre o IQA e os poluentes. Código: <<https://github.com/Monitoramento-do-Ar-PI2/zefiro-back/blob/dev/src/router.js>>
- Eu, como sistema (API), desejo cruzar os dados de poluentes no ar e receber as informações de saúde inseridas pelo usuário - Nessa US foi realizada uma

pesquisa para determinar as condições de saúde que tem ligação direta com os poluentes coletados. Além disso, foi criada uma tabela com as informações necessárias sobre essas condições de saúde.

- Eu, como sistema (API), desejo realizar recomendações com base no IQA - Nesta US foi realizada criada mensagens padrões de recomendação que variam de acordo com o IQA atual.
- Eu, como sistema (API), desejo mandar notificações sobre a qualidade do ar para o usuário - Nesta US foi criado o algoritmo para mandar notificações sobre a qualidade do ar para o usuário.

## 2. Histórias de Usuário - Zéfiro APP (frontend)

Todo o código implementado no Zéfiro-APP pode ser encontrado em [Zéfiro App](#).

- Eu, como usuário, desejo navegar pelo aplicativo através da sidebar - Nesta US foi criada a sidebar do aplicativo.
- Eu, como usuário, desejo ver uma splash screen na inicialização do aplicativo - Nesta US foi criada a tela inicial do aplicativo, contendo a animação da logo.
- Eu, como usuário, desejo ver o índice atual da qualidade do ar próximo ao meu local - Nesta US foi implementado o gráfico do IQA e feita a requisição dos dados sobre IQA no Zéfiro - API
- Eu, como usuário, desejo inserir uma localidade para saber o IQA da estação mais próxima - Nesta US foi criado um widget e a lógica para que o mesmo consiga inserir e recuperar dados sobre a localização a partir do local storage.
- Eu, como usuário, desejo visualizar os poluentes e proporção e presentes no ar estou respirando agora - Nesta US foi criado o widget que contém os elementos e suas quantidades, além disso foi feita a requisição destes dados para o Zéfiro-API.
- Eu, como usuário, desejo inserir minhas informações sobre minha atual condição de saúde e problemas respiratórios - Nesta US foi criado um widget para coleta das condições de saúde do usuário. Estas informações foram salvas na local storage.
- Eu, como usuário, desejo ver o índice de condição de saúde com base nas minhas informações e poluentes presentes no ar - Nesta US foi implementado a lógica para mostrar as recomendações de saúde com base nos poluentes.
- Eu, como usuário, desejo ver um mapa com as estações de monitoramento do ar

### 3. História de Usuário - Alexa

- Eu, como usuário, desejo que a Alexa responda questões sobre quais são os poluentes presentes no ar - Nesta US foi implementada a lógica para fazer uma requisição de poluentes no Zéfiro - API, de forma que a Alexa consiga responder quais os poluentes o usuário está respirando e suas quantidades.
- Eu, como usuário, desejo que a Alexa responda qual é a categoria da qualidade do ar atualmente - Nessa US foi implementada a lógica para fazer uma requisição do IQA no Zéfiro - API, de forma que a Alexa consiga responder qual o IQA para o usuário.

O código-fonte de todas essas features podem ser encontradas na organização do projeto no Git, que contém todos os repositórios utilizados no desenvolvimento do software [Zéfiro Git](#).

# APÊNDICE G – Diagrama Geral do Sistema Elétrico

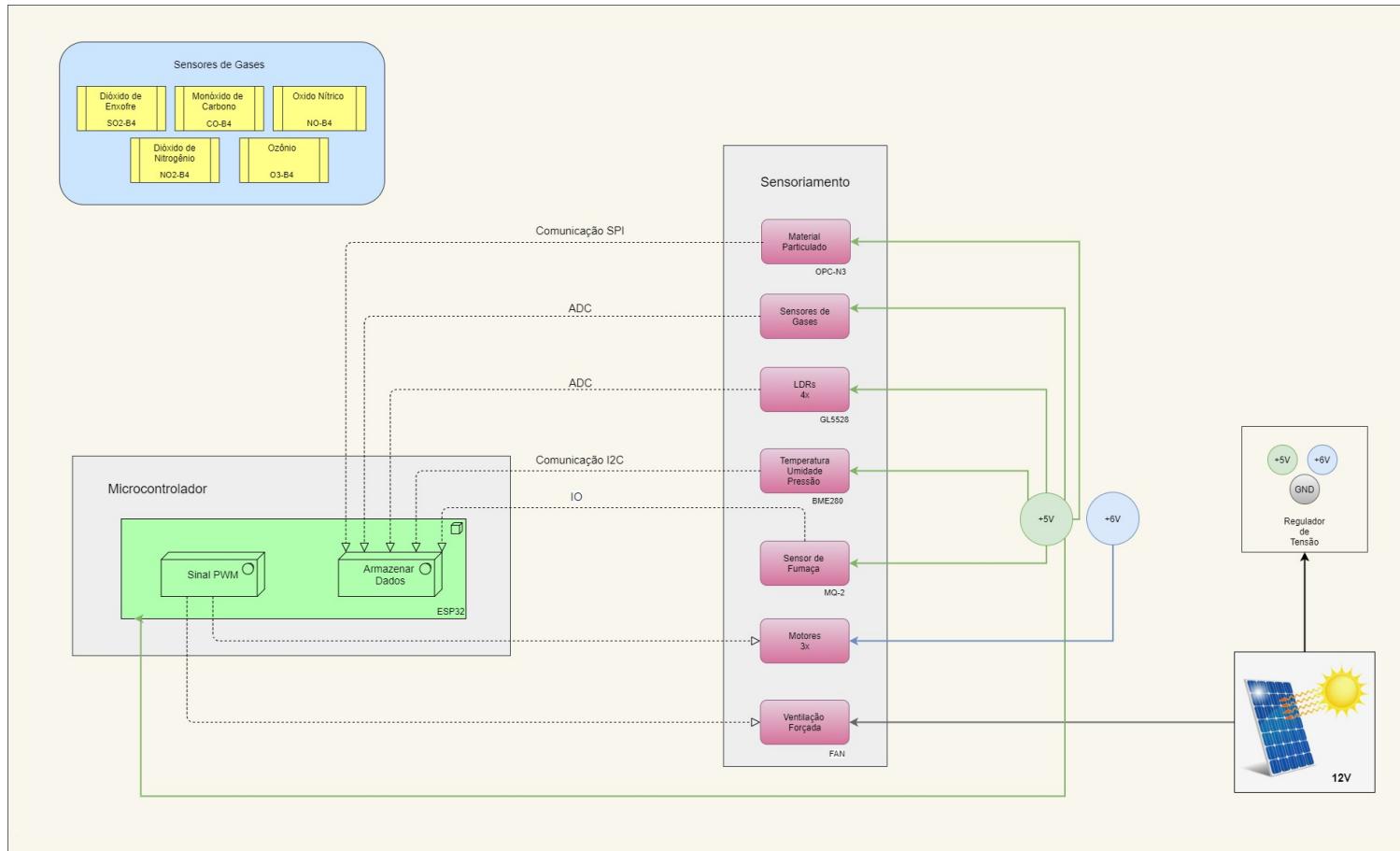


Figura 81 – Diagrama Geral do Sistema Elétrico.

# APÊNDICE H – Esquemático Geral do Sistema Elétrico

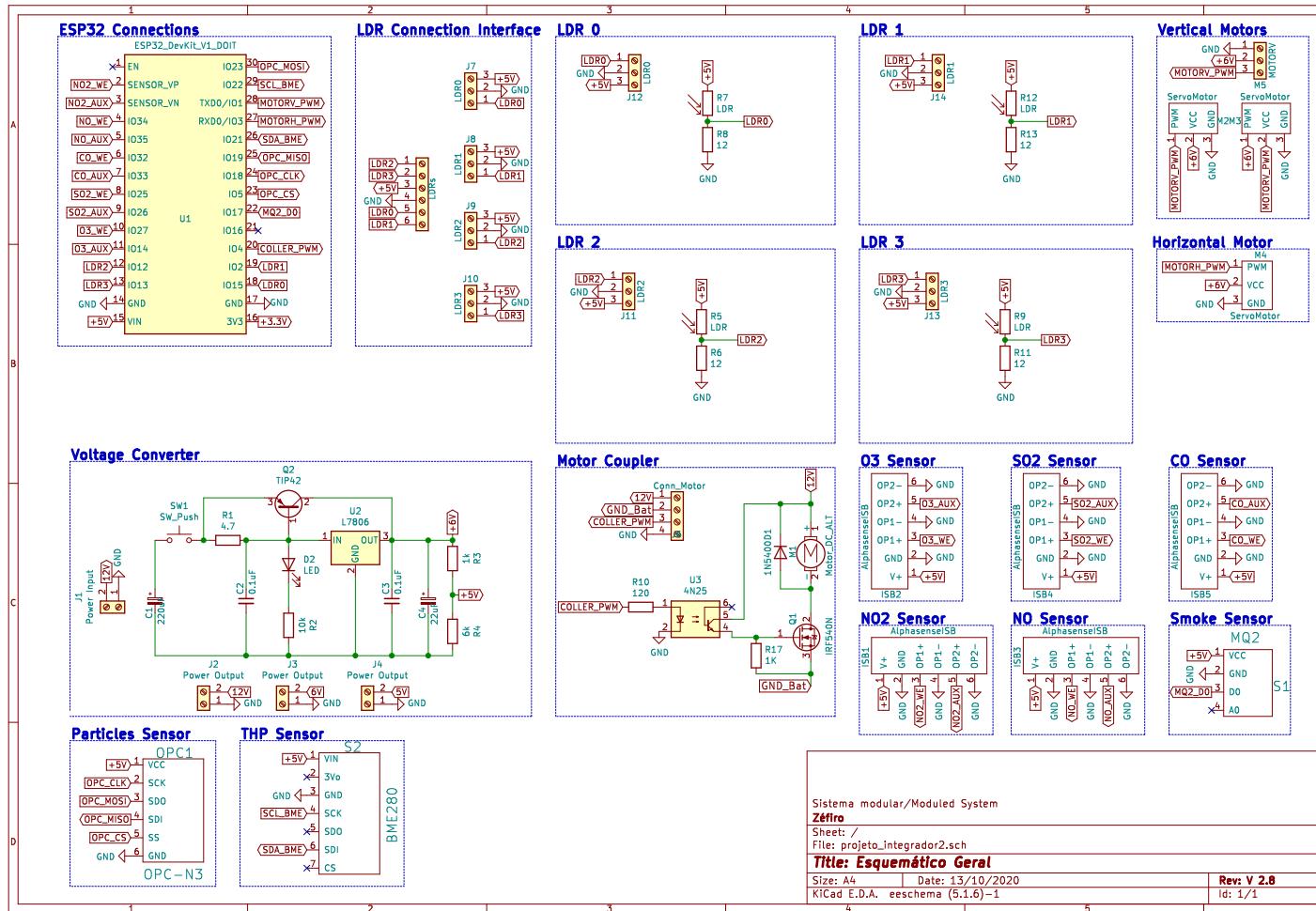


Figura 82 – Esquemático Geral do Sistema Elétrico.

# APÊNDICE I – Diagramas de Blocos

## Sistemas Isolados

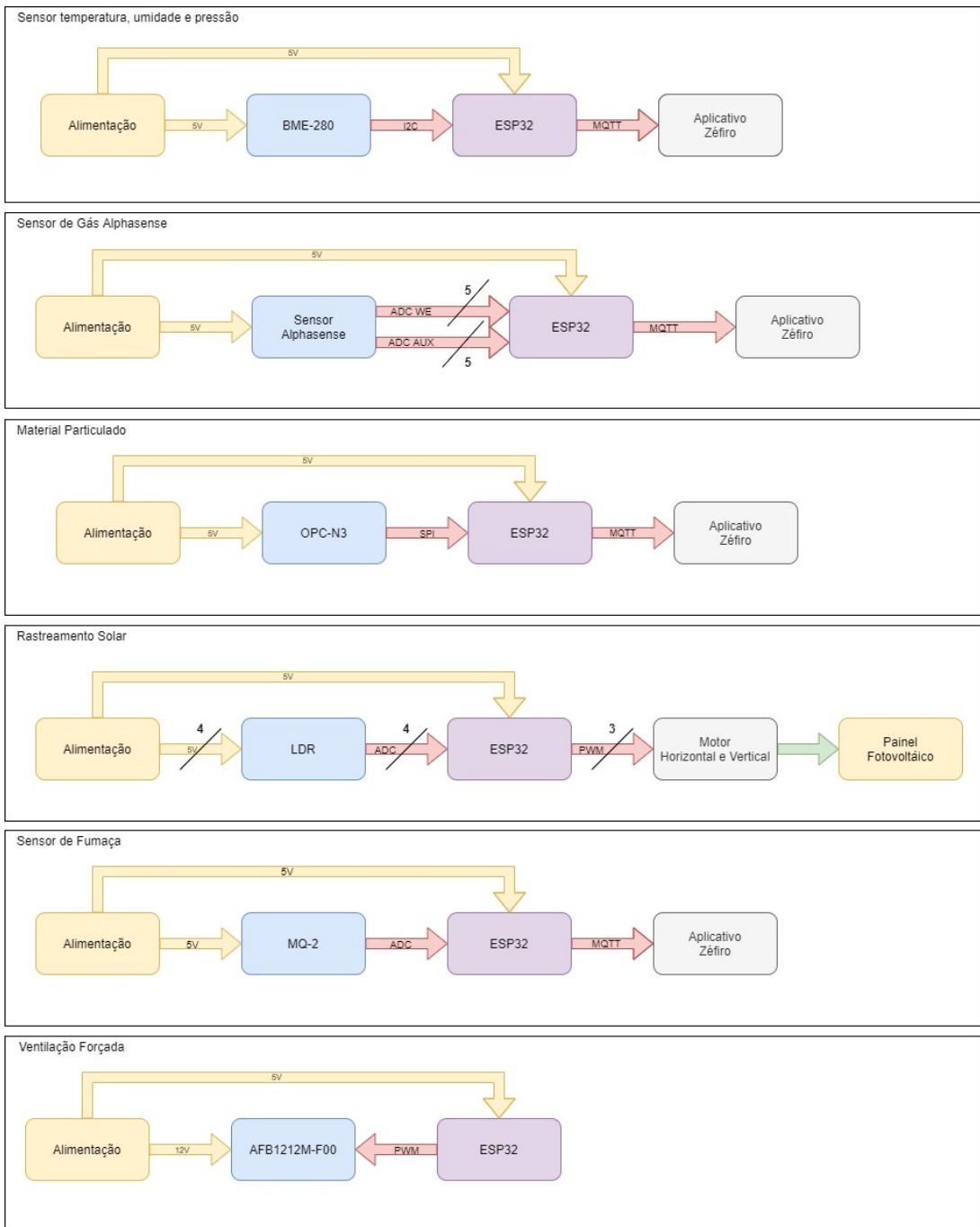


Figura 83 – Diagramas de Blocos

# APÊNDICE J – Calibração e Testes dos sistemas

Os sensores da Alphasense, já são calibrados em fábrica.

## J.1 Calibração dos sensores

### J.1.1 Array de LDRs

Como foi dito em 5.1.3.1, o LDR varia a sua resistência de acordo com a incidência luminosa. Para averiguar se o componente está com uma resposta adequada a incidência de luz é necessário um multímetro. O multímetro deve estar em modo de leitura de resistência, para medir a resistência do LDR. Feito isso, deve se cobrir parcialmente o LDR com a mão e verificar se ocorre uma diminuição no valor da resistência apresentada. Assim, será possível averiguar se o LDR esta tendo uma resposta a incidência de luz.

A calibração dos sensores LDR servem para a definição de uma tolerância de leitura para o conversor ADC do microcontrolador, está tolerância é adquirida seguindo os passos:

- Conecte os sensores LDR nas portas ADC do microcontrolador;
- Posicione o array de forma que os sensores estejam recebendo a mesma intensidade luminosa;
- Realize o processo de gravação de dados dos sensores (min: 10 s);
- Com os dados gravados, realize a média de valor das amostras obtidas para cada sensor;
- Escolha um dos resultados como referência e calcule as constantes de calibração ( $K_{sensor}$ ), equação J.1, para os outros sensores.
- Realize novamente os 4 primeiros procedimentos e análise se as respostas foram uniformes.

$$K_{sensor} = Data_{ref} - |Data_{sensor}| \quad (\text{J.1})$$

O processo de calibração deve ocorrer nas seguintes condições de luminosidade:

- Luz ambiente: A condição de luz ambiente ocorre quando o sistema é ligado normalmente no ambiente em que se encontra;
- Luz intensa: A condição de luz intensa ocorre ao posicionar uma lanterna de forma igual sobre o array de LDRs;
- Nenhuma luz: A condição de nenhuma luz em locais sem nenhuma fonte luminosa.

### J.1.2 Sensor BME280

O sensor BME280 realiza a leitura de temperatura, umidade e pressão. A calibração do componente pode ser feita de forma eficiente ao se buscar atingir, via software, os dados gerados pela METeorological Aerodrome Report (METAR), que é um informe meteorológico regular de aeródromo. O METAR fornece informações sobre condições climáticas, entre elas temperatura, umidade e pressão, em um aeródromo específico. Por ser um monitoramento para aeronaves, apresenta grande precisão.



Figura 84 – Dados METAR

A Figura 84 apresenta os dados obtidos pela METAR.

A primeira etapa da calibração do componente, é a análise dos dados das estações (METAR) próximos ao local onde está ocorrendo a calibração. No caso do projeto aqui descrito, será feito no DF, por ter somente um aeroporto na região, são utilizados os dados do Aeroporto Internacional de Brasília. Em regiões que apresentam mais de um METAR próximo, deve se calcular a média dos dados das estações próximas.

O código de calibração tem como finalidade ajustar o valor lido pelo BME280 de acordo com o valor apresentado pelo METAR. Uma situação hipotética em que o BME apresenta como leitura os dados de umidade, temperatura e pressão respectivamente como

80%, 15C e 1024 hPa e a METAR apresenta a leitura como a da Figura 84. O código deve fazer com que o valor lido pelo BME seja como o da METAR, dessa forma, para esse caso, seria somado ao resultado da umidade 14%, somado 5 a temperatura e subtraído 10 hPa da pressão. Feito isso, as leituras seguintes acontecem já com a calibração e os dados passam a ser precisos.

### J.1.3 Sensor MQ-2

O MQ-2 apresenta uma resistência  $R_s$ , sendo a resistência do sensor, um resistor de carga ( $R_l$ ) e a resistência inicial do sensor ( $R_0$ ). A calibração via software para finalidade de salvar vidas não é recomendada, sendo preferível para esse caso o uso de um equipamento específico para a calibração, de custo de 100 dólares ou mais.

O datasheet do componente apresenta um divisor de tensão com o  $R_s$  e o  $R_l$ . Além disso é possível verificar que em dada circunstância de temperatura e umidade, em ar sem a presença dos gases lidos pelo MQ-2 (ar limpo), o  $R_s$  é constante. Sendo a proporção de  $R_s/R_0$ , em condição de ar limpo aproximadamente 9.8. Dessa forma, para efetuar a calibração do componente é necessário que a calibração ocorra no local da aplicação do sensor em circunstância de ar limpo. O código coleta uma amostra dos dados lidos pelo sensor e divide o resultado por 9.8. Ao fazer essa primeira aquisição de dados o valor de  $R_0$  é calculado e posteriormente dividido pelo  $R_0$  do datasheet, que é o valor em condições de ar limpo. Posteriormente, com o uso da razão  $R_s/R_0$  apresentada no datasheet e com o valor  $R_0$  coletado anteriormente é possível fazer a detecção do gás.

Assim como o LDR, o MQ-2 apresenta uma leitura analogia que varia de 0 a 4095, o que não permite ao usuário a compreensão de leitura desses valores. Sendo assim é necessário apresentar os valores em ppm.

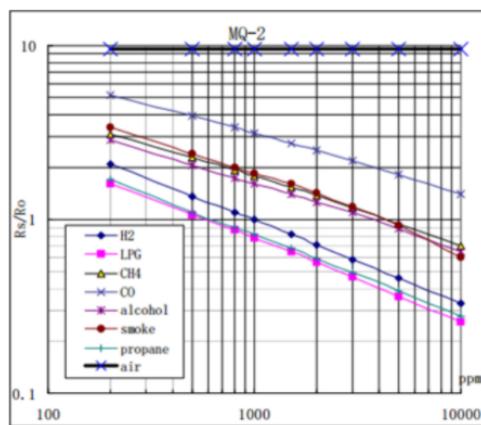


Figura 85 – Relação MQ-2

A Figura 85 foi retirada do datasheet e apresenta a relação  $Rs/R_0$  por ppm. Para fazer com que a leitura seja apresentada no formato ppm, são coletados dois valores da

escala logarítmica para calcular a inclinação da curva, pela fórmula:

$$\text{Inclinação} = \frac{y2 - y1}{x2 - x1} \quad (\text{J.2})$$

Com o valor da inclinação cada gás é transformado em um vetor na forma (x, y, inclinação). Os pontos de medição e a inclinação da reta são substituídos na fórmula:

$$\text{Concentração de Gás} = 10^{[((log(RS/R0)^\vee(y1))/\text{inclinação})+x1]} \quad (\text{J.3})$$

Assim, é obtida a leitura de forma calibrada e em ppm do MQ-2.

## J.2 Testes dos Módulos

As bancadas de testes tem como objetivo a validação do sistema elétrico, objetivando analisar de forma prática se o sistema escolhido atende às condições do projeto. As bancadas elaboradas tem como objetivo garantir o funcionamento do protótipo de forma eficaz, por meio de bancadas de baixo custo e eficientes.

### J.2.1 Rastreamento Solar

#### J.2.1.1 Teste posicionamento Servo Motores

O teste dos servos motores tem como primeiro objetivo validar o torque e a corrente do componente. Ao averiguar de forma prática o torque do motor é possível validar os dados apresentados no datasheet, bem como garantir que as necessidades do projeto são atendidas. Caso o motor não tenha torque o suficiente, pode gerar uma movimentação errônea no painel solar, bem como pouco ou nenhum movimento.

O teste consiste em colocar pesos de diferentes massas em uma haste de ferro com diâmetro de 1mm acoplado no braço do servo e aumentar gradativamente a massa do peso até que se atinja o peso exigido pelo sistema projetado para o funcionamento do Zéfiro. É possível observar na secção 5.2.1, que o torque necessário é de 48kg.cm. Com o objetivo de analisar essas características, é elaborado o sistema elétrico apresentado na Figura 86. O servomotor é conectado a ESP32 e com o uso de um amperímetro é possível verificar a corrente consumida pelo sistema.

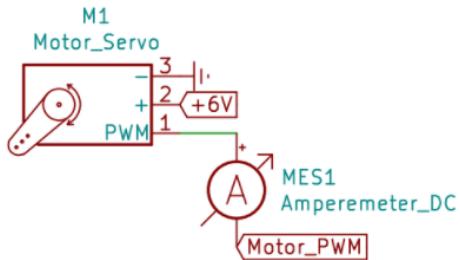


Figura 86 – Esquemático Teste Servo

O teste tem como objetivo mover o servo no sentido horário e anti horário, a um passo de 1 grau, de forma que seja possível observar se o movimento segue o comando emitido e se o servo não está sobrecarregado com o peso. Sendo também possível avaliar o valor da corrente a medida em que os pesos são acrescentados. Ao realizar o teste é necessário que o servo esteja devidamente preso em uma plataforma plana e os pesos não estejam em contato com nenhuma superfície, para que a força da gravidade atua sobre os pesos e seja possível ver a resposta de movimento gerada com o uso do da haste do servo.

Na secção 5.1.10 é possível observar a trajetória requerida do posicionamento do painel solar, onde é observado que o primeiro servo motor realiza a trajetória de 0 a 90 graus aproximadamente e o segundo de 0 a 180 graus aproximadamente. Com o objetivo de atender os requisitos de movimento do painel solar é necessário garantir que o passo do motor seja capaz de atingir os valores estipulados, bem como garantir que sua trajetória seja toda percorrida. Ao estipular o passo de 1 grau, é possível transitar por todos os ângulos necessários. Se o passo do motor apresentar um valor incorreto, não será possível posicionar a placa no local indicado. O sistema também deve garantir que o servo inicie a trajetória no local correto, pois se o início do movimento for no ângulo incorreto, a placa solar será posicionada de forma errônea durante toda a trajetória.

#### J.2.1.1.1 Teste com a Estação

Realizada a análise do motor, deve-se seguir para o teste com a estrutura física, recomenda-se para este teste o uso do equipamento com o mínimo de peso possível.

Com os LDRs já calibrados, vide secção J.1.1, inicia-se o processo de teste a seguir:

- Posicione o painel em uma angulação diferente da indicada para o horário, vide 5.1.10;
- Inicialize o programa `solarTracker`;
- Após a estabilização do sistema, realize a aferição da tensão e corrente de saída do painel.

# APÊNDICE K – Parâmetros usados para confeccionar a PCI

A escolha da placa de cobre para confeccionar a placa de circuito impresso, levou em consideração os requisitos do projeto, como: potência, frequência, condição ambiente em que a placa estará sujeita (chuva, vento, sol, temperatura e umidade) e layout. A potência do sistema é de 42.7Wh, como pode ser observado na Tabela 26

O Zéfiro faz uso de corrente contínua, sendo o PWM da ESP32 a única corrente alternada do sistema elétrico. A corrente do nosso sistema é 1.06A , como mostra a Tabela 25. O sistema projetado apresenta baixa potência e frequência, não apresenta, então, uma necessidade de utilizar placas específicas para atender esses requisitos. As simulações estruturais realizadas, que se encontram na secção 5.2.1, demonstram as condições ambientais em que o sistema estará sujeito. Devido a exposição a umidade e temperatura, a placa de circuito não pode ser higroscópica.

Tendo em vista os requisitos e custo de projeto, optou-se pela placa de fibra de vidro, por ser a que melhor atende os requisitos estabelecidos. As características de alta resistência a calor e umidade, não ser higroscópica, manter as propriedades elétricas e físicas em condições de umidade e uso de dupla face, são atendidas. (MEHL, 1995).

A fibra de vidro apresenta uma resistência ao calor na faixa de temperatura 130°C a 170°C, esse valor varia de acordo com a escolha da fibra utilizada. Ao atingir essa temperatura, a fibra de vidro sofre uma mudança estrutural onde deixa de ser rígida e passa a ser emborrachada(NATIONAL SERVICE CENTER FOR ENVIRONMENTAL PUBLICATIONS, 2015). Ocorre o rompimento da fibra de vidro ao atingir uma pressão de 300MPa, aproximadamente (WANG et al., 2003).

A medida usada comumente para definir a quantidade de cobre na lama em que o circuito será desenvolvido é a onça (oz). Uma onça se refere ao peso do cobre existente em uma região de aproximadamente 30.5 cm x 30.5cm (TEC-CI, 2016).

A espessura de cobre escolhida foi a de 1oz, por ser a medida padrão utilizada (LIMA, 2010). O sistema apresenta uma corrente total de 1.06A, como mencionado anteriormente. A tabela apresentada na Figura 87 (LIMA, 2010) mostra que uma placa de 1oz com corrente de 1.4A, exige uma espessura de trilha de cobre mínima de 20 mils (0,508mm).

Largura da trilha (cobre)	Corrente [A]	Corrente [A]
	1 oz	2 oz
5 mils	0,5	0,7
10 mils	0,8	1,4
20 mils	1,4	2,2
30 mils	1,9	3,0
50 mils	2,5	4,0
100 mils	4,0	7,0

Figura 87 – Largura mínima de trilha de acordo com a corrente que deve suportar.

Com o intuito de manter o coeficiente de segurança no dimensionamento das trilhas e tendo em vista que o aumento de temperatura exige uma trilha mais larga do que uma empregada em uma temperatura menor, optou-se pelo dimensionamento de trilha de 1mm.

A norma IPC-9592B determina que o espaçamento mínimo seja de 0.13mm, para que o sistema fique devidamente isolado, em tensões de até 15V. Na Tabela 25 é possível observar que a maior tensão do sistema é de 12V. Dessa forma, para confeccionar a PCI foi atribuído como espaçamento mínimo entre as trilhas e componentes a distância de 0.13mm

O acabamento vincado, por ser mais rápido e de menor custo em relação ao fresado, foi o escolhido para acabamento mecânico, o que fez com que o melhor medida para distância entre o furo e a borda da PCI seja de 0.60mm ([CIRCUIBRAS, 2009](#)).

A alocação dos componentes na placa foi elaborada de forma a levar em consideração as conexões que seriam realizadas, os conectores posicionados nas extremidades das placas; a simetria; a proximidade das ligações, visando conexões curtas; o uso de somente uma face; mudar a direção da trilha sem fazer uso de ângulo de 90°, dando preferência para 45° sempre que possível ([LIMA, 2010](#)).

# APÊNDICE L – Média Móvel Exponencial

Para se entender a MME é necessário antes se compreender o que é uma média móvel, a média móvel é um estimador calculado a partir de amostras sequenciais, sendo um filtro de resposta finita ao impulso (FIR) do tipo passa-baixas. A equação L.1 apresenta a equação característica do filtro MME, onde  $S_n$  é o sinal filtrado atual,  $y_n$  a entrada atual e  $S_{n-1}$  o sinal filtrado anterior.

$$S_n = \alpha \cdot y_n + (1 - \alpha) \cdot S_{n-1} \quad (\text{L.1})$$

Observe que se  $\alpha$  tende a 1 , na equação L.1, a MME tende à medida atual do sensor, ou seja, as variações bruscas são pouco atenuadas. Em contrapartida, se  $\alpha$  se aproxima de 0, a MME dá menos peso para a medida atual e enfatiza o efeito cumulativo dos dados antigos, cuja ponderação dos dados mais antigos diminui exponencialmente, atenuando assim o ruído presente no sinal.

Porém, quanto maior a atenuação do ruído mais atraso é inserido no sistema, por isso muitas vezes o MME é relacionado a uma média ponderada, onde se agrupa maior peso aos valores atuais (SHOME et al., 2012).

# APÊNDICE M – Modelo de Mensagem MQTT

## M.1 Identificação Estação Zéfiro

Publicação em `Zefiro/Station` em formato `json`, realizada pelo microcontrolador.

```
{
  "name": "Nome Estacao",
  "latitude": "Latitude Estacao",
  "longitude": "Longitude Estacao",
  "no2": "no2_data",
  "o3": "o3_data",
  "co": "co_data",
  "pm2_5": "pm2_5_data",
  "pm10": "pm10_data",
  "so2": "so2_data",
  "smoke": "smoke_bool"
}
```

## M.2 Pedido Temporizado

Mensagem enviada pelo servidor para que seja realizada leitura de dados de qualidade do ar, a publicação será realizada em `Zefiro/[Nome Estação]`. Será enviada uma *string* de forma a suprir as necessidades da tabela 6 e ainda se dia ou noite. Desta forma a *string* da mensagem enviada terá as seguintes formas:

- 00: pedido de dados do gás NO<sub>2</sub>;
- 01: pedido de dados dos gases NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e CO;
- 10: pedido de dados de todos os poluentes e atualização de posição do gabinete da Estação Zéfiro;
- 11: pedido de dados de todos os poluentes.

## M.3 Dados coletados

Para os dados coletados existem 3 modelos de mensagem, enviados em formato *json*, para os tópicos assinalados na secção [5.1.5.3.3](#).

### M.3.1 Mensagem para o tópico Zefiro/[Nome da Estação/00]

```
{
  "no2": "no2_data"
}
```

### M.3.2 Mensagem para o tópico Zefiro/[Nome da Estação/01]

```
{
  "no2": "no2_data",
  "o3": "o3_data",
  "co": "co_data"
}
```

### M.3.3 Mensagem para o tópico Zefiro/[Nome da Estação/10]

```
{
  "no2": "no2_data",
  "o3": "o3_data",
  "co": "co_data",
  "pm2_5": "pm2_5_data",
  "pm10": "pm10_data",
  "so2": "so2_data",
  "smoke": "smoke_bool"
}
```

### M.3.4 Mensagem para o tópico Zefiro/[Nome da Estação/11]

```
{
  "no2": "no2_data",
  "o3": "o3_data",
  "co": "co_data",
  "pm2_5": "pm2_5_data",
  "pm10": "pm10_data",
  "so2": "so2_data",
```

```
"smoke": "smoke_bool"  
}
```

# APÊNDICE N – Diagrama sequencial do estados routine

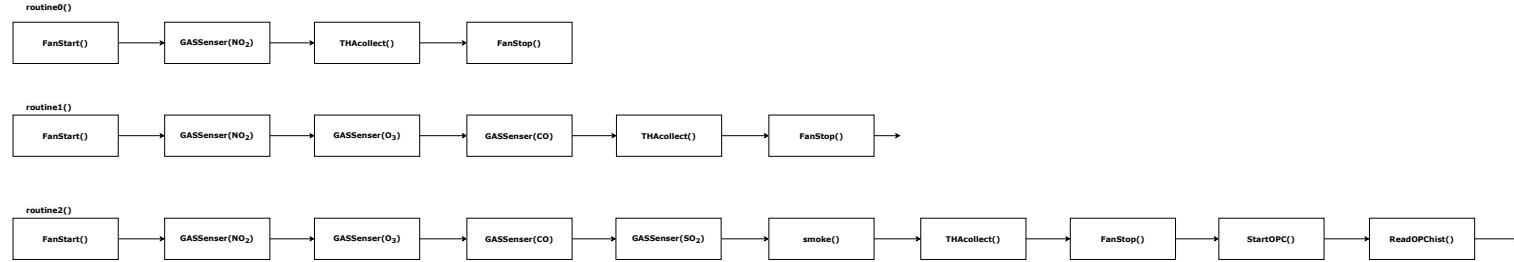


Figura 88 – Diagrama Sequencial.

# APÊNDICE O – Diagrama Unifilar de Alimentação do Sistema

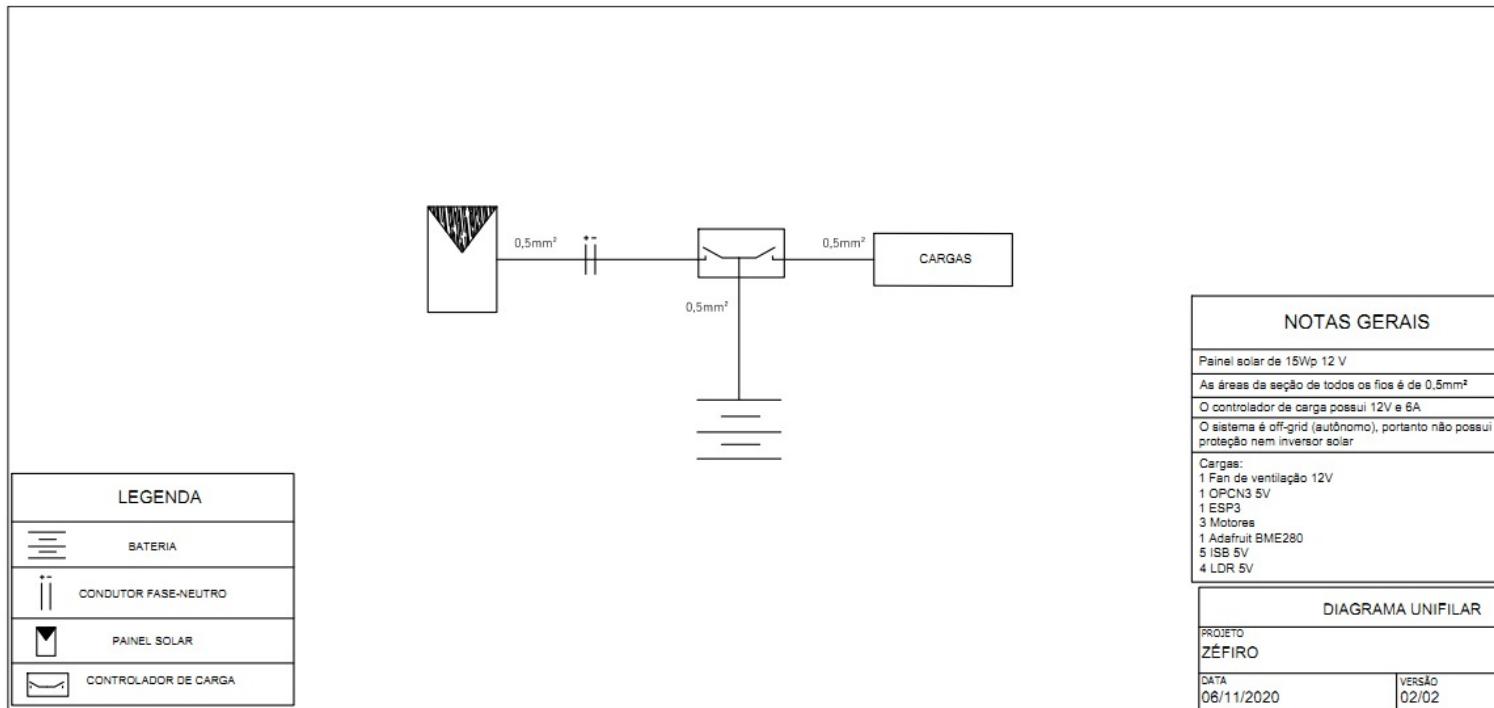


Figura 89 – Diagrama Unifilar.

# APÊNDICE P – Diagrama de Integração

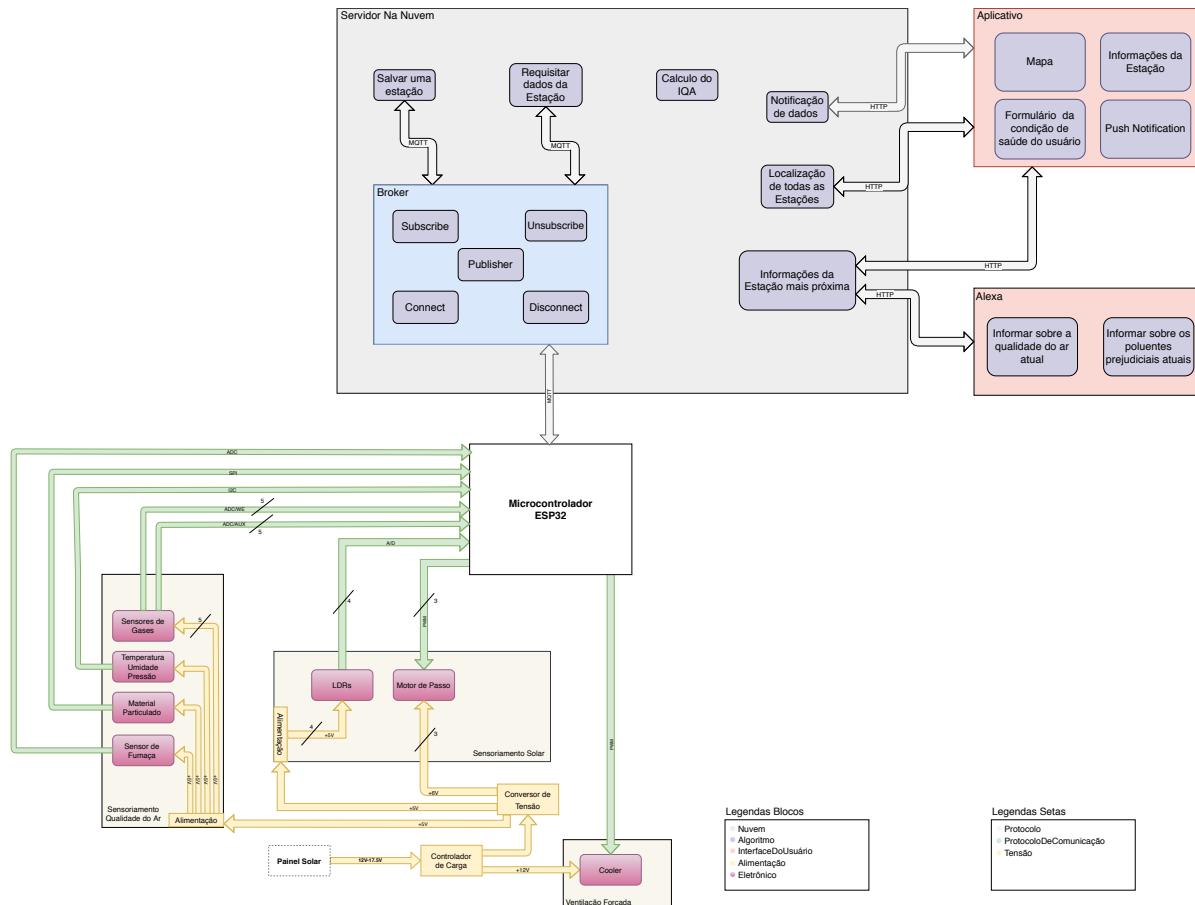


Figura 90 – Diagrama de Integração.



# APÊNDICE Q – Desenhos Técnicos Mecânicos

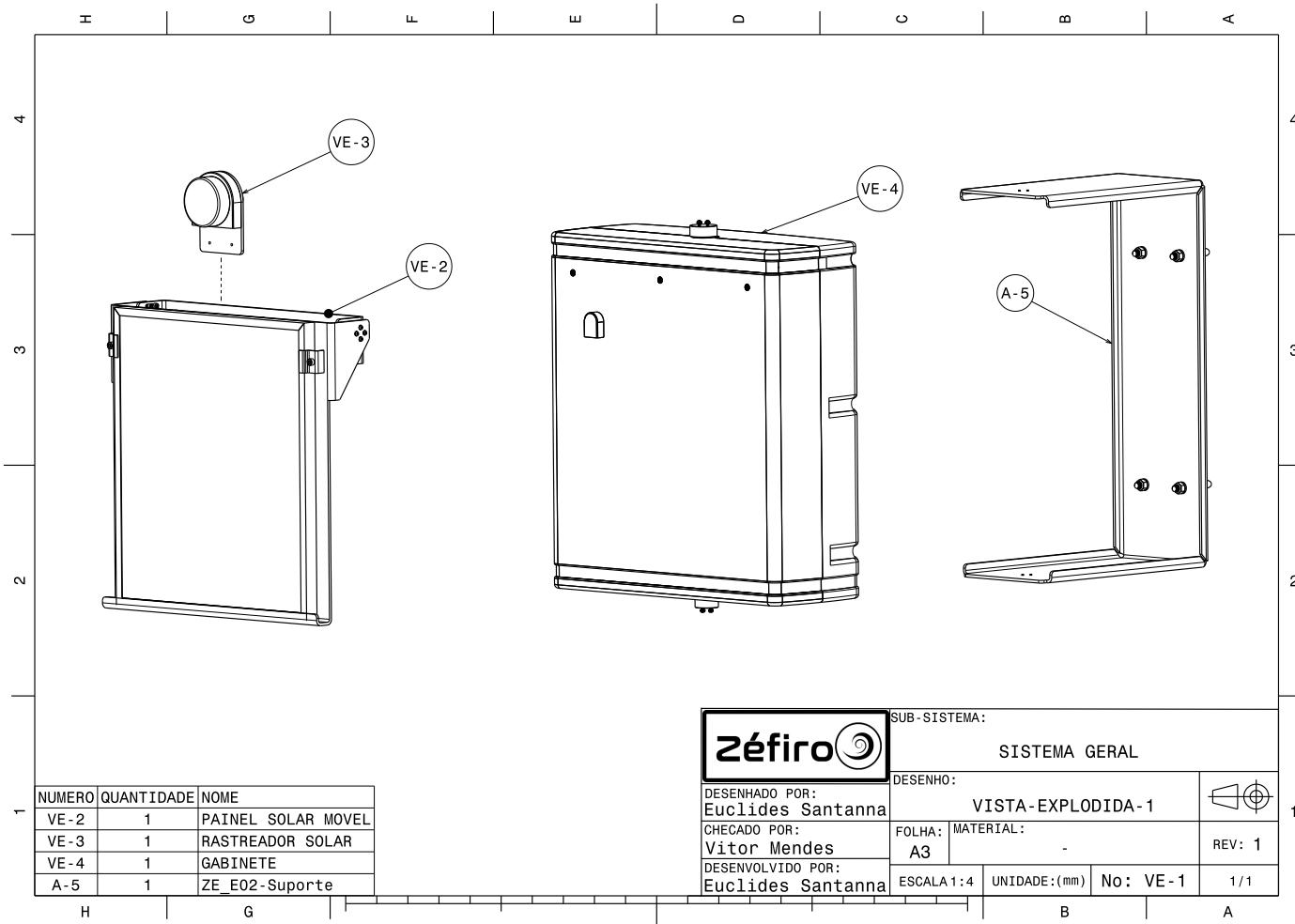


Figura 91 – Vista Explodida 1.

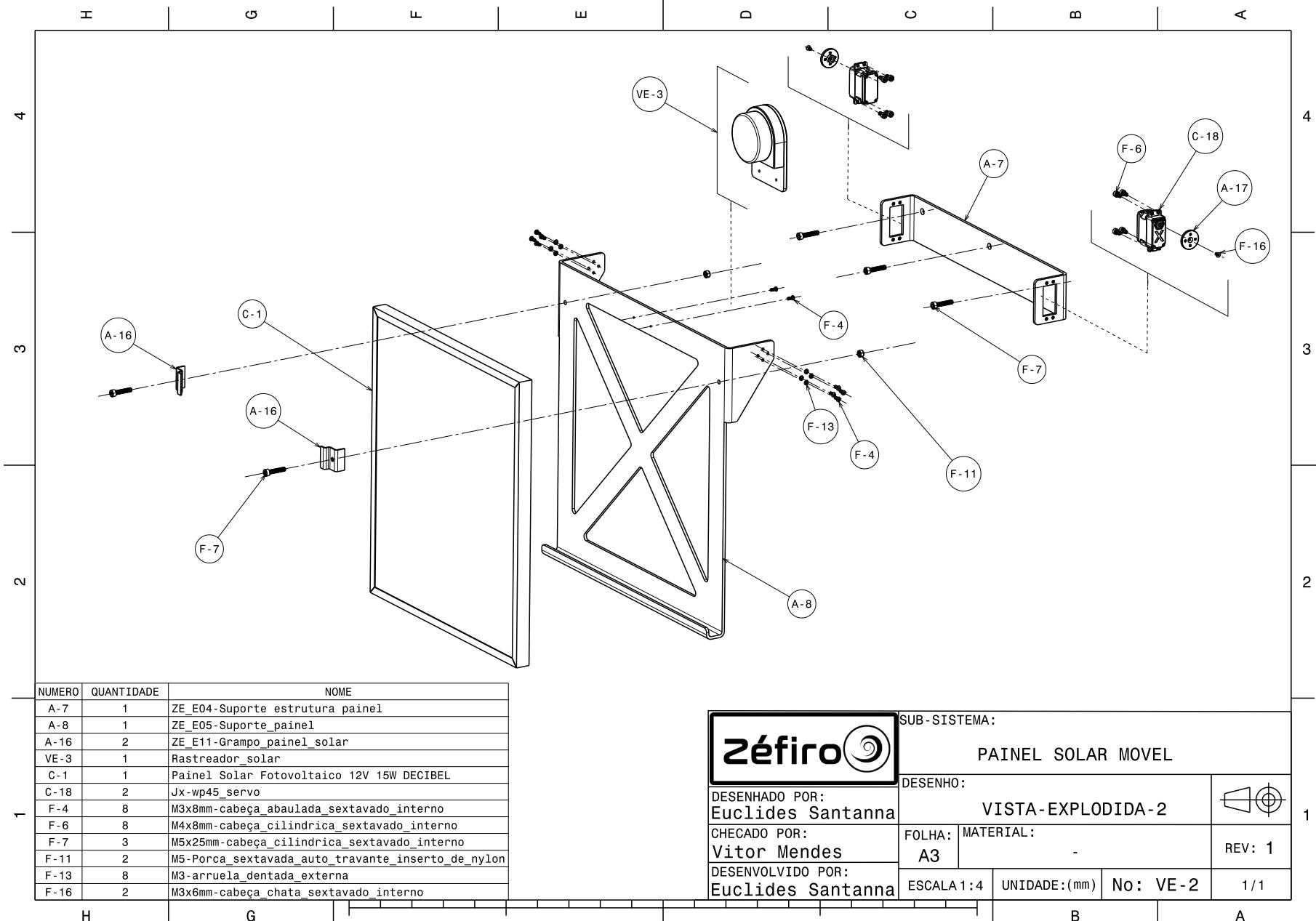


Figura 92 – Vista Explodida 2.

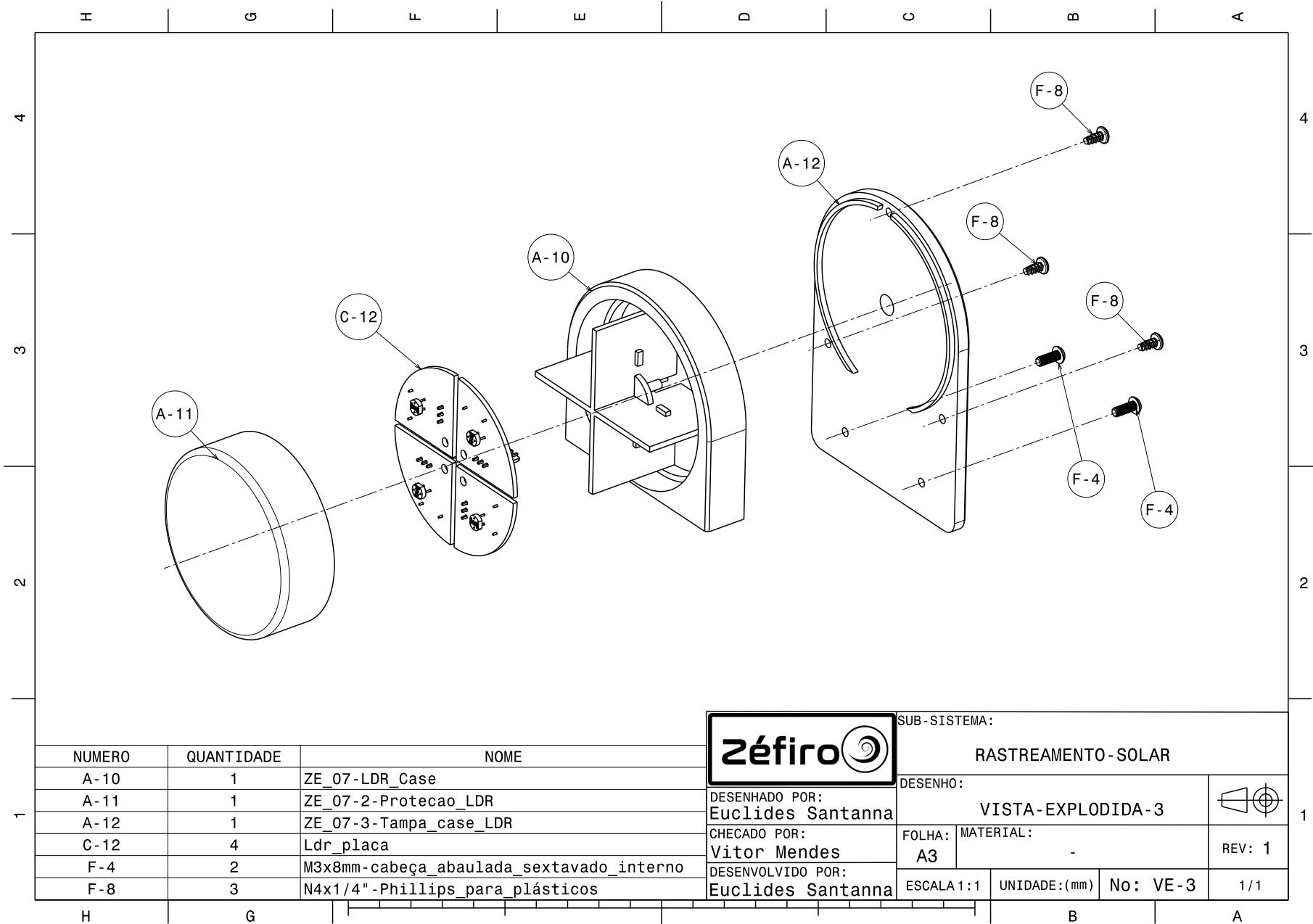


Figura 93 – Vista Explodida 3.

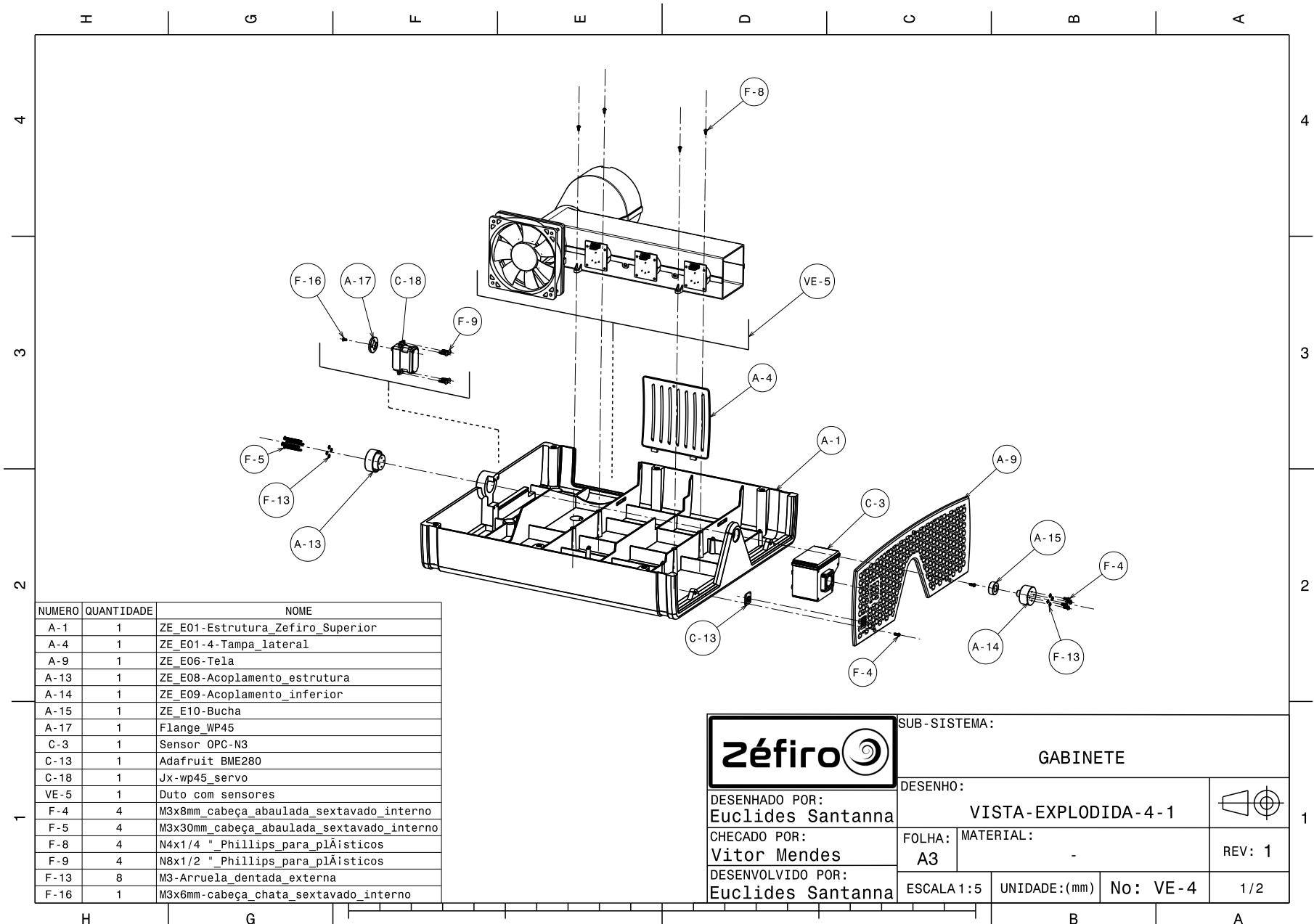


Figura 94 – Vista Explodida 4.1.

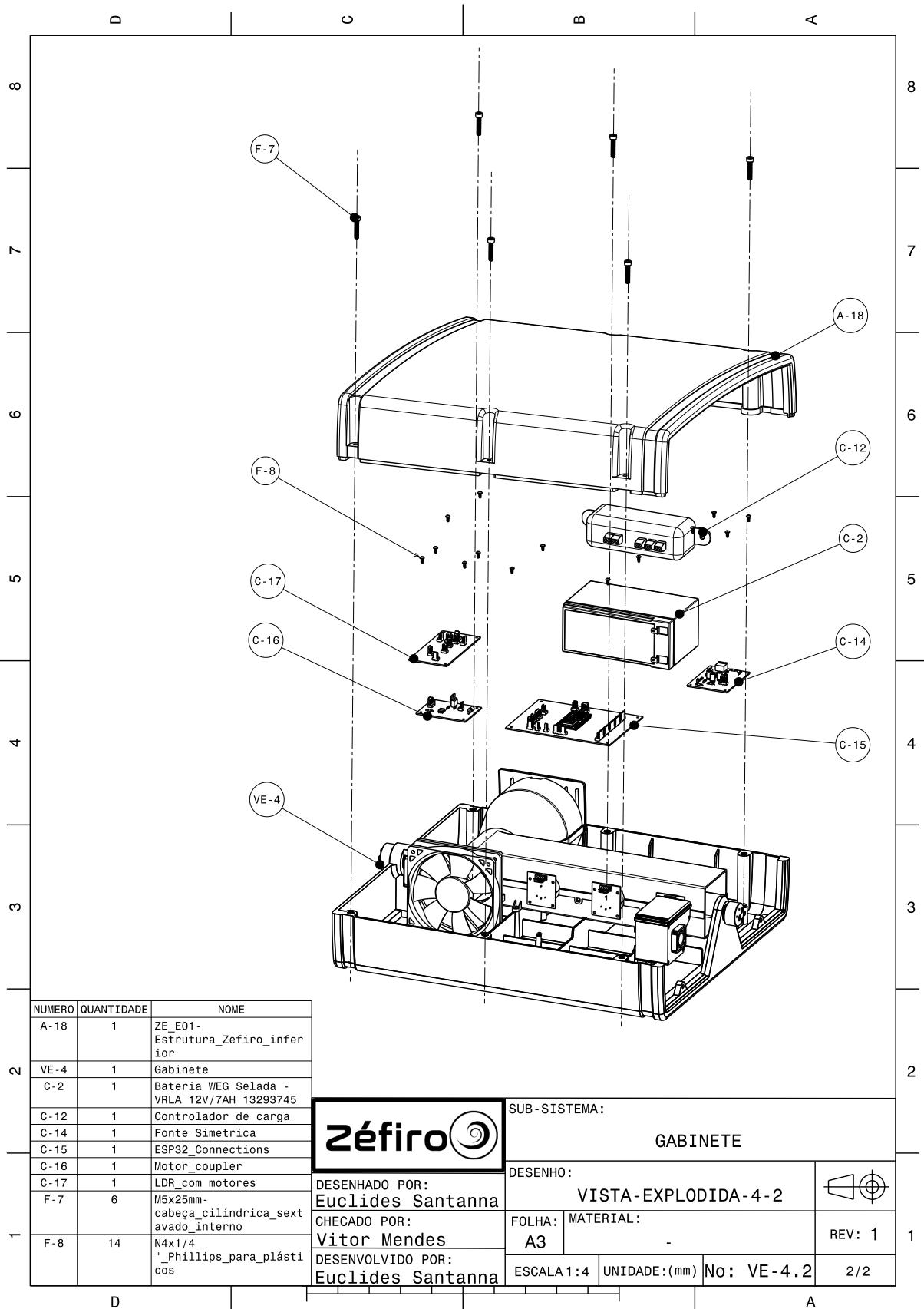


Figura 95 – Vista Explodida 4.2.

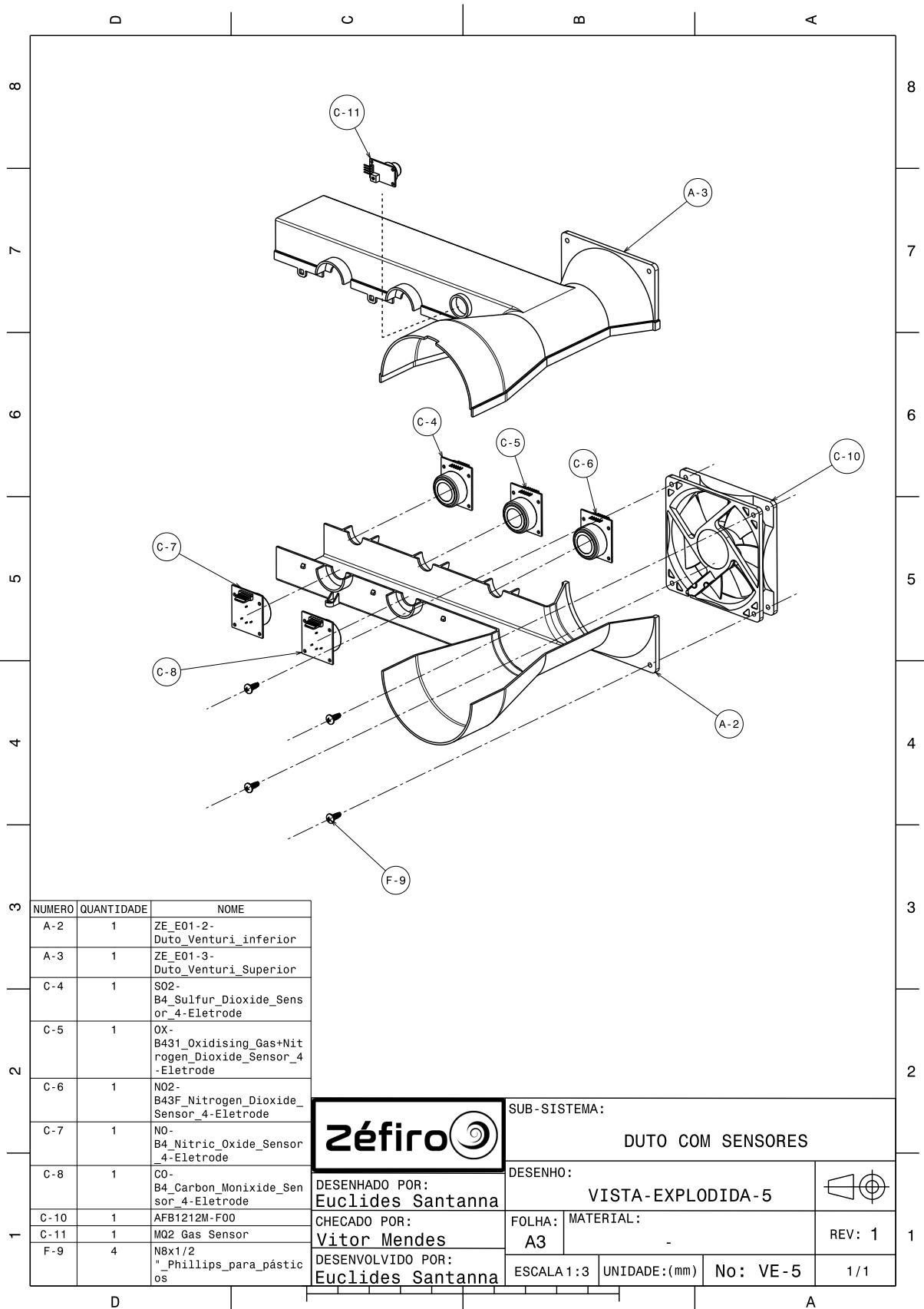


Figura 96 – Vista Explodida 5.

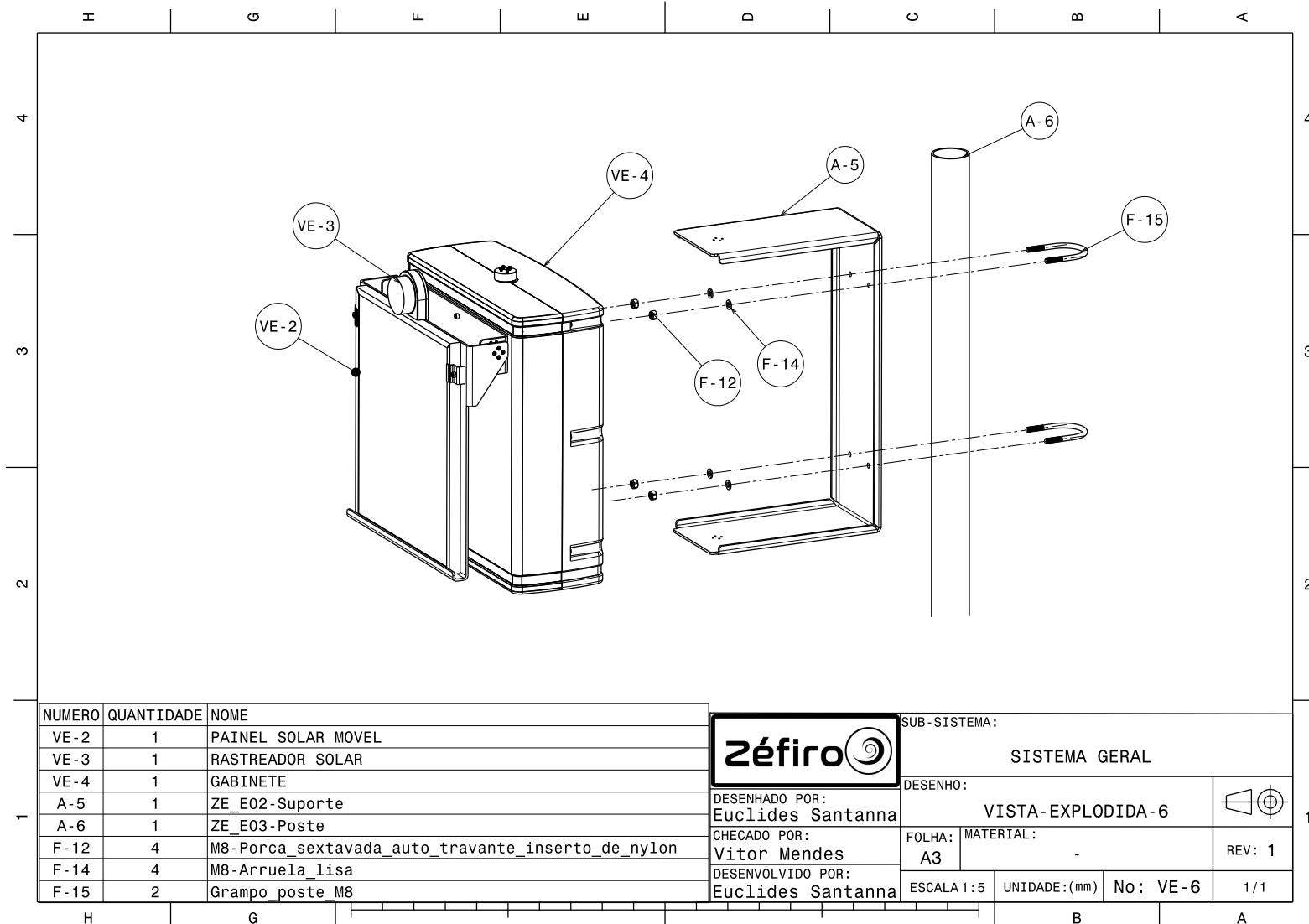


Figura 97 – Vista Explodida 6.

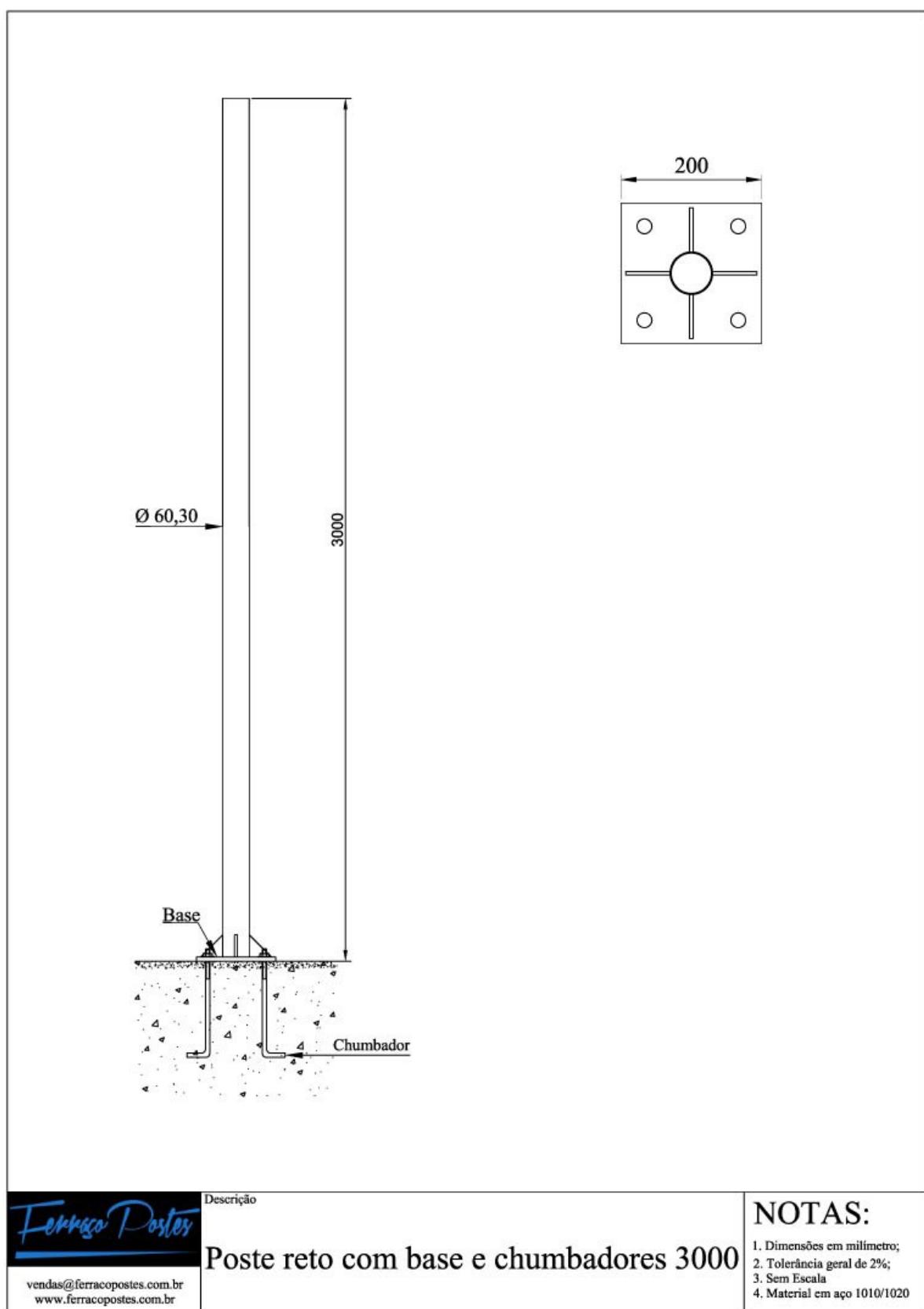


Figura 98 – Poste de Suporte.

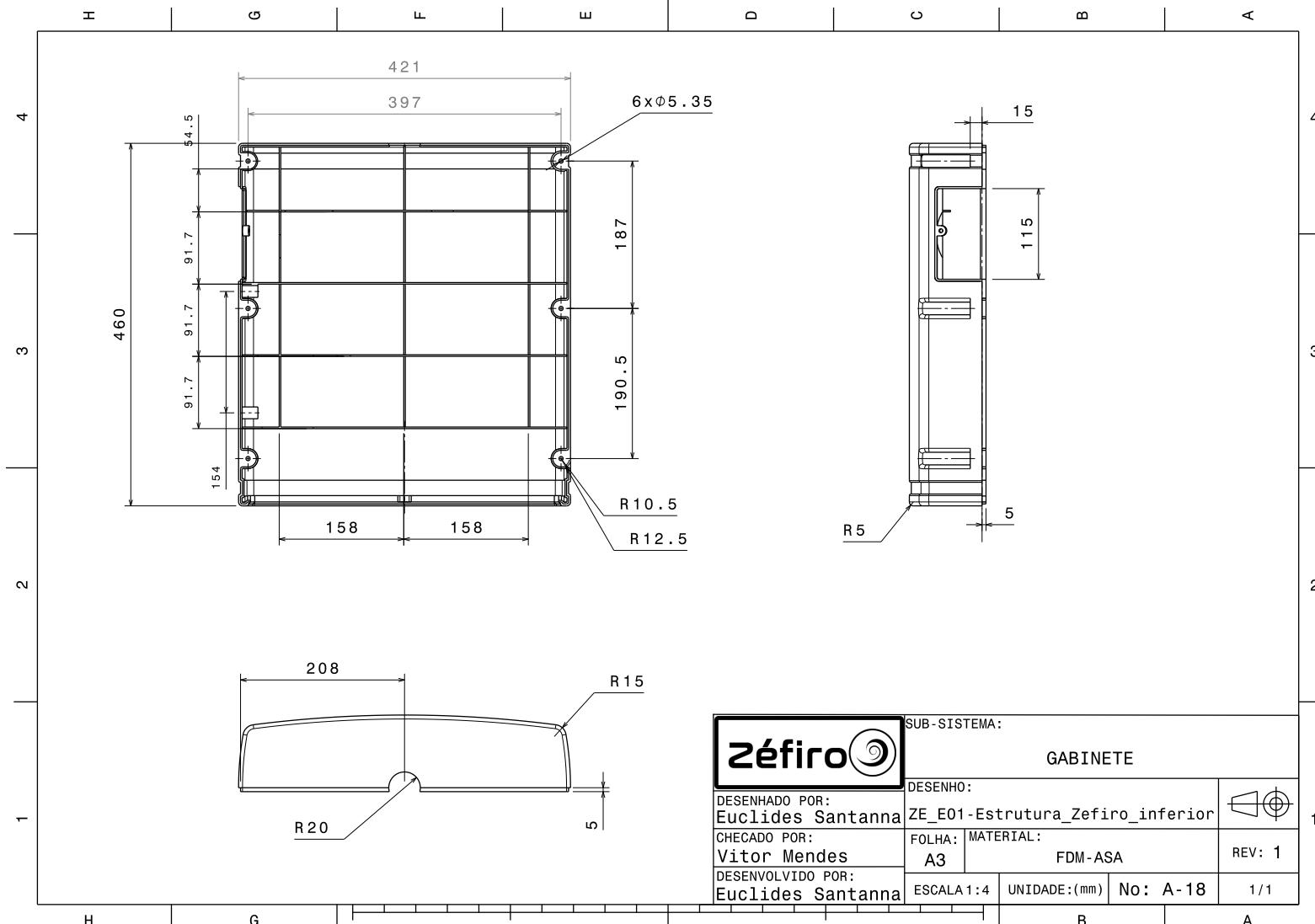


Figura 99 – Estrutura Zéfiro Inferior.

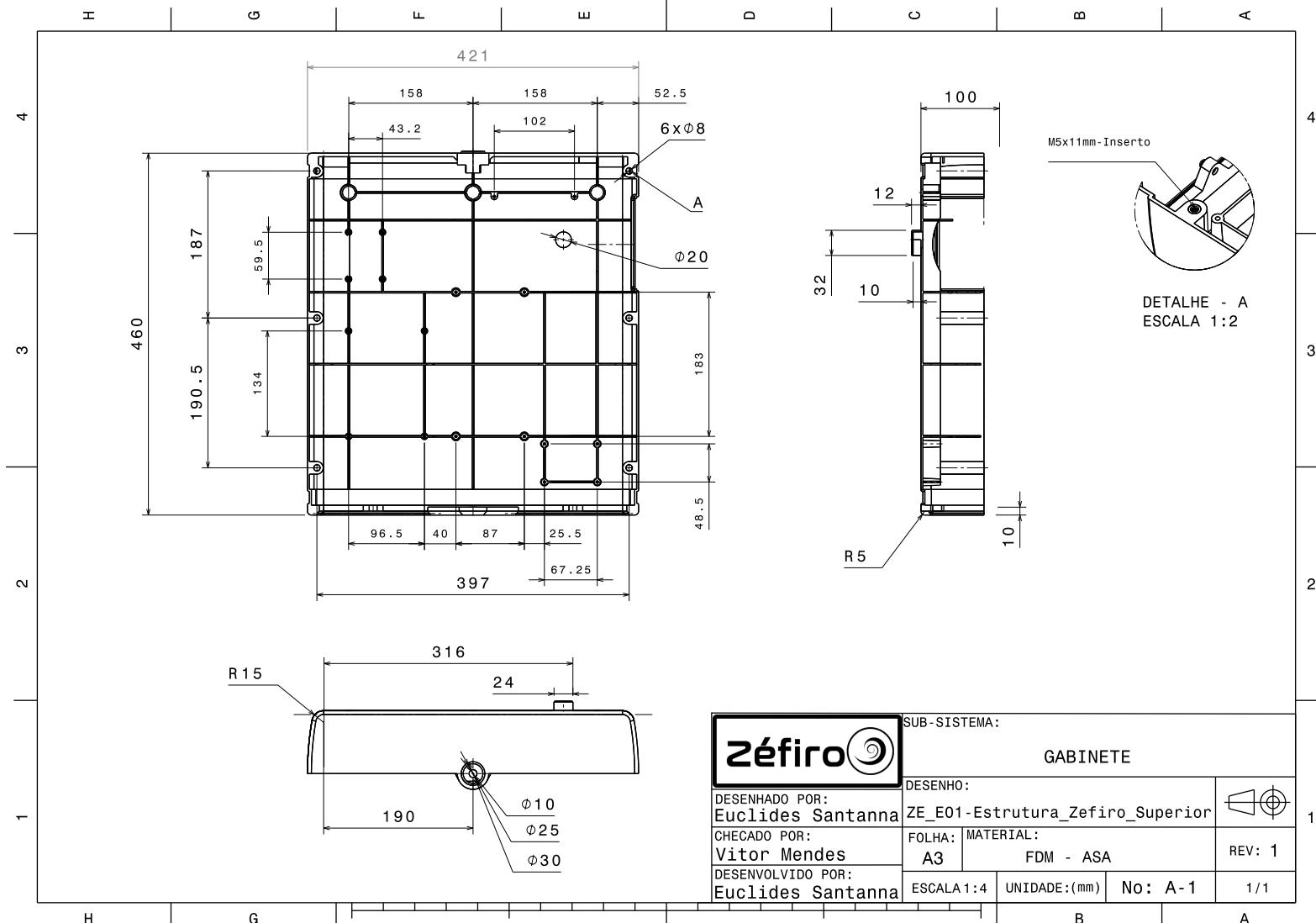


Figura 100 – Estrutura Zéfiro Superior.

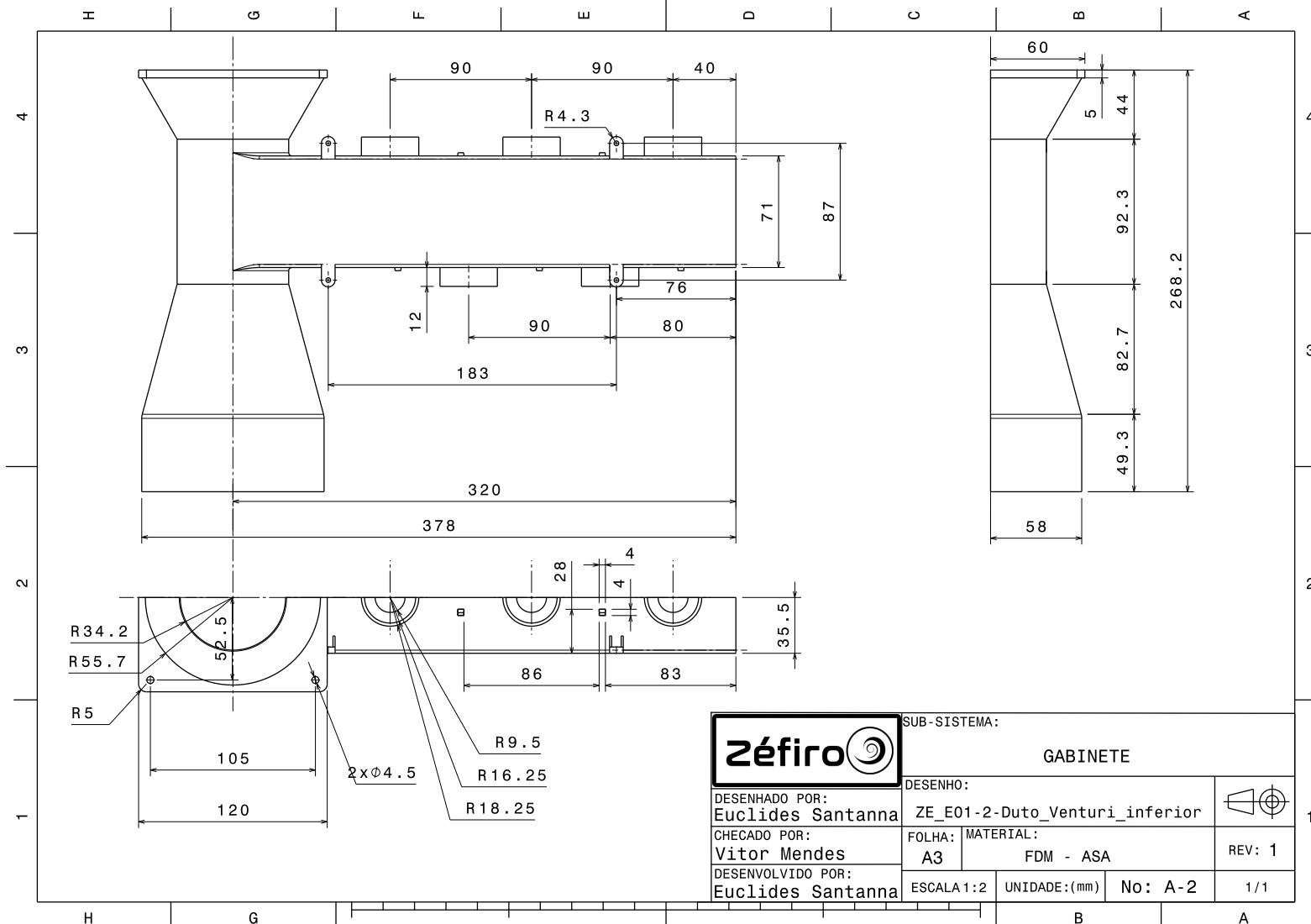


Figura 101 – Duto Venturi inferior.

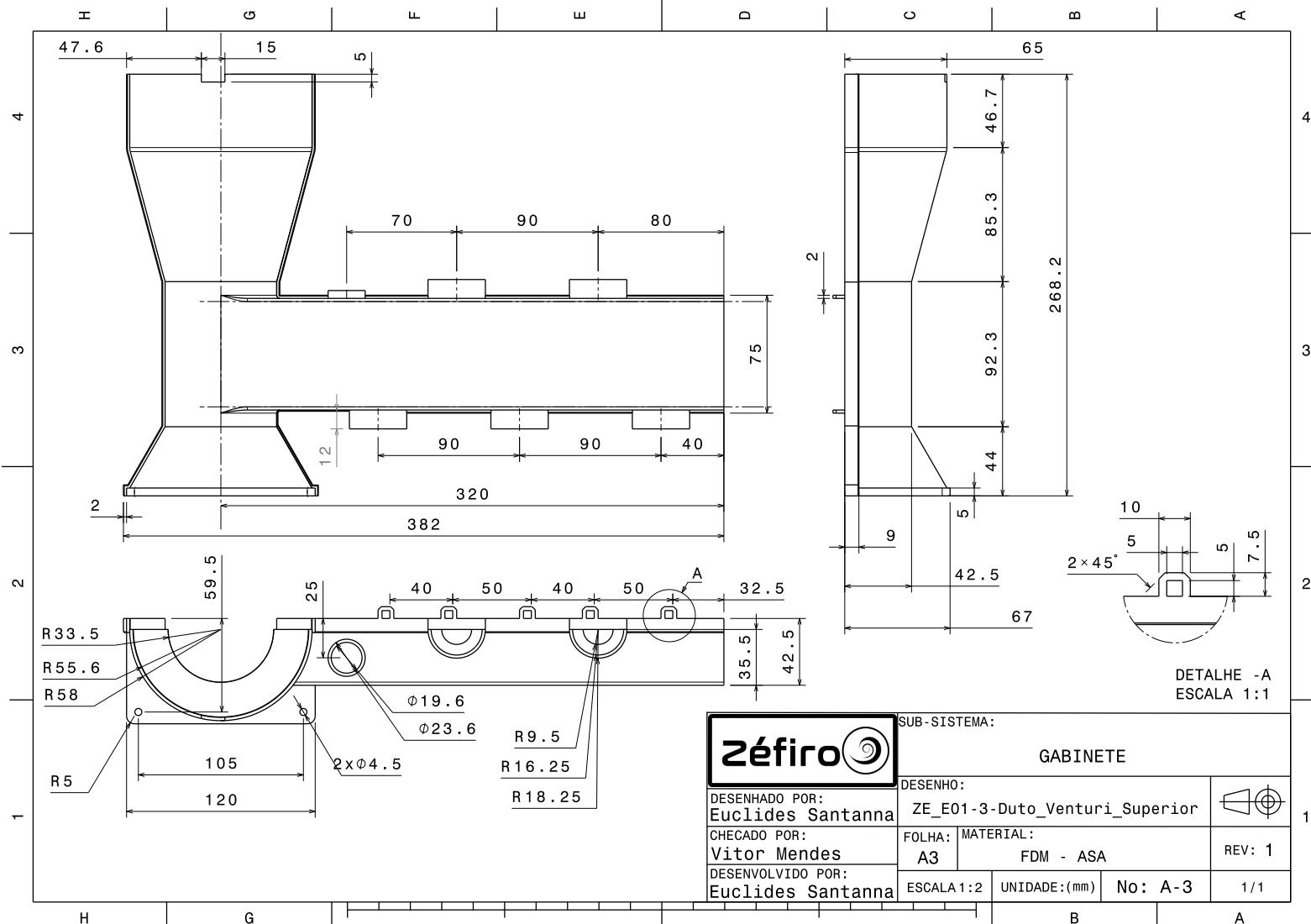


Figura 102 – Duto Venturi superior.

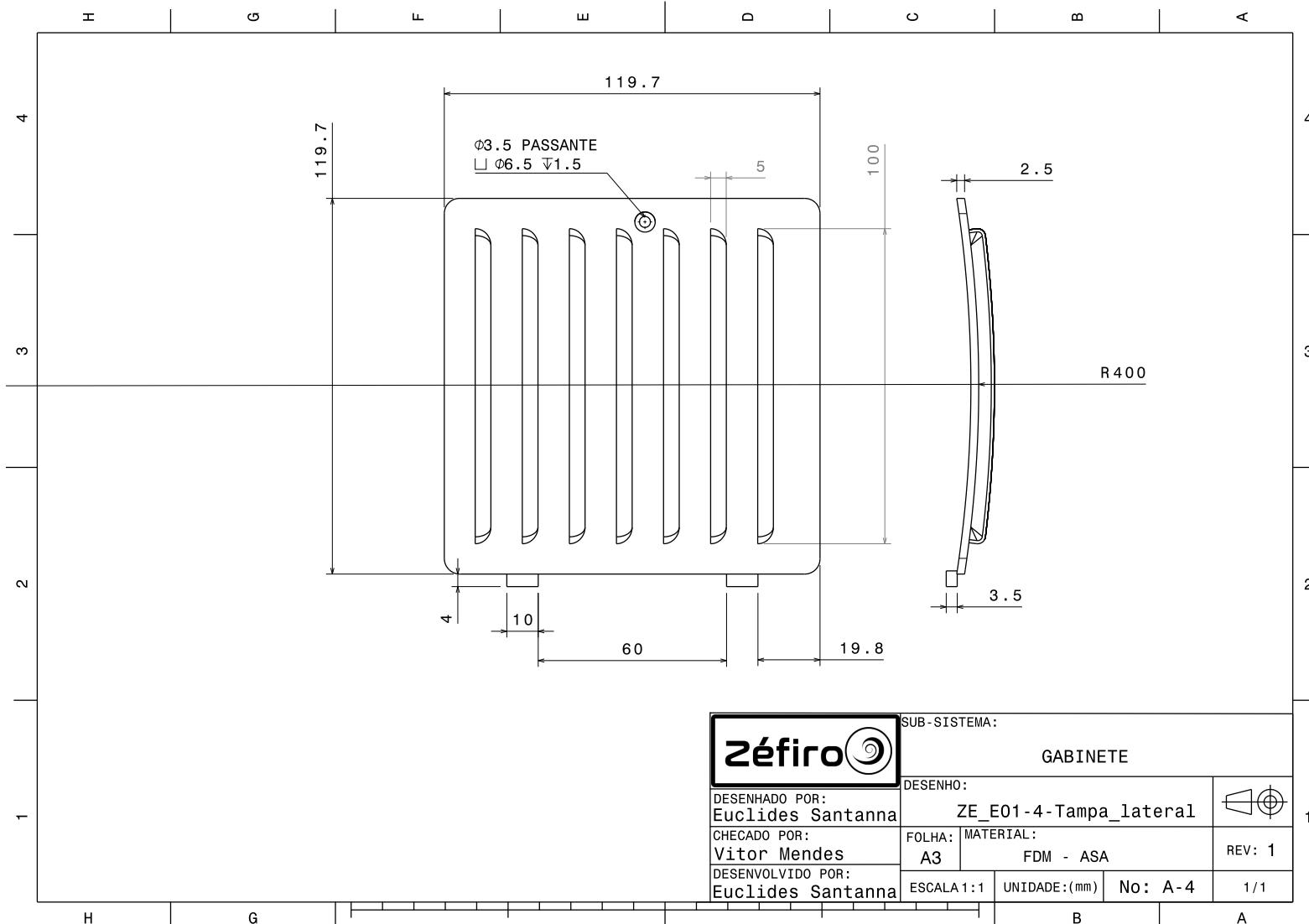


Figura 103 – Tampa Lateral.

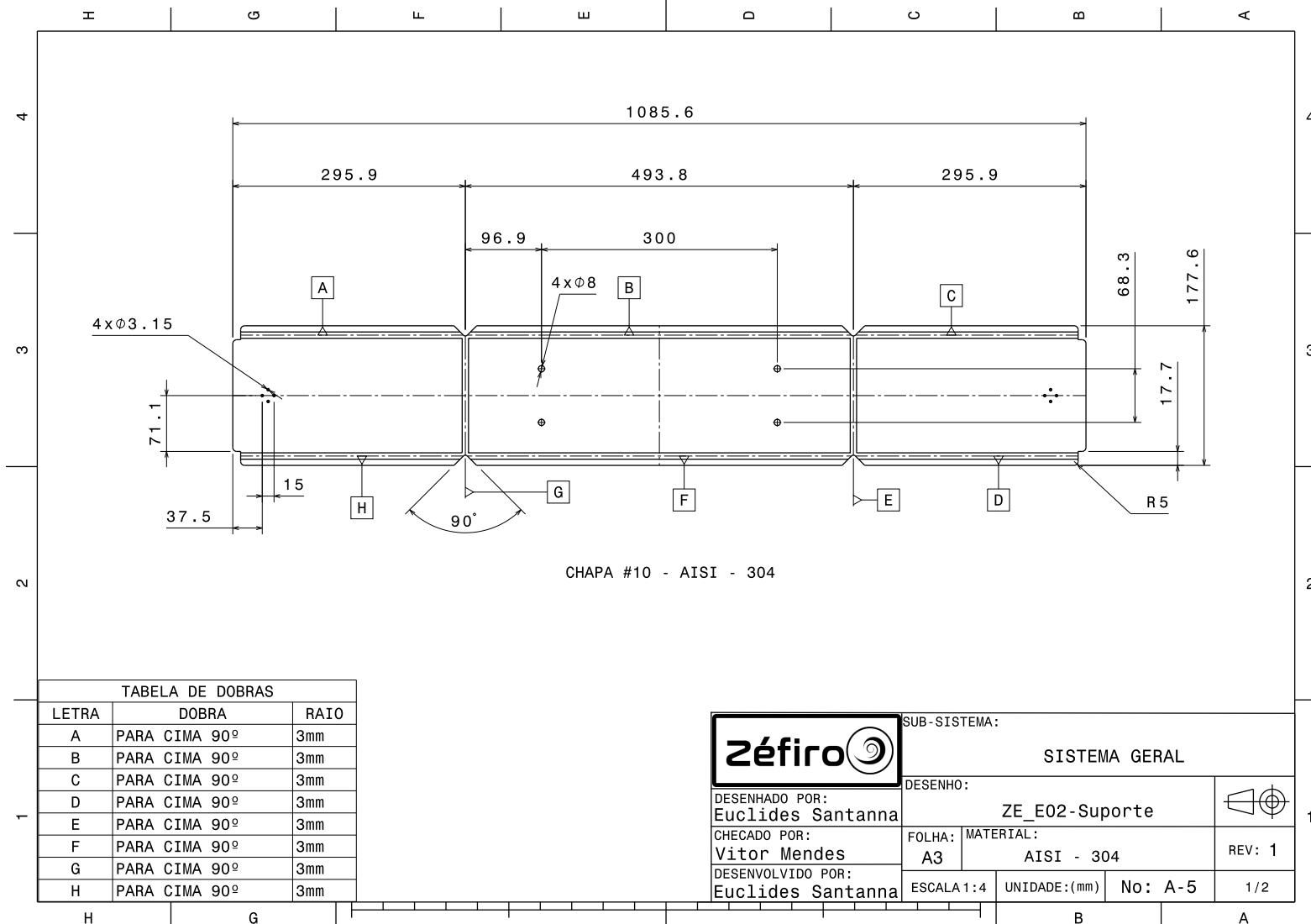


Figura 104 – Suporte Gabinete, visão horizontal.

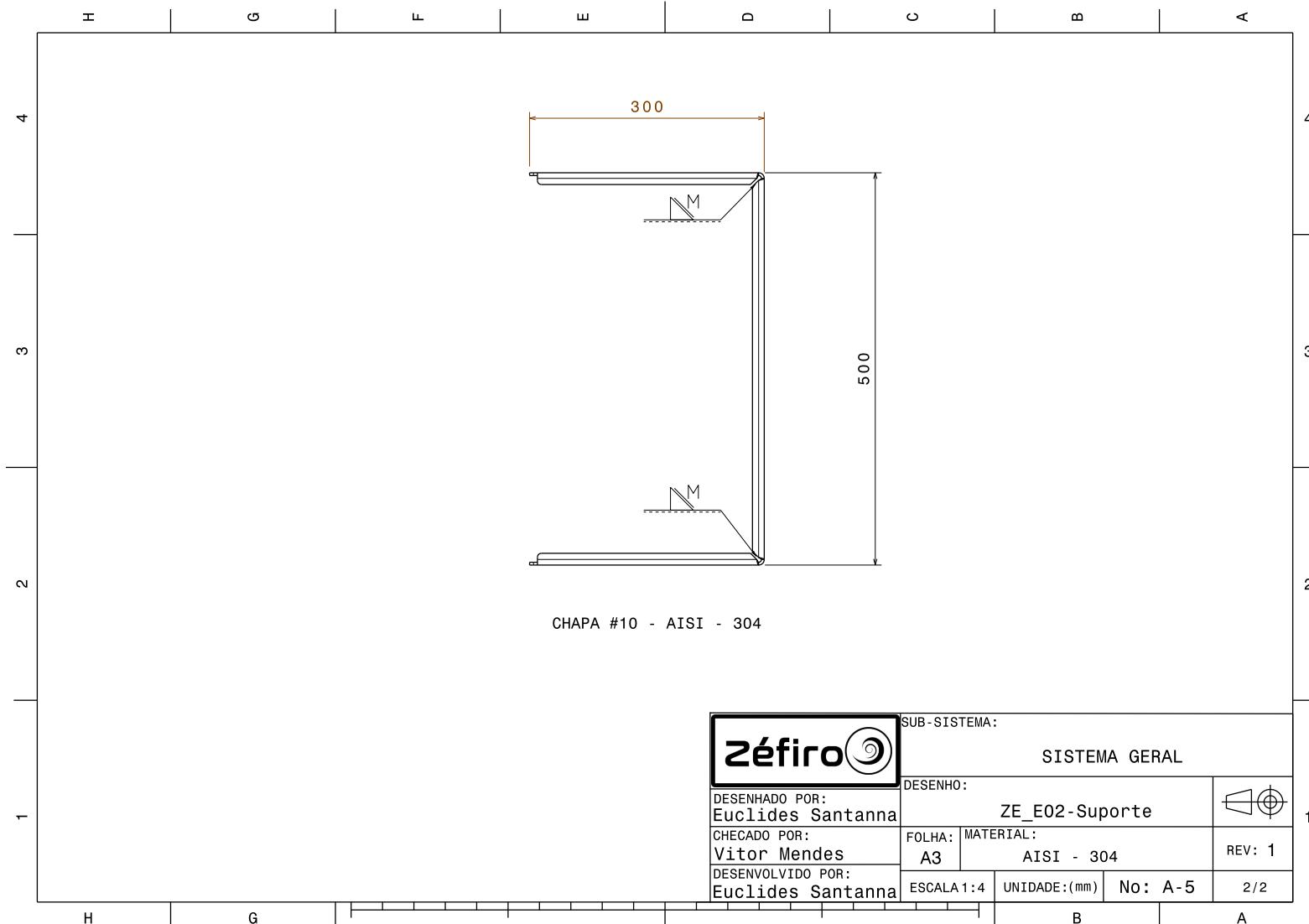


Figura 105 – Suporte Gabinete, visão vertical.

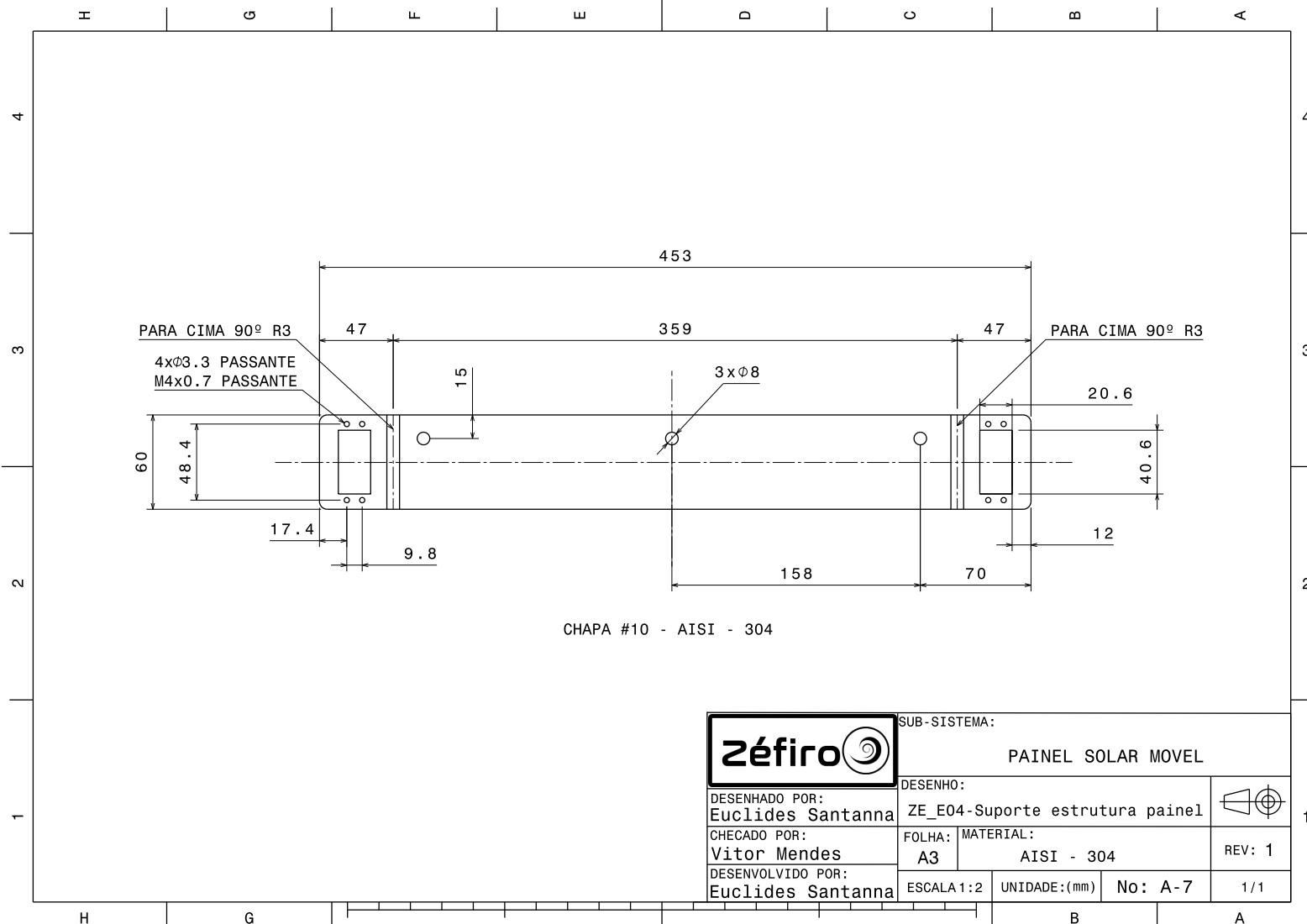


Figura 106 – Suporte Estrutura Painel.

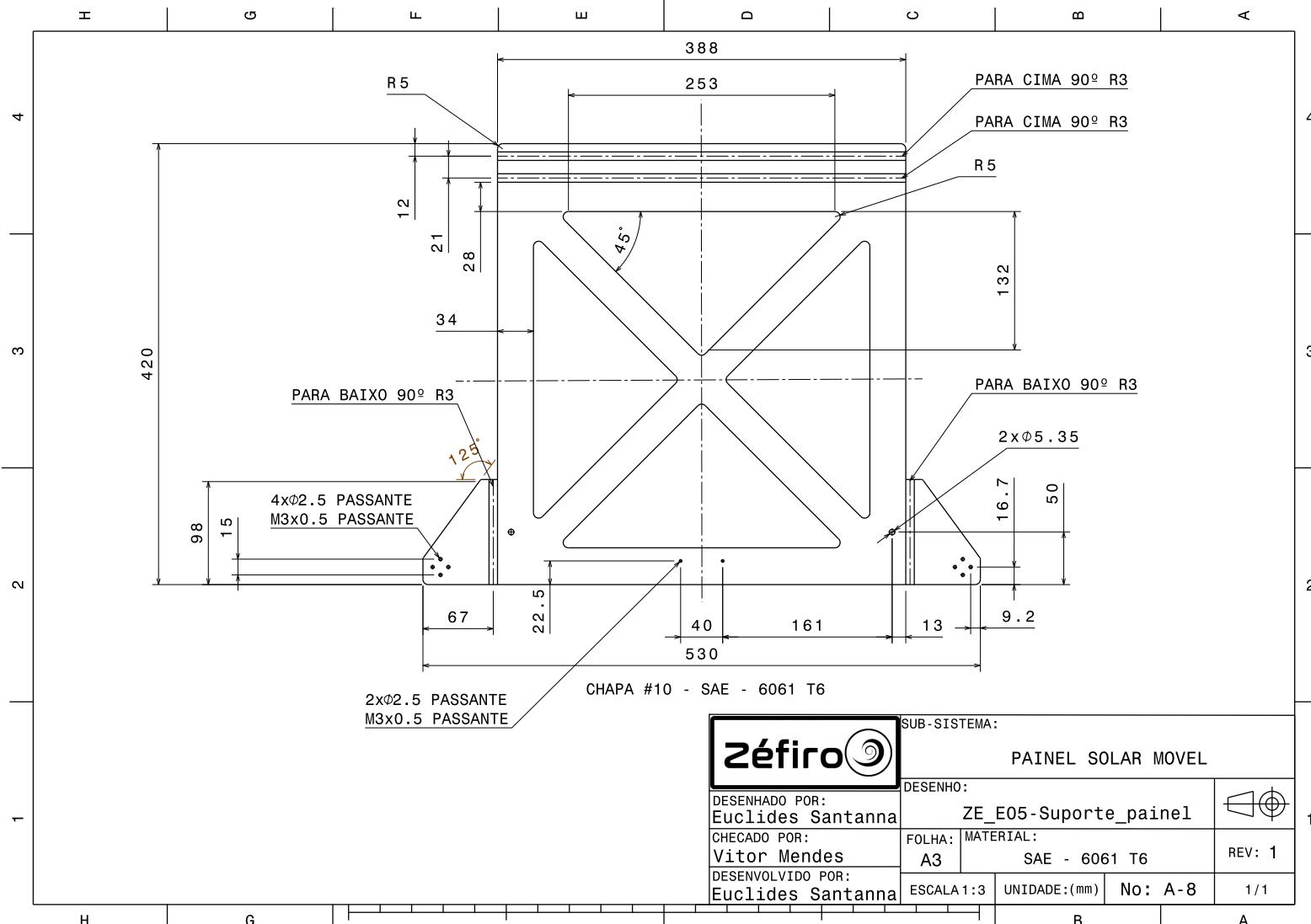


Figura 107 – Suporte Painel.

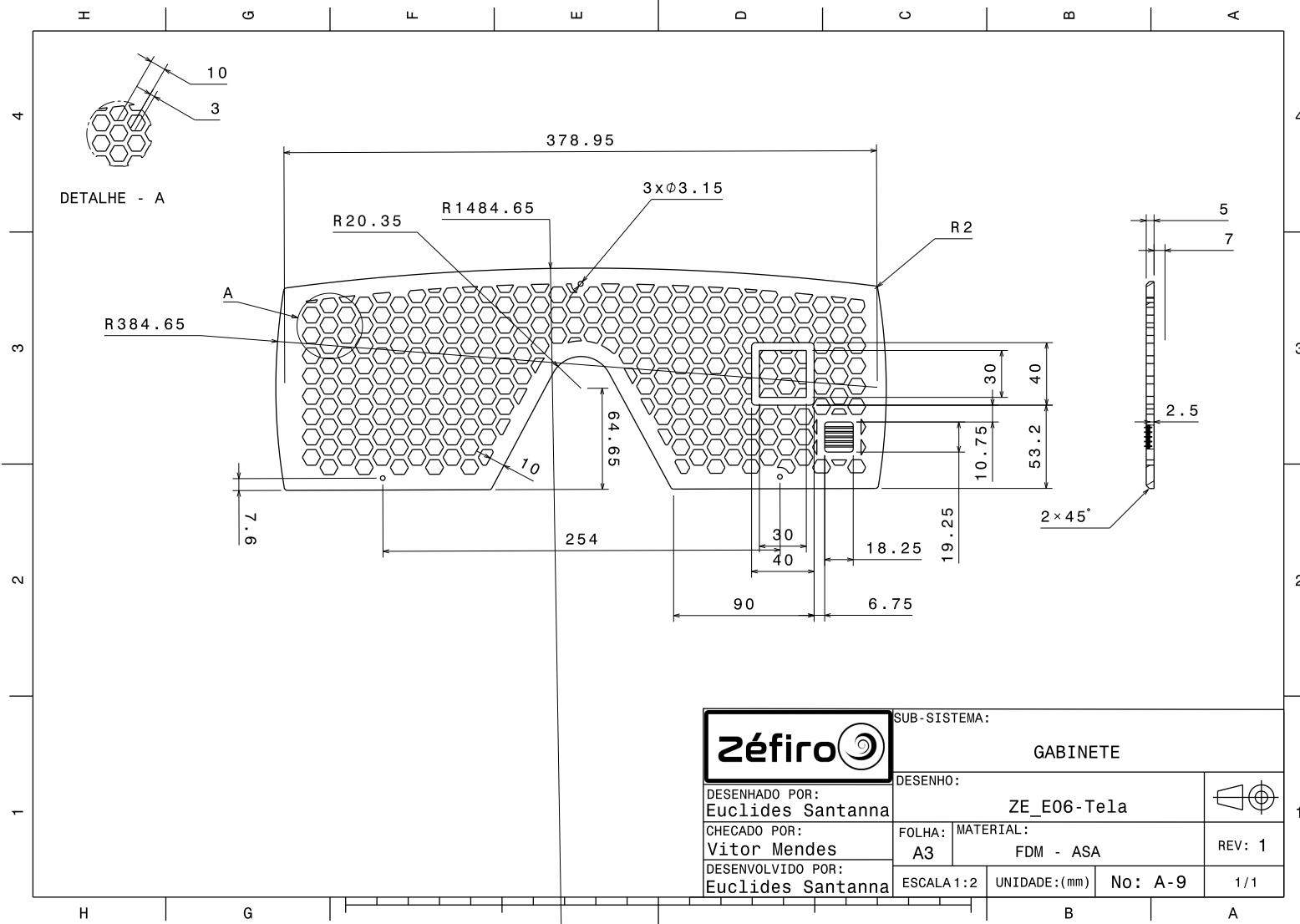


Figura 108 – Tela Inferior.

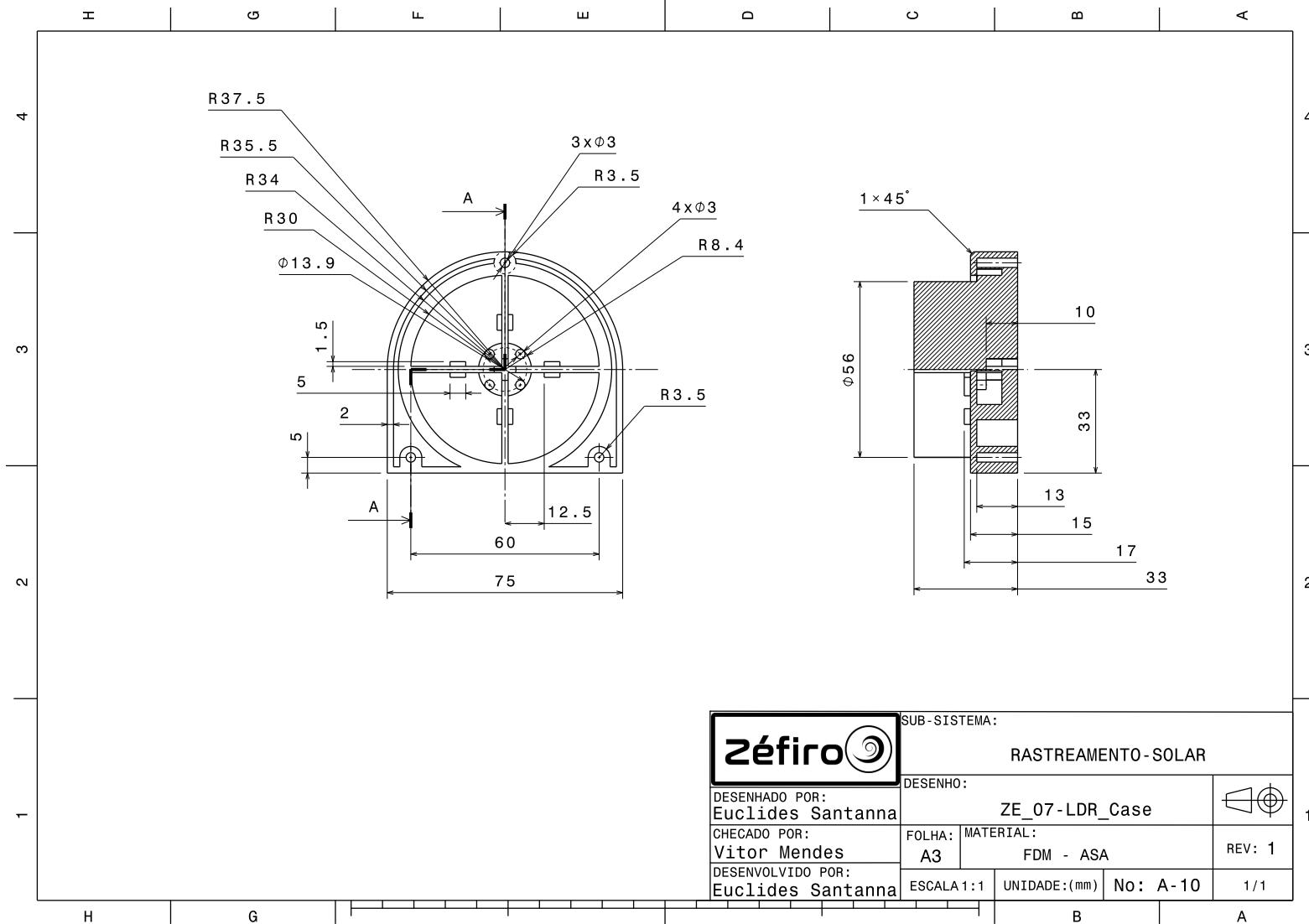


Figura 109 – Caixa para LDRs.

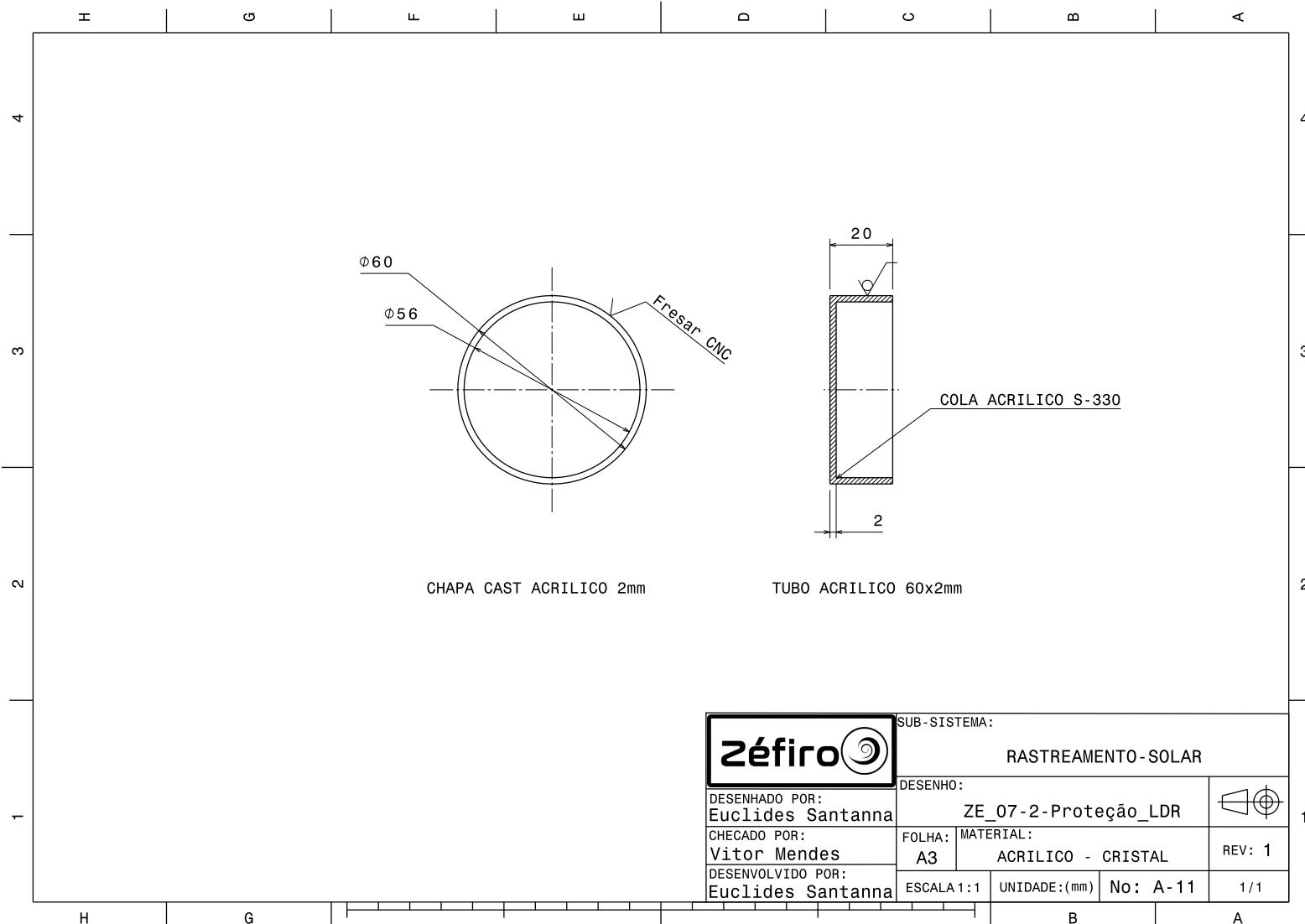


Figura 110 – Proteção LDRs.

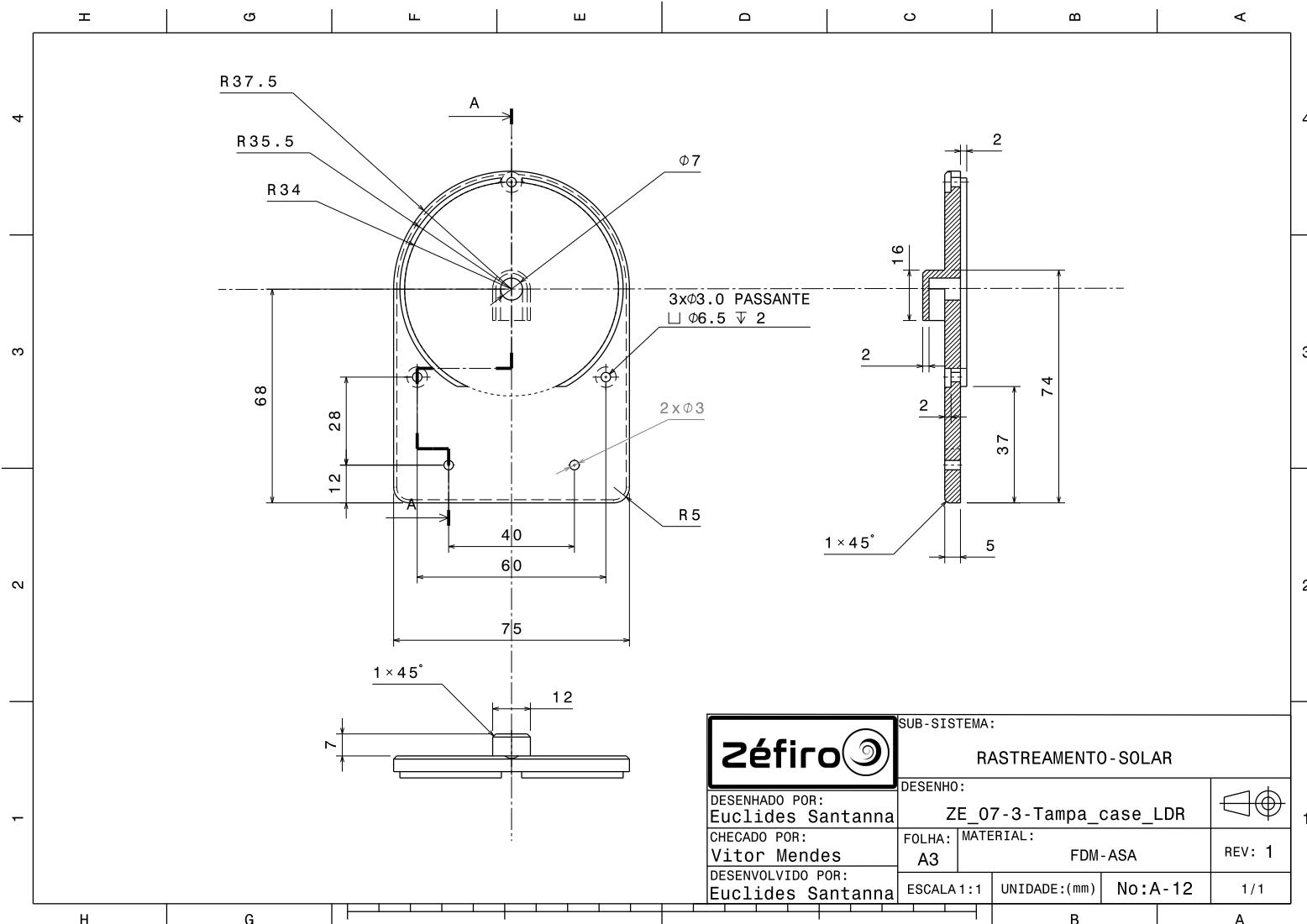


Figura 111 – Tampa da Caixa para LDRs.

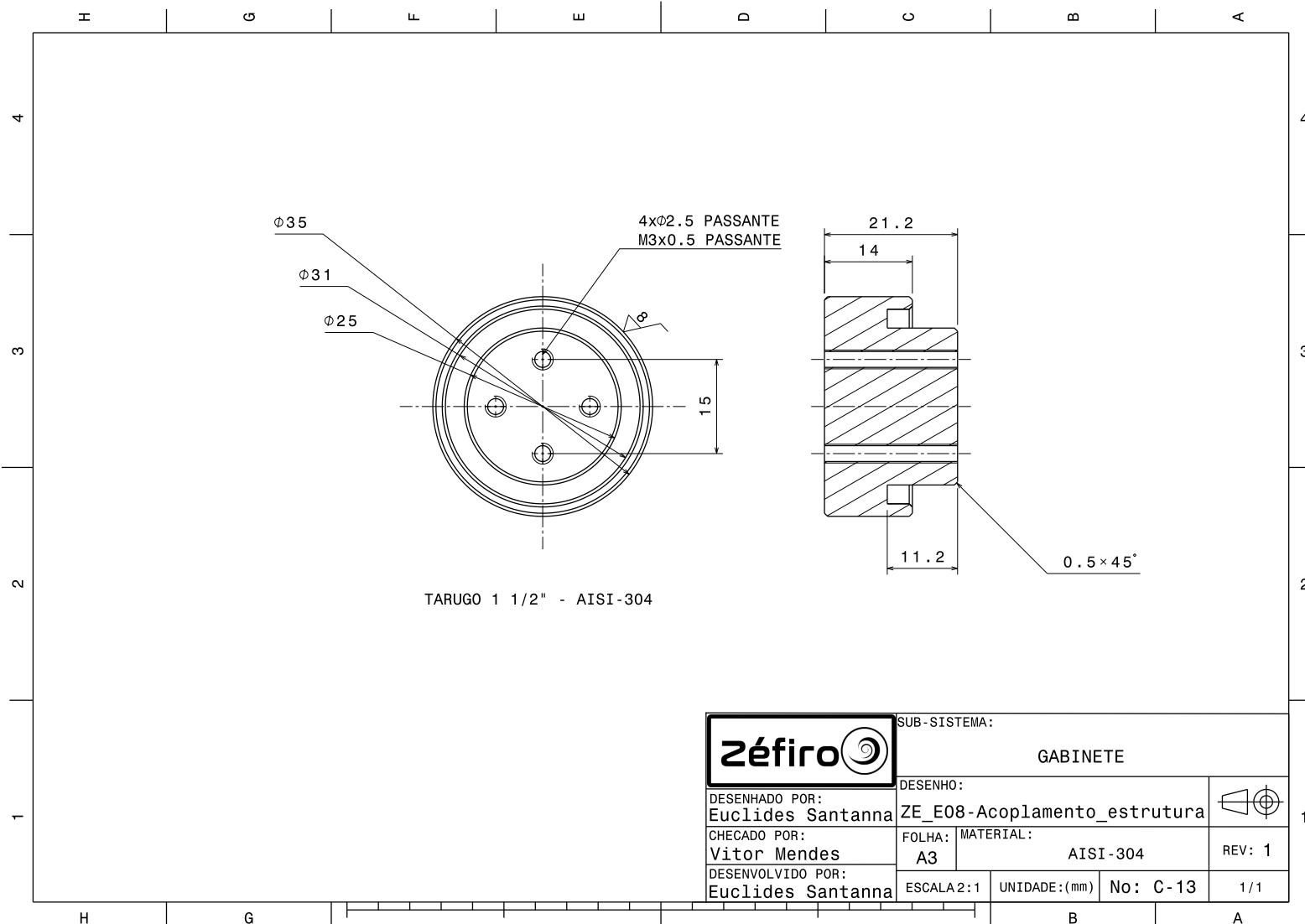


Figura 112 – Acoplamento estrutura.

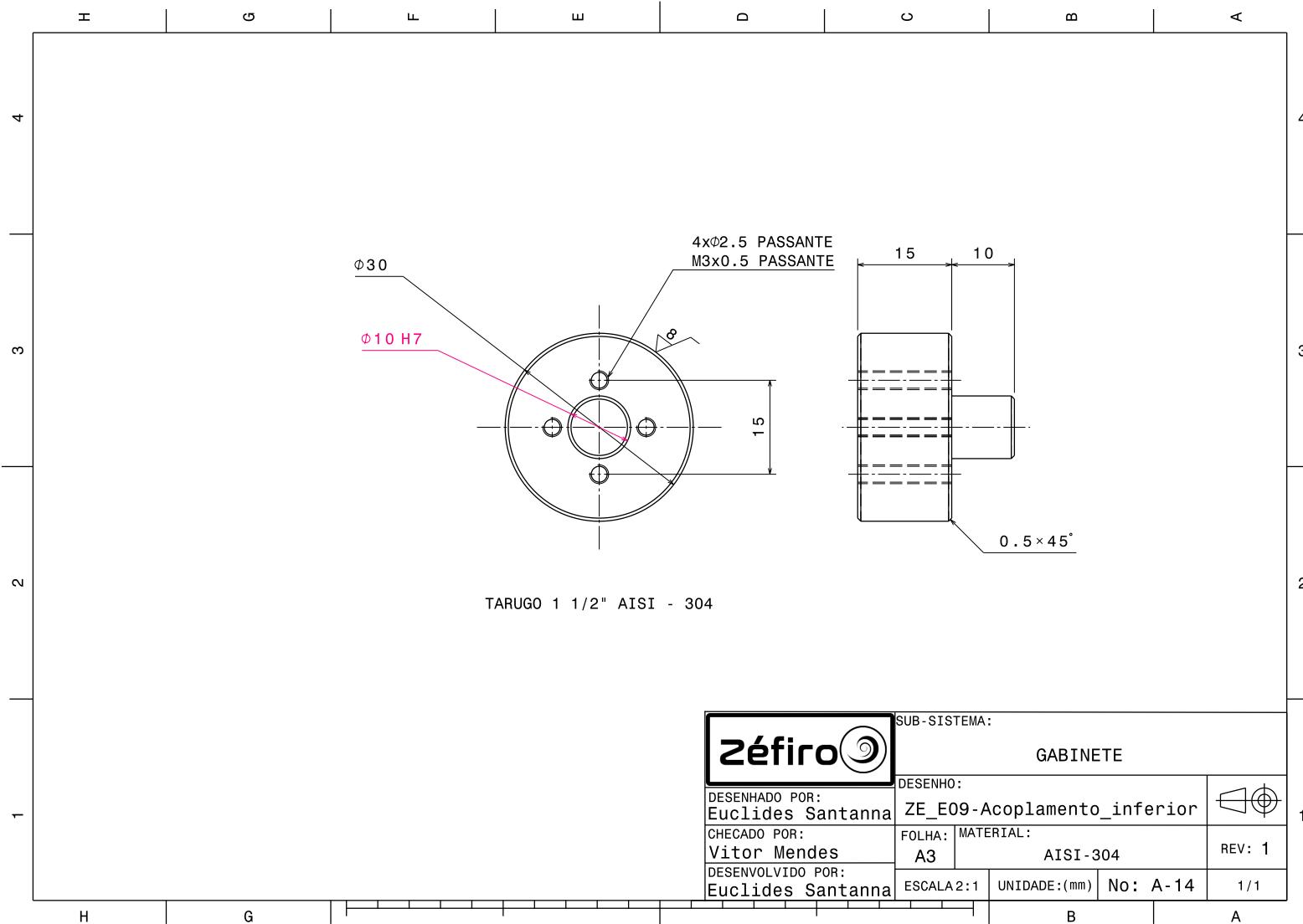


Figura 113 – Acoplamento inferior.

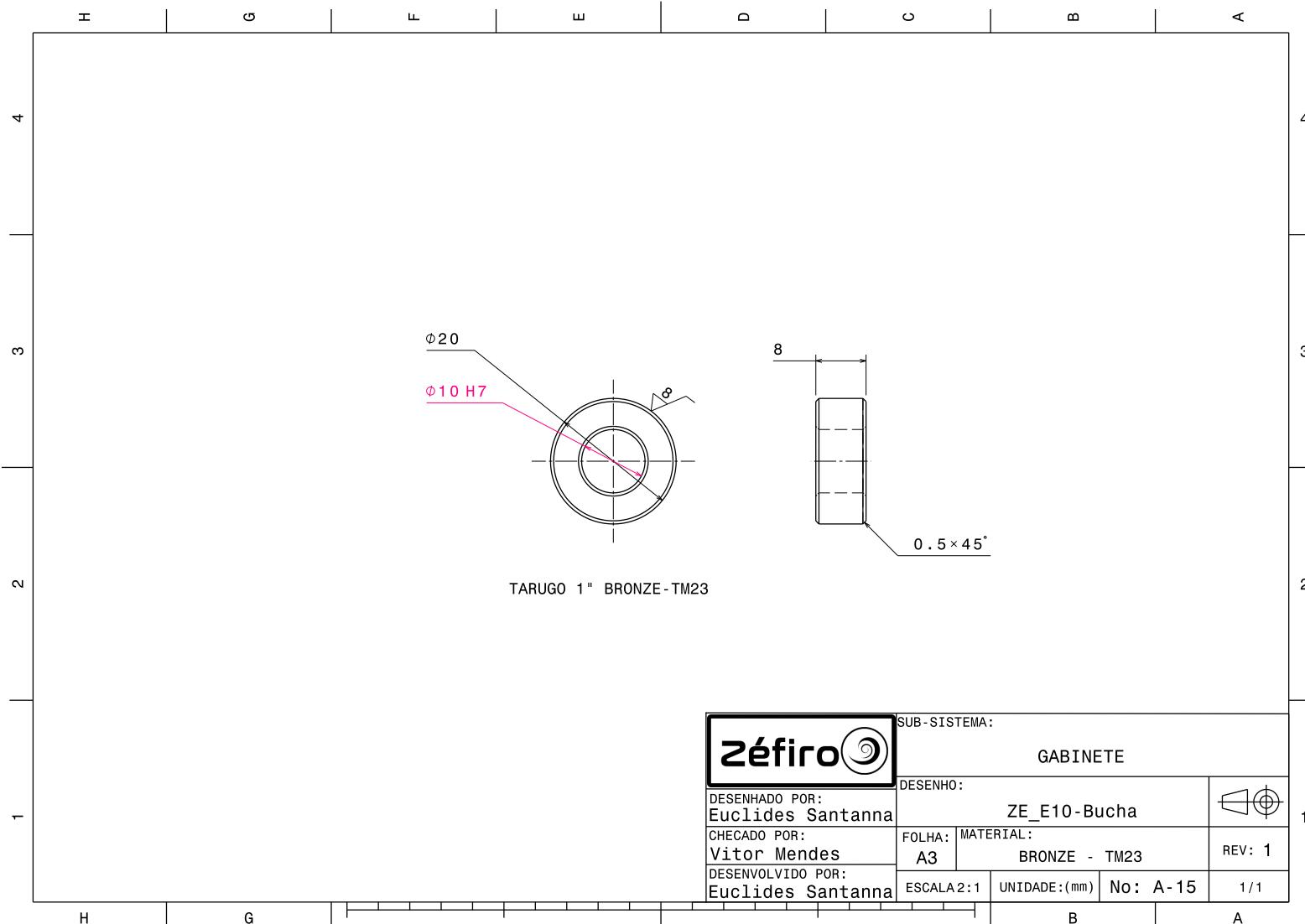


Figura 114 – Bucha.

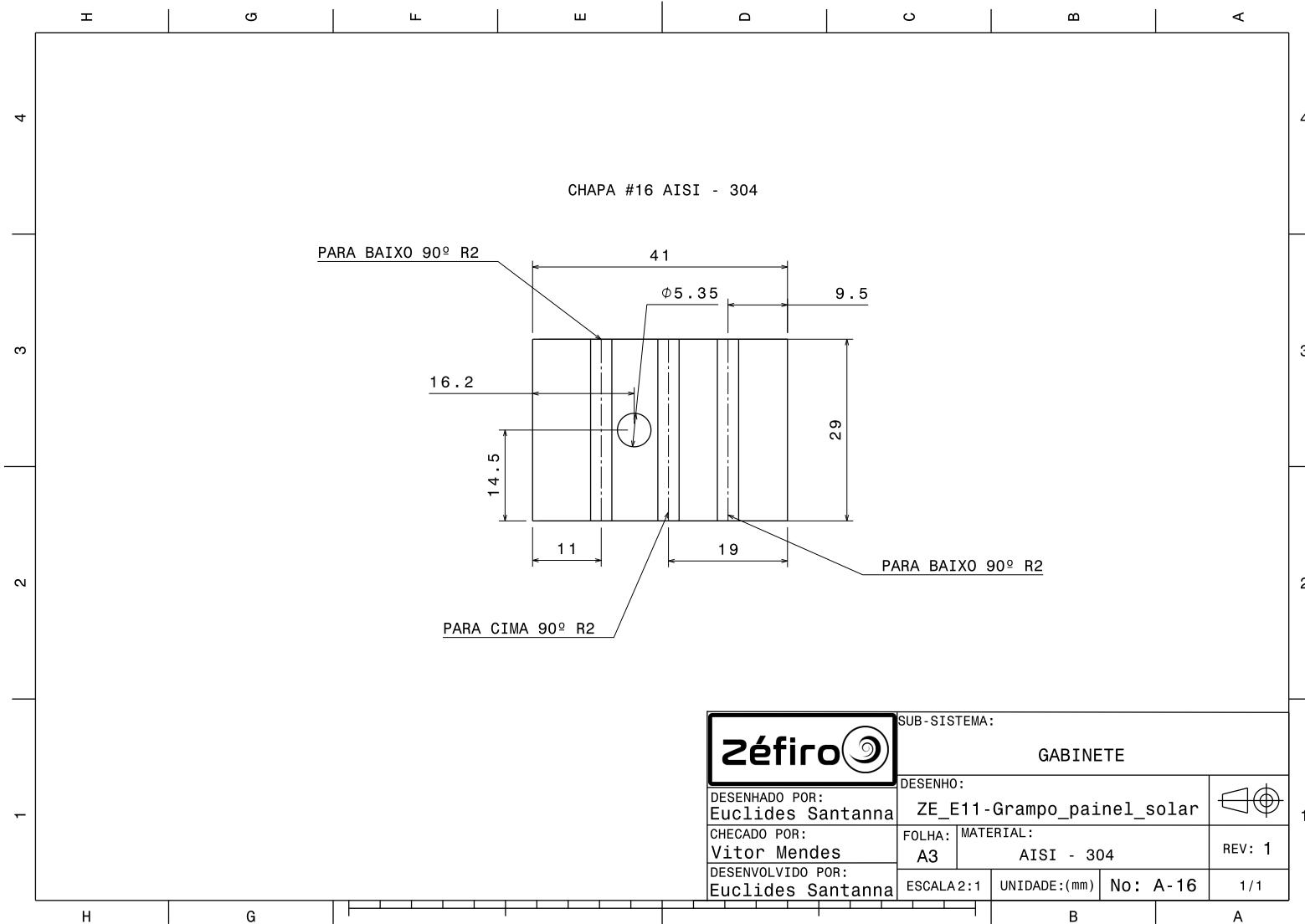


Figura 115 – Grampo Painel Solar.

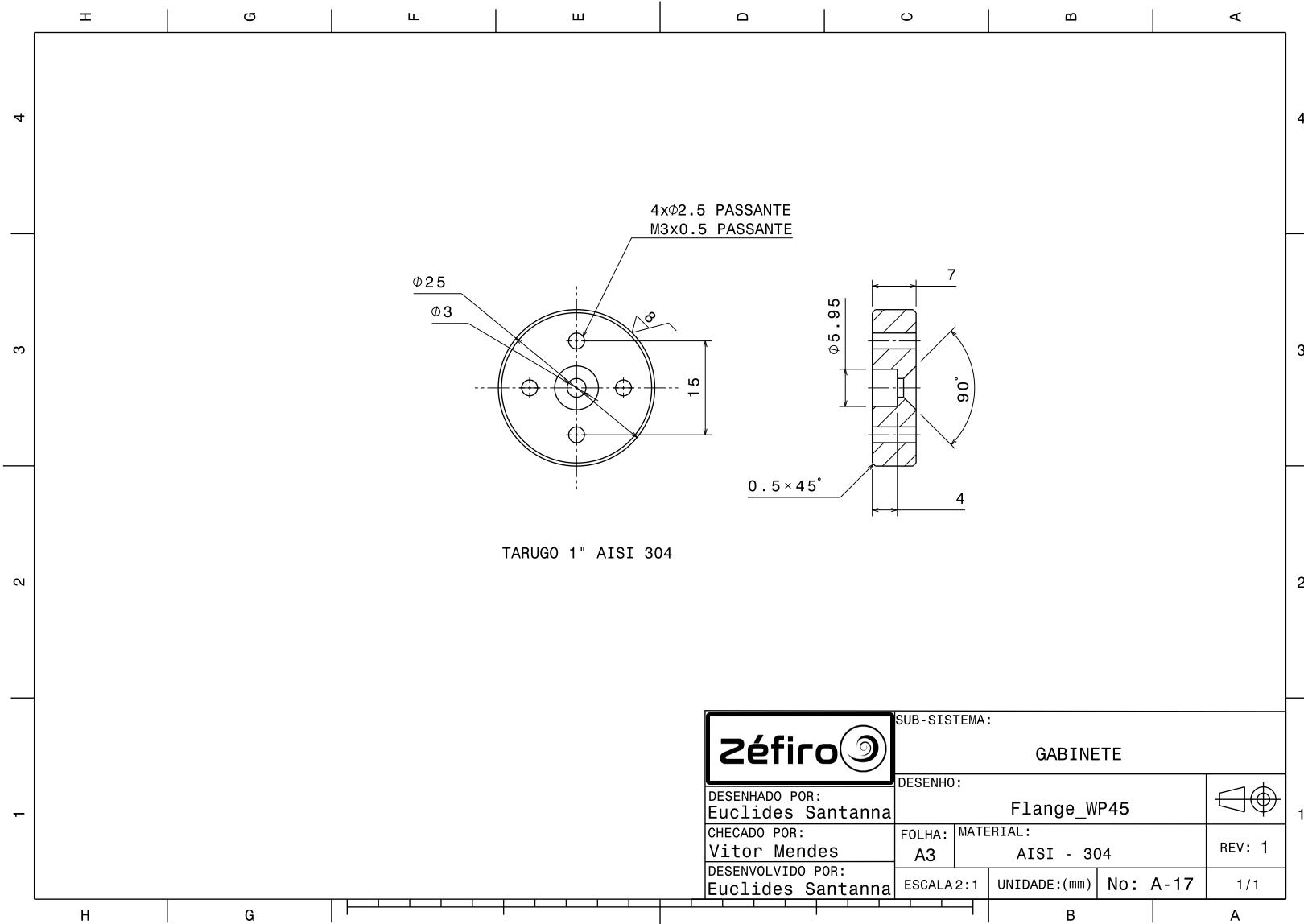


Figura 116 – Flange WP45.

Figura 117 – Lista de Materiais Estação Zéfiro.

## APÊNDICE R – CAD renderizado



Figura 118 – Visão frontal.

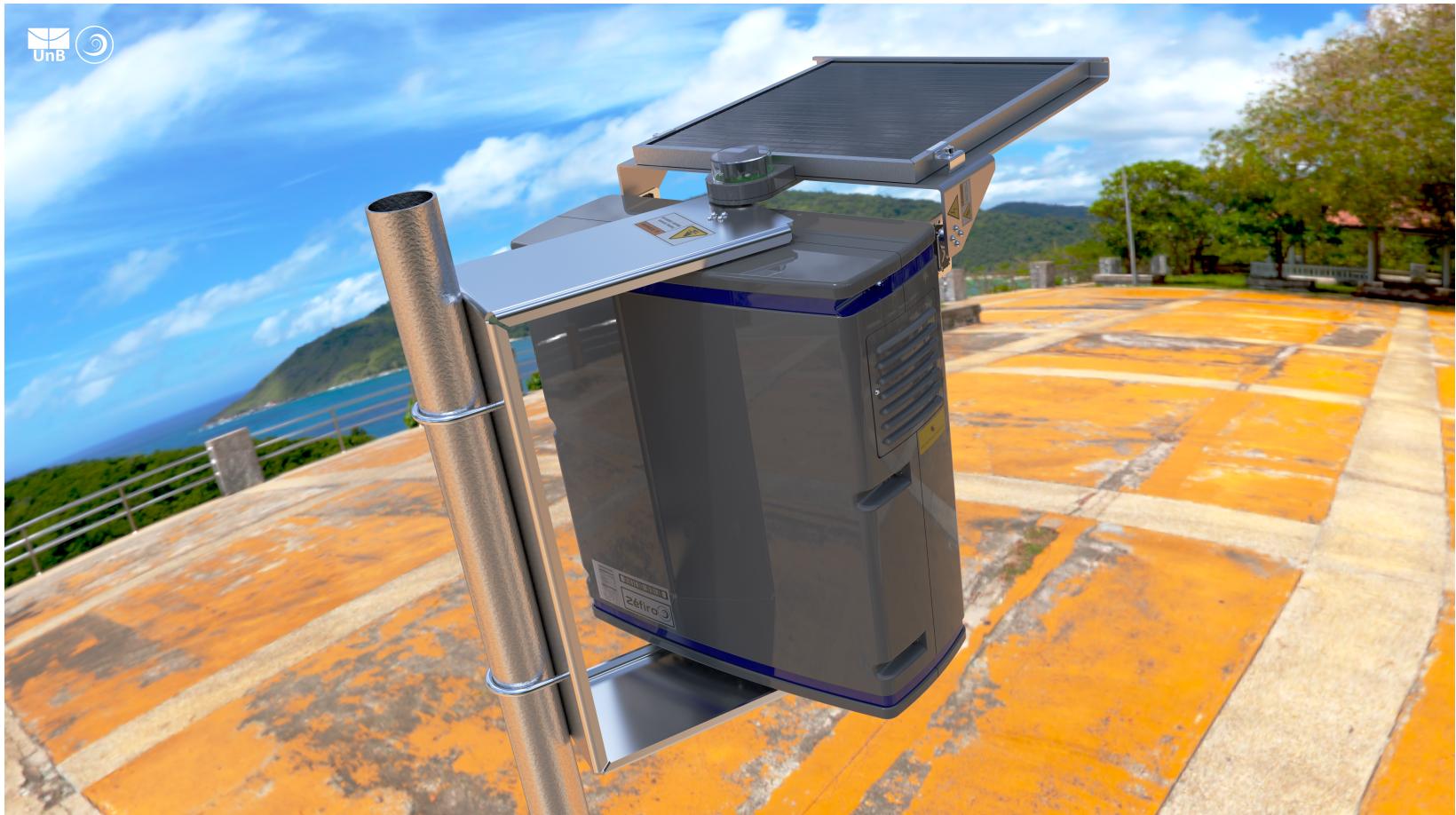


Figura 119 – Visão traseira.

# APÊNDICE S – Simulações Estrutura

## S.1 Saídas Numéricas da Simulação do Venturi

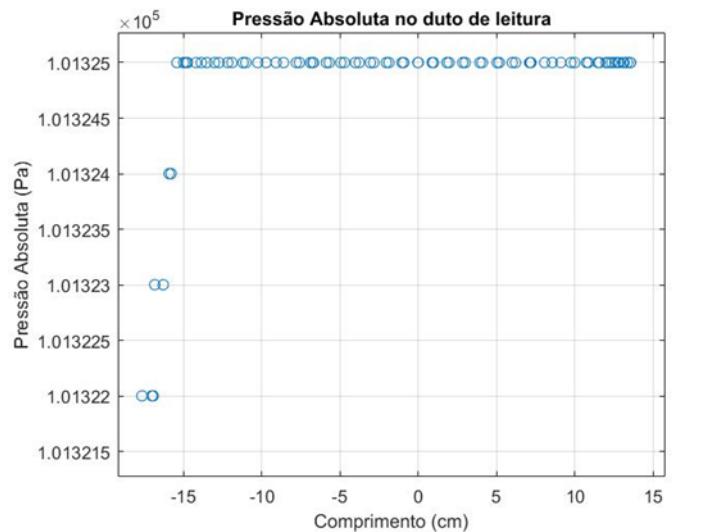


Figura 120 – Pressão ao longo do tubo de leitura dos sensores.

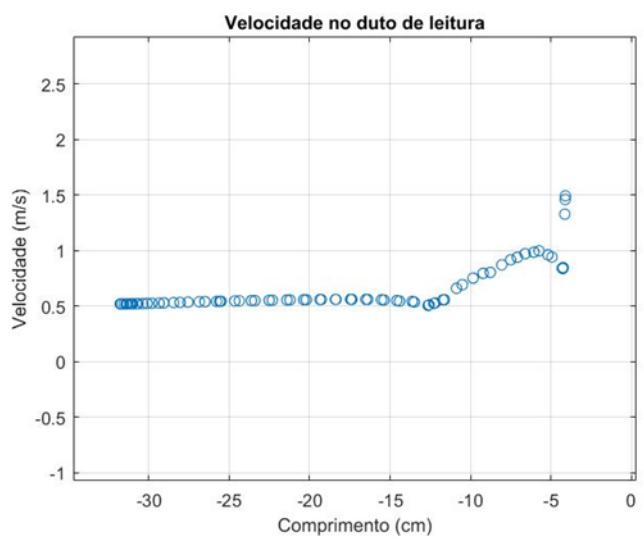


Figura 121 – Velocidade ao longo dos sensores.

## S.2 Esforços Estruturais

### S.2.1 Simulação 1 - Chapa Gabinete

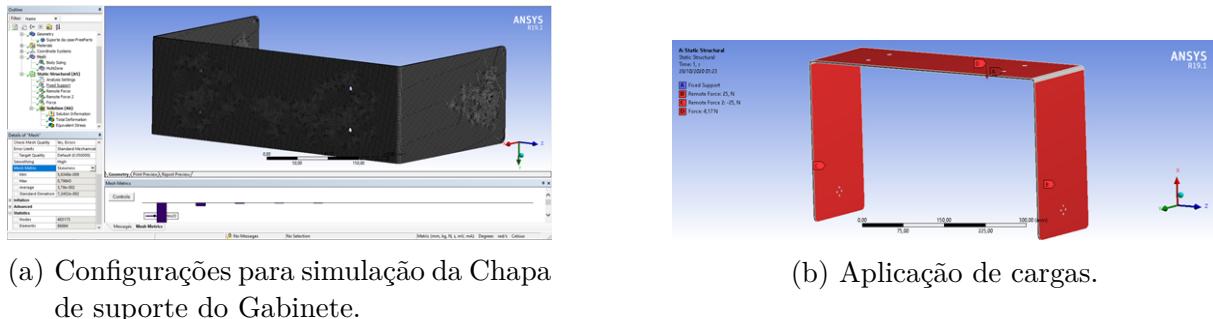


Figura 122 – Configuração das Condições de Contorno apoio Gabinite.

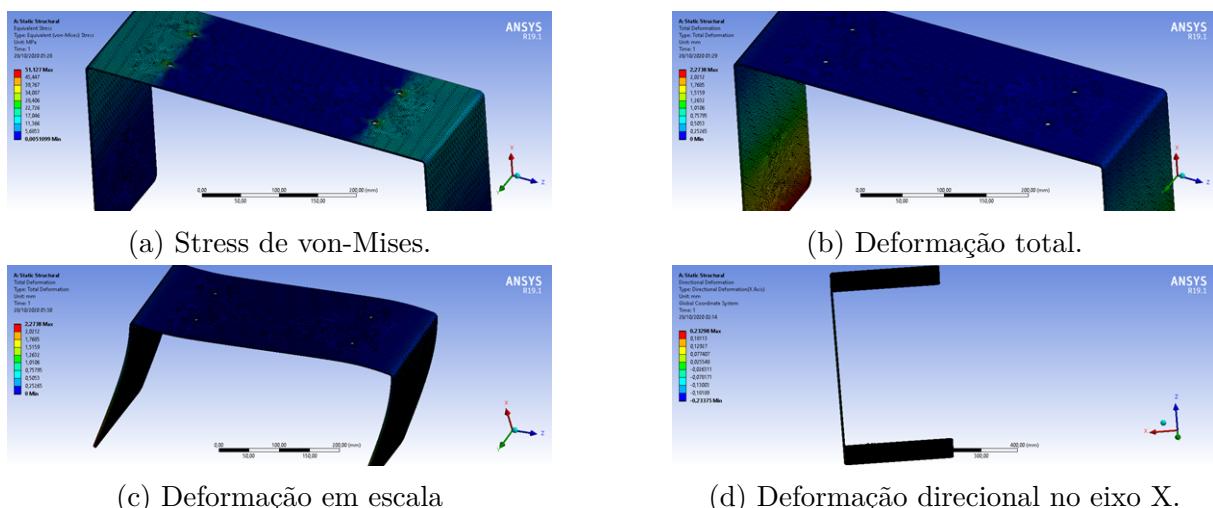


Figura 123 – Resultados da simulação da Chapa estrutura principal.

### S.2.2 Simulação 2 - Chapa Gabinete reforçada

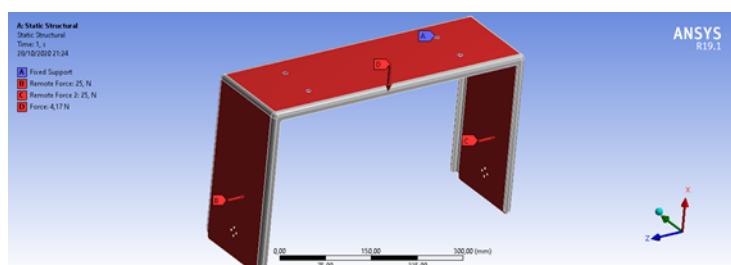


Figura 124 – Aplicação de cargas.

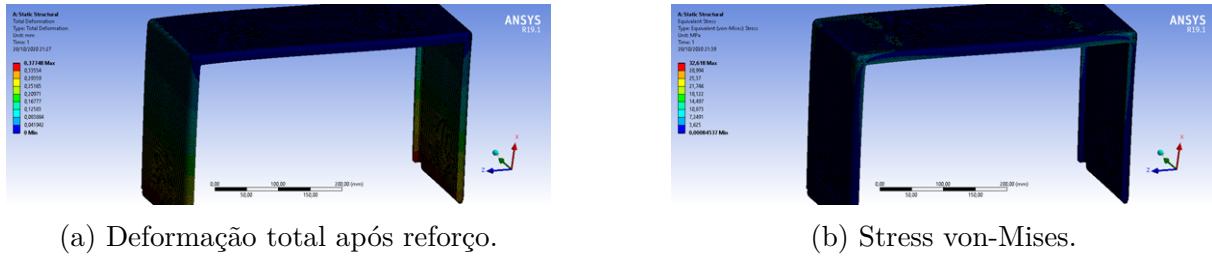


Figura 125 – Resultados da simulação, após reforço da Chapa.

### S.2.3 Simulação 3 - Poste

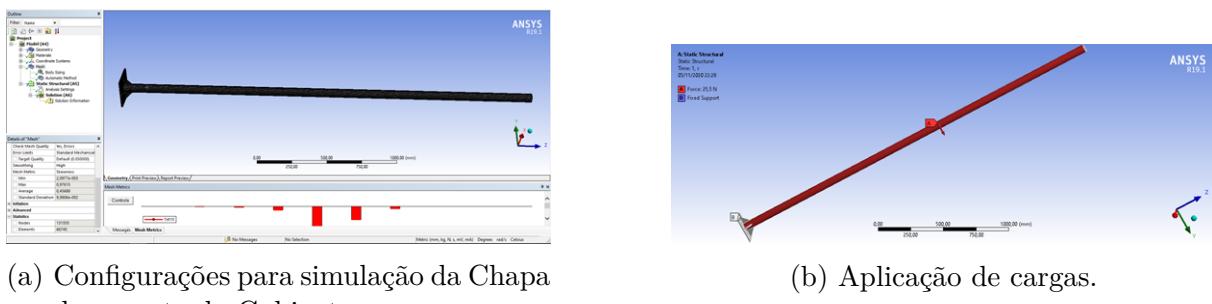


Figura 126 – Configuração das Condições de Contorno Poste.

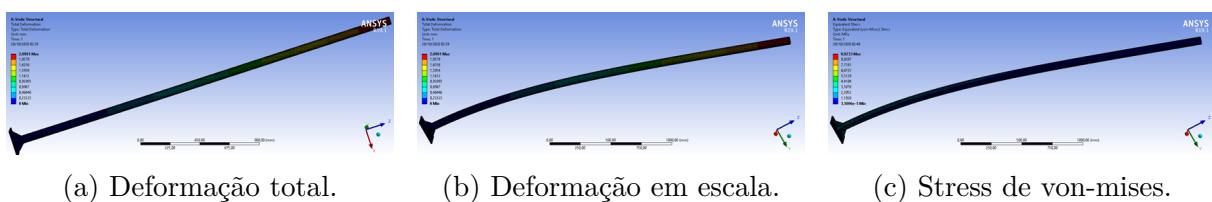


Figura 127 – Resultados da simulação do Poste.

### S.2.4 Simulação 4 - Chapa Central

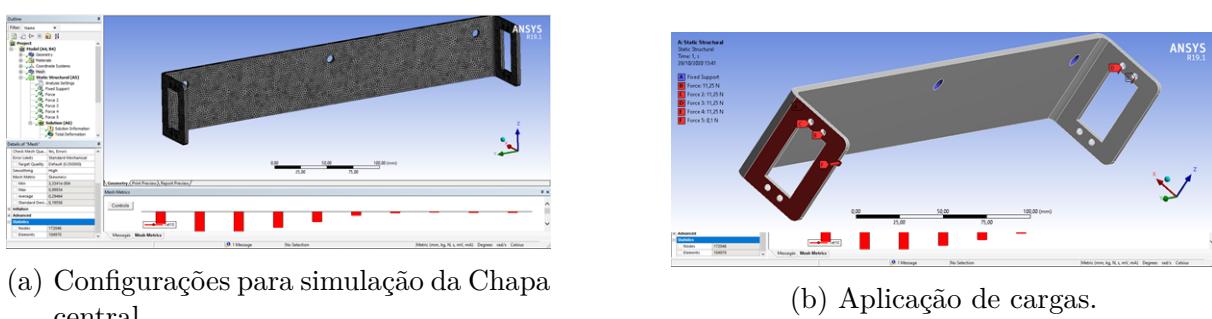


Figura 128 – Configuração das Condições de Contorno Chapa central.

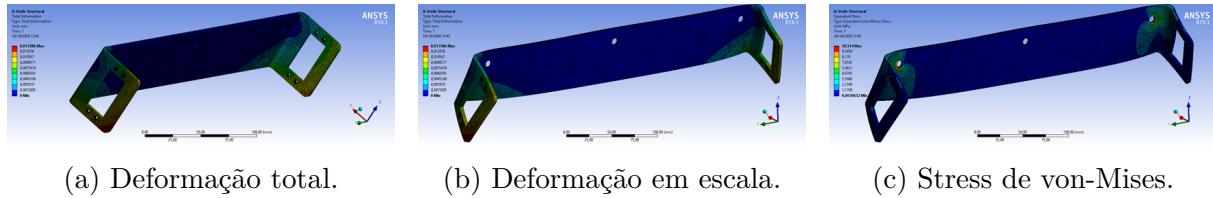


Figura 129 – Resultados da simulação da Chapa central.

### S.2.5 Simulação 4 - Chapa de suporte do Painel Solar

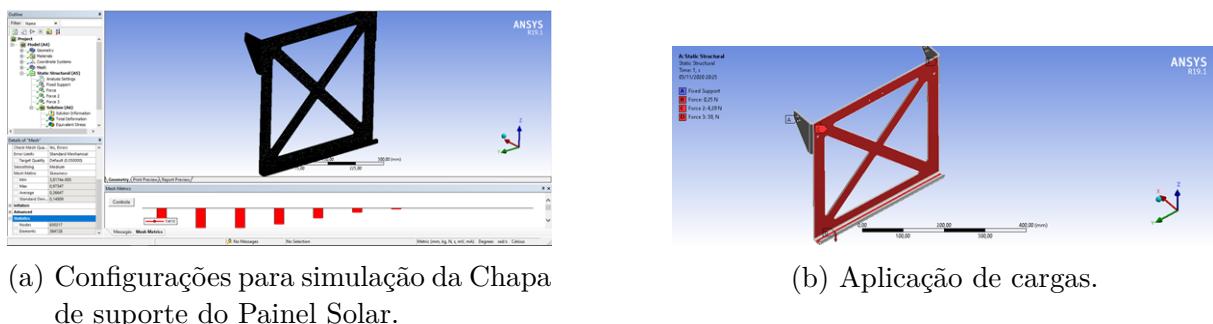


Figura 130 – Configuração das Condições de Contorno Chapa de suporte do Painel Solar.

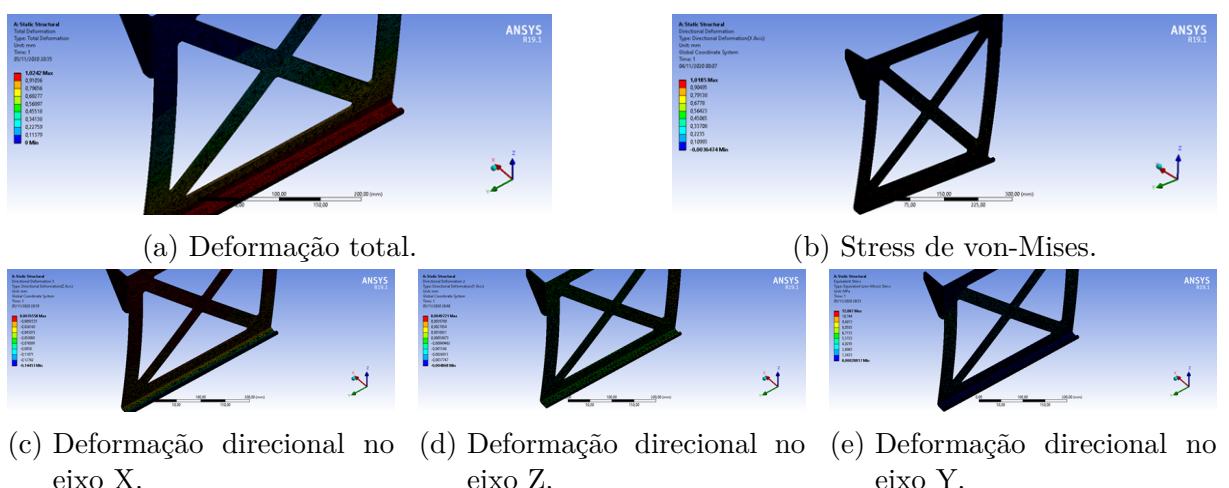


Figura 131 – Resultados da simulação da Chapa de suporte do Painel Solar.

### S.3 Análise Dinâmica

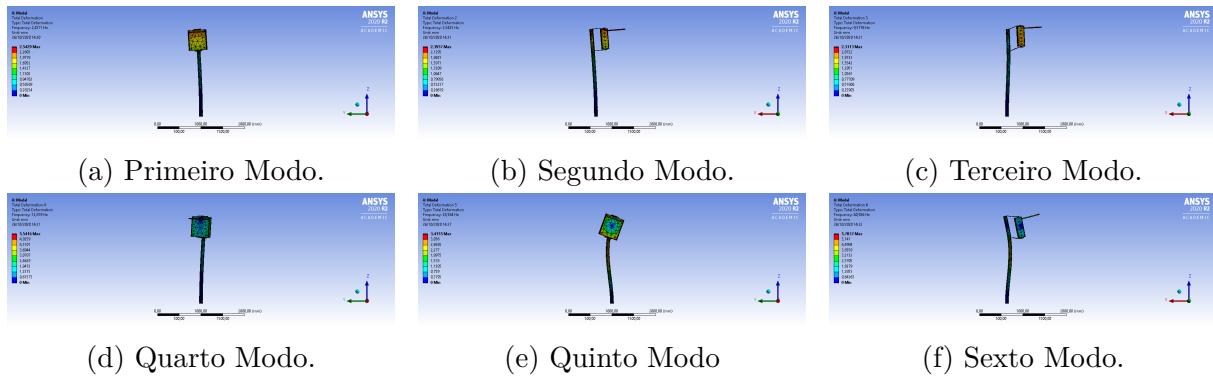


Figura 132 – Modos de vibração.

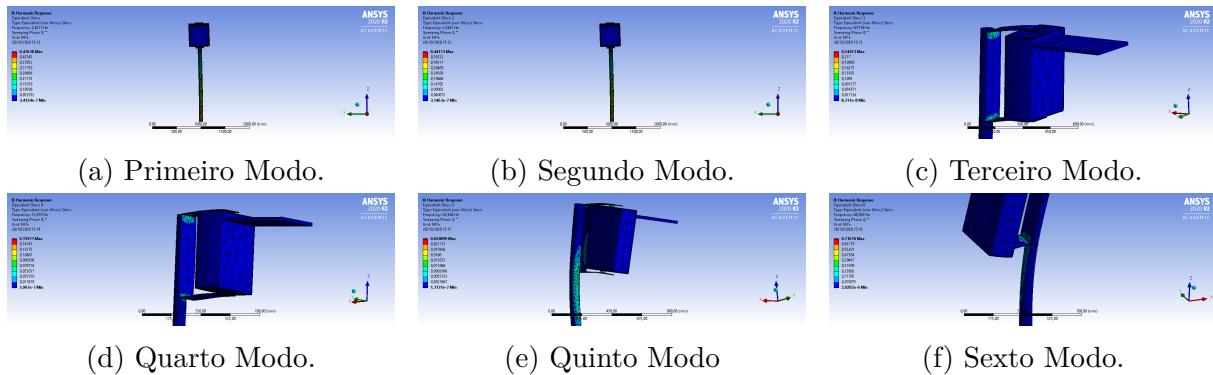


Figura 133 – Resposta Harmônica vento calmo.

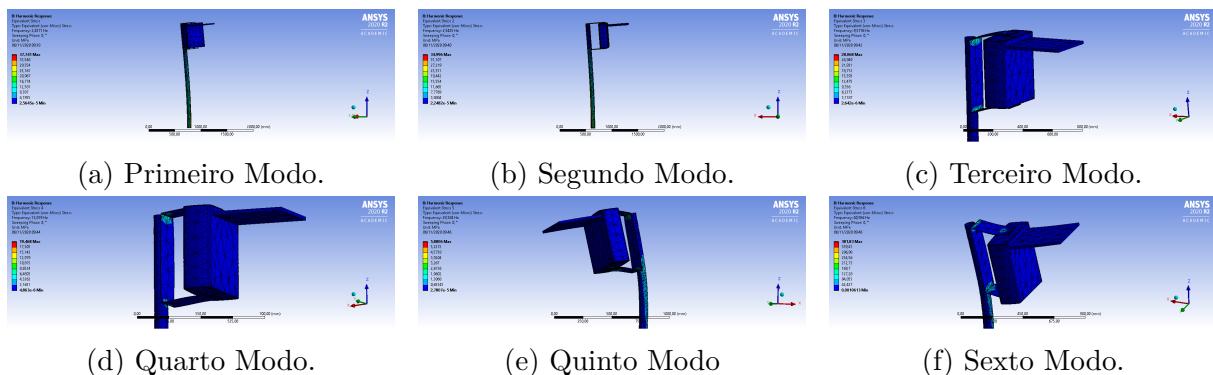


Figura 134 – Resposta Harmônica rajadas de vento.

# APÊNDICE T – Manuais

## T.1 Manual do Usuário



# *Manual do Usuário*

## Sumário

1.	Zéfiro	1
a.	Descrição do Produto	1
b.	Lista de Componentes da Estação Zéfiro	2
c.	O sistema	3
2.	Especificações	3
a.	Estrutura Física da Estação Zéfiro	3
b.	Especificações Técnicas	7
3.	Instalação do sistema	8
a.	Instalação da Estação Zéfiro	8
b.	Instalação do Zéfiro Api	9
c.	Instalação da Skill ALEXA Zéfiro	10
4.	Cuidados e Manutenção	11
a.	Cuidados	11
b.	Manutenção	11

## Zéfiro



### 1. Zéfiro

#### a. Descrição do Produto

##### FUNÇÃO:

O Zéfiro é um sistema de monitoramento, análise e notificação da qualidade do ar. Seu objetivo é facilitar o acesso da população, aos dados da qualidade do ar e tornar possível para o usuário da aplicação, saber o que está respirando e quais precauções tomar, visando o cuidado com a saúde.

##### ESTÃO INCLUSOS:



Zéfiro Api



Servidor



Estação Zéfiro

## Zéfiro



### b. Lista de Componentes da Estação Zéfiro:

- (1) Estrutura Superior
- (1) Estrutura Inferior
- (1) Duto de Venturi Inferior
- (1) Duto de Venturi Superior
- (1) Tampa Lateral
- (1) Suporte
- (1) Poste
- (1) Suporte da estrutura do painel
- (1) Suporte do painel
- (1) Tela
- (1) LDR Case
- (1) Proteção do LDR
- (1) Tampa do LDR case
- (1) Acoplamento da Estrutura
- (1) Acoplamento Inferior
- (1) Bucha
- (2) Grampo do Painel Solar
- (1) Flange WP45
- (4) Inserto M3x6mm
- (9) Inserto M5x11mm
- (18) Cabeça Abaulada Sextavado Interno M3x8mm
- (4) Cabeça Abaulada Sextavado Interno M3x30mm
- (8) Cabeça Cilíndrica Sextavado Interno M4x30mm
- (11) Cabeça Cilíndrica Sextavado Interno M5x25mm
- (21) Phillips para Plásticos N4x 1/4
- (4) Phillips para Plásticos N8x 1/ 2
- (6) Phillips para Plásticos N10x 1/ 2
- (2) Porca Sextavada Auto Travante Inserto de Nylon M5
- (4) Porca Sextavada Auto Travante Inserto de Nylon M8
- (16) Arruela Dentada Externa M3
- (4) Arruela Lisa M8
- (2) Grampo Poste M8
- (3) Cabeça Chata Sextavado Interno M3x6mm
- (1) Painel Solar Fotovoltaico 12V 15W Decibel
- (1) Bateria WEG Selada - VRLA 12V/7AH 13293745
- (1) Sensor OPC-N3
- (1) Sensor SO2-B4
- (1) Sensor OX-B431
- (1) Sensor NO2-B43F
- (1) Sensor NO-B4
- (1) Sensor CO-B4
- (5) Placas Individuais de sensores de 4 eletrodos Alphasense
- (1) AFB1212M-FOO
- (1) Sensor MQ-2
- (1) Controlador de Carga
- (1) Sensor Adafruit BME280
- (1) PCI Fonte de alimentação
- (1) PCI de conexões do sistema Embarcado
- (1) PCI de acoplamento do AFB1212M-FOO
- (1) PCI de acoplamento de LDRs e motores verticais
- (3) Servo Jx-wp45
- (4) PCI LDRs

## Especificações



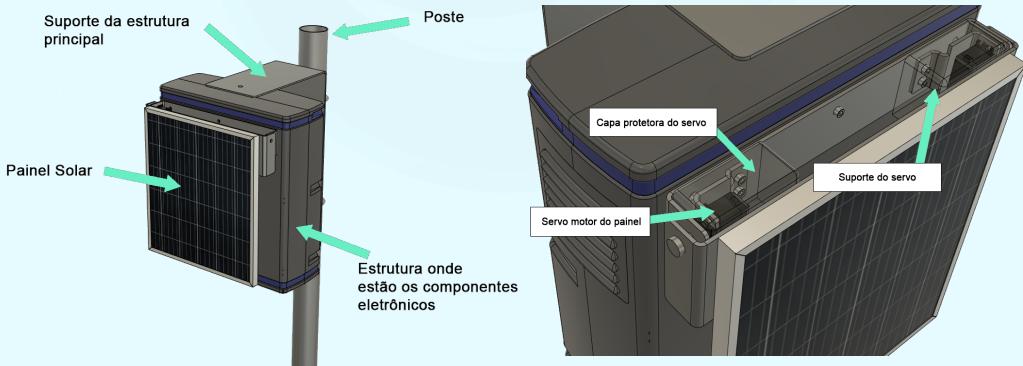
### c. O sistema



O Zéfiro é composto por Estações Zéfiro, um servidor e um aplicativo mobile. As estações realizam o sensoriamento dos gases, determinados como padrões de qualidade do ar pelo CONAMA, presentes no ar e disponibiliza os dados adquiridos para o servidor, assim possibilitando aos usuários do aplicativo acesso aos dados da qualidade do ar, adquiridos pela estação mais próxima de sua localização.

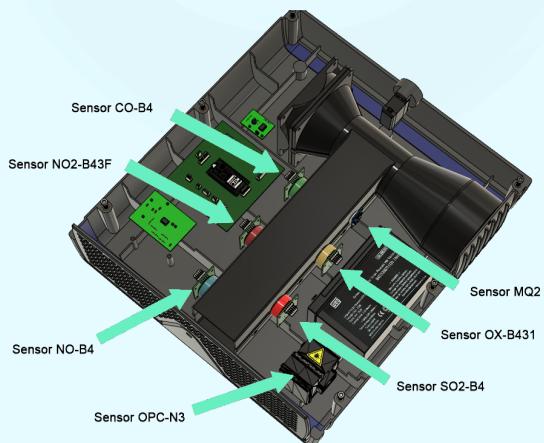
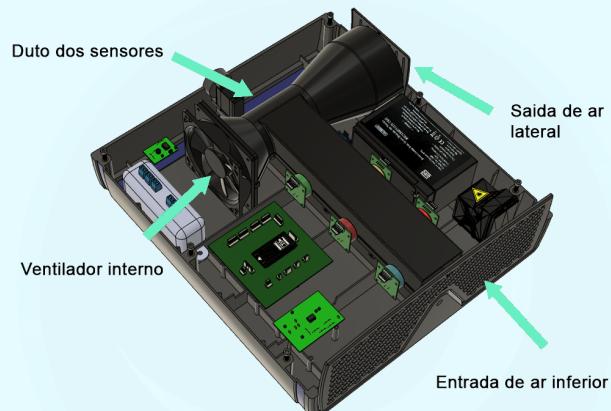
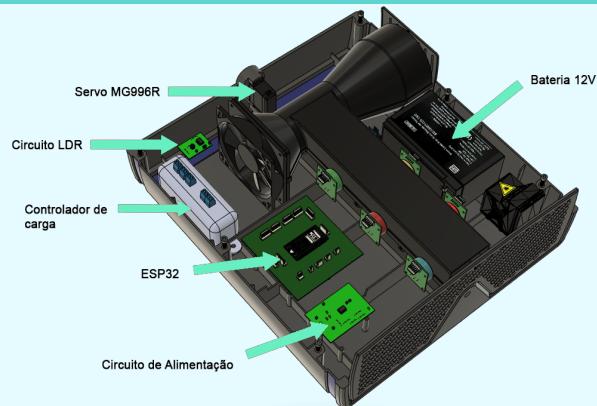
## 2. Especificações

### a. Estrutura da Estação Zéfiro





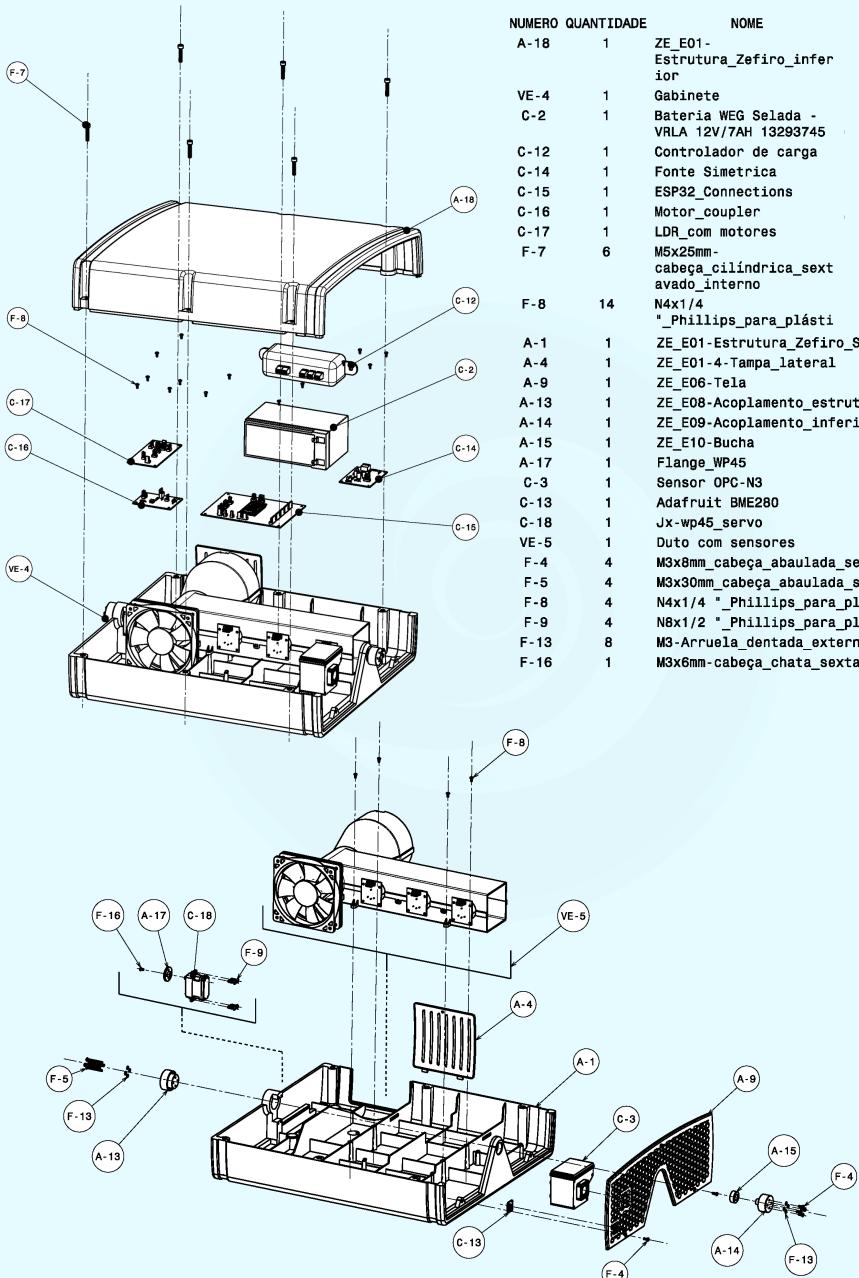
## Especificações



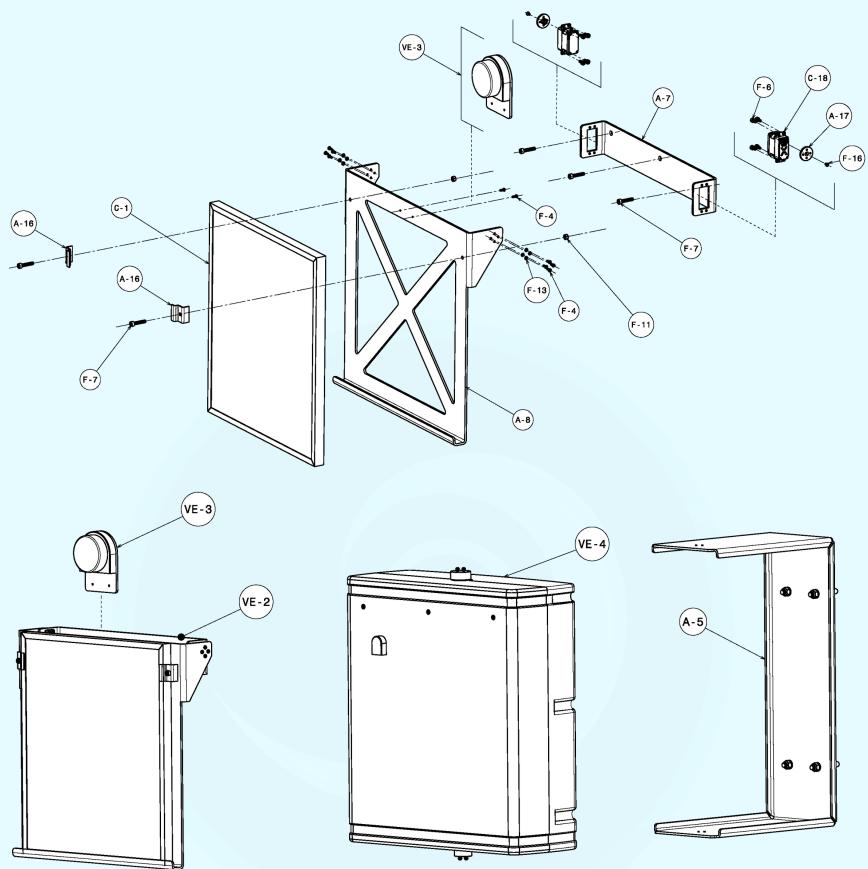
## Especificações



NUMERO	QUANTIDADE	NAME
A-18	1	ZE_E01- Estrutura_Zefiro_inferior
VE-4	1	Gabinete
C-2	1	Bateria WEG Selada - VRLA 12V/7AH 13293745
C-12	1	Controlador de carga
C-14	1	Fonte Simetrica
C-15	1	ESP32_Connections
C-16	1	Motor_coupler
C-17	1	LDR_com motores
F-7	6	M5x25mm- cabeca_cilindrica_sextavado_interno
F-8	14	N4x1/4 "Phillips_para_plastico
A-1	1	ZE_E01-Estrutura_Zefiro_Superior
A-4	1	ZE_E01-Tampa_lateral
A-9	1	ZE_E06-Tela
A-13	1	ZE_E08-Acoplamento_estrutura
A-14	1	ZE_E09-Acoplamento_inferior
A-15	1	ZE_E10-Bucha
A-17	1	Flange_WP45
C-3	1	Sensor OPC-N3
C-13	1	Adafruit BME280
C-18	1	Jx-wp45_servo
VE-5	1	Duto com sensores
F-4	4	M3x8mm_cabeca_abaulada_sextavado_interno
F-5	4	M3x30mm_cabeca_abaulada_sextavado_interno
F-8	4	N4x1/4 "Phillips_para_plasticos
F-9	4	N8x1/2 "Phillips_para_plasticos
F-13	8	M3-Arruela_dentada_externa
F-16	1	M3x6mm-cabeca_chata_sextavado_interno



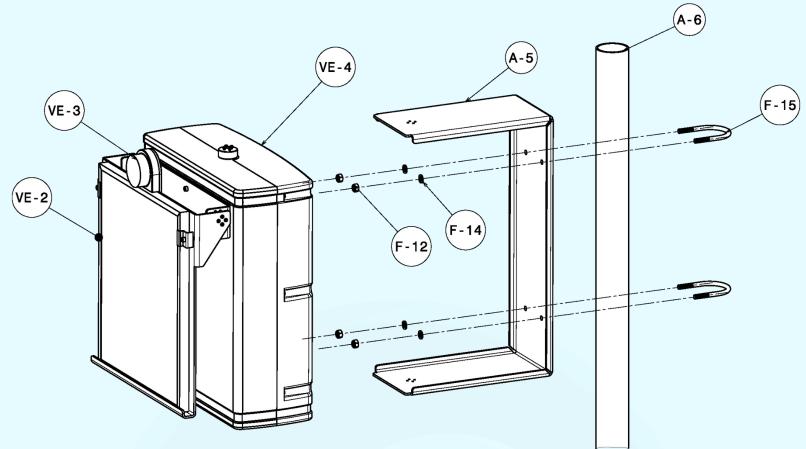
## Especificações



NUMERO	QUANTIDADE	NOME
VE-2	1	PAINEL SOLAR MOVEL
VE-3	1	RASTREADOR SOLAR
VE-4	1	GABINETE
A-5	1	ZE_E02-Suporte
A-7	1	ZE_E04-Suporte estrutura painel
A-8	1	ZE_E05-Suporte_painel
A-16	2	ZE_E11-Grampo_painel_solar
VE-3	1	Rastreador_solar
C-1	1	Painel Solar Fotovoltaico 12V 15W DECIBEL
C-18	2	Jx-wp45_servo
F-4	8	M3x8mm-cabeça_abaulada_sextavado_interno
F-6	8	M4x8mm-cabeça_cilindrica_sextavado_interno
F-7	3	M5x25mm-cabeça_cilindrica_sextavado_interno
F-11	2	M5-Porca_sextavada_auto_travante_inserto_de_nylon
F-13	8	M3-arruela_dentada_externa
F-16	2	M3x6mm-cabeça_chata_sextavado_interno



## Especificações



NUMERO	QUANTIDADE	NOME
VE-2	1	PAINEL SOLAR MOVEL
VE-3	1	RASTREADOR SOLAR
VE-4	1	GABINETE
A-5	1	ZE_E02-Suporte
A-6	1	ZE_E03-Poste
F-12	4	M8-Porca_sextavada_auto_travante_inserto_de_nylon
F-14	4	M8-Arruela_lisa
F-15	2	Grampo poste M8

### b. Especificações Técnicas

#### Especificações ambientais

Temperatura de Operação -15°C a 50°C

Umidade Relativa de Operação 15% a 80%

#### Especificações de Alimentação

Tensão de entrada 12 V (painel fotovoltaico/bateria)

Tensão de saída/Alimentação dos módulos 12 V, 6 V e 5 V

Ventilação Duto de Venturi



## Instalação do Sistema

### Especificações do Painel Fotovoltaico

Tensão de Saída	12V
Capacidade/Autonomia	5 Ah
Vida útil	25 anos

### Especificações da Bateria

Tipo	chumbo-ácida)
Tensão de saída	12 V
Capacidade/Autonomia	7 Ah
Vida útil	15 anos
Tempo de recarga total	24 hrs (se completamente descarregado)

## 3. Instalação do Sistema

### a. Instalação da Estação Zéfiro

A Instalação da Estações são realizadas por profissionais técnicos. No momento de compra do Sistema Zéfiro é realizada pela equipe uma análise dos locais de monitoramento, buscando determinar a real possibilidade de instalação. Os requisitos de instalação da estação são:

- Rede Wi-Fi;
- A instalação do equipamento deve ser feita ao ar livre;
- A instalação não pode ser feita em locais sombreados;
- Evite instalar o equipamento em local com muita água, pois ele é resistente à água, mas não é a prova d'água;

## Instalação do Sistema



- A instalação da Estação Zéfiro deve ser realizada por profissionais;
- Antes da instalação de uma Estação Zéfiro deve-se conferir a presença de todos os componentes;
- Após a Instalação deve-se realizar os protocolos de teste;
- A montagem do dispositivo se encontra no Manual de Montagem.

### b. Instalação do Zéfiro Api

O Zéfiro App é o aplicativo que utilizará os dados do Zéfiro Estação de Monitoramento, fornecendo informações a respeito da qualidade do ar, bem como gráficos e recomendações de acordo com o estado de saúde do usuário.

O aplicativo ainda não está em produção, para teste e utilização é necessário usá-lo no modo de desenvolvimento.

Para a Instalação do Zéfiro App siga os seguintes passos:

#### Backend:

1-Clone o repositório: \$ git clone <https://github.com/Monitoramento-do-Ar-PI2/zefiro-back>

2-O projeto utiliza o Docker e o Docker Compose como ferramentas de desenvolvimento. Para instalar eles, siga o tutorial no site oficial do Docker.

3-Após instalar o docker rode o projeto como desenvolvimento da seguinte maneira, ele será disponibilizado em localhost:3000:

\$ sudo docker-compose up --build

Para rodar a folha de estilo, utilize este comando:

\$ sudo docker-compose run zefiro-back npm run lint



## Instalação do Sistema

### Frontend:

1-Clone o repositório: \$ git clone <https://github.com/Monitoramento-do-Ar-PI2/zefiro-app>

2-Para instalar o flutter é necessário seguir o guia de instalação oficial do flutter que pode ser acessado aqui: <https://flutter.dev/docs/get-started/install>

### Como rodar:

3-Após instalar o flutter, verifique quais os devices disponíveis para conseguir rodar o projeto:

**flutter devices**

Com esse comando acima deve aparecer algo como:  
**devices**

A partir dessa informação é possível rodar o projeto em modo de desenvolvimento com o seguinte comando:

**flutter run -d [Nome do Device. EX: LGK20022fa7005]**

## c. Instalação da Skill ALEXA Zéfiro

Instale a Skill da Alexa e siga os passos para conversar com ela:

### Invocação:

- Alexa, pergunte ao zéfiro app...

### Qualidade do Ar:

- como está a qualidade do ar?  
- como está o ar?

## Cuidados e Manutenção



### Poluentes:

- quais são os poluentes?
- o que estou respirando?
- o que estou respirando agora?
- quais são os poluentes no momento?
- quais são os poluentes que estou respirando agora?

## 4. Cuidados e Manutenção

Para a durabilidade da Estação Zéfiro é necessário que se tome certos cuidados e que sejam feitas manutenções rotineiras.

### a. Cuidados

- O sistema deve operar sempre nas tensões de 12V/ 6V/ 5V para seus respectivos módulos de funcionamento;
- Todos os módulos devem ser mantidos em seus respectivos lugares e suas conexões respeitadas;
- A placa solar deve ser limpa periodicamente, duas a três vezes ao ano, por profissional autorizado.
- Não utilizar produtos de limpeza abrasivos, pois o mesmo podem danificar o sistema;

### a. Manutenção

O Zéfiro é composto de um sistema modular e exige manutenção feita por profissionais técnicos autorizados. A empresa desenvolvedora Zéfiro oferece manutenção preventiva e manutenção corretiva (quando um componente apresenta falha), sendo o histórico de manutenções e funcionamento do produto armazenado pela empresa a fim de garantir melhores serviços ao usuário.



## Cuidados e Manutenção

### Manutenção Preventiva

Componente	Período de manutenção
Sensores de gases	Verificação a cada 12 meses com garantia de 24 meses, após isso recomenda-se troca.
Sensor OPC-N3	Verificação a cada 12 meses.
BME280	Verificação a cada 12 meses.
MQ-2	Verificação a cada 12 meses.
LDR	Calibração a cada 12 meses.
ESP 32	Verificação de sinais a cada 12 meses.
Painel Fotovoltaico	Limpeza, no mínimo, a cada 12 meses.
Bateria	Verificação da carga a cada 3 meses.
Estrutura/Gabinete	Verificação e Limpeza do interior a cada 6 meses.
Parafusos e Porcas	Verificação a cada 6 meses.
Motores	Verificação a cada 12 meses

### Manutenção Corretiva

Componente	Período de manutenção
Sensores de gases	Troca do sensor defeituoso.
Sensor OPC-N3	Troca do componente.
BME280	Troca do componente.
MQ-2	Troca do componente
LDR	Troca do componente



## Cuidados e Manutenção

### Manutenção Corretiva

Componente	Período de manutenção
ESP 32	Reprogramação ou troca (vida útil de aproximadamente 20 anos)
Painel Fotovoltaico	Troca do componente.
Bateria	Troca (vida útil de 15 anos)
Estrutura/Gabinete	Troca de peça/módulo defeituoso
Parafusos e Porcas	Troca
Motores	Troca de componente danificado ou do próprio motor.



## T.2 Manual de Fabricação e Montagem



# *Manual de Fabricação e Montagem*

## Sumário

1. Fabricação da Estação Zéfiro	1
a. Fabricação de Peças	1
b. Fabricação das Placas de Circuito Impresso	3
c. Alocação de Componentes	4
2. Montagem	6

## Fabricação da Estação Zéfiro



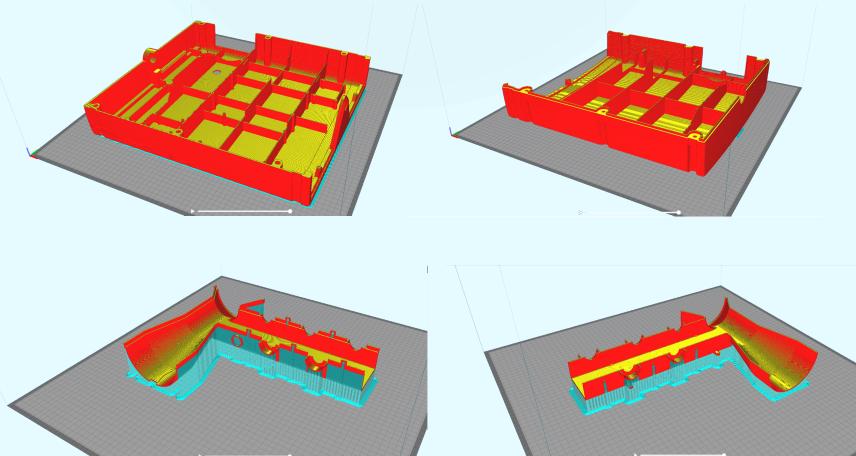
### 1. Fabricação da Estação Zéfiro

#### a. Fabricação de Peças

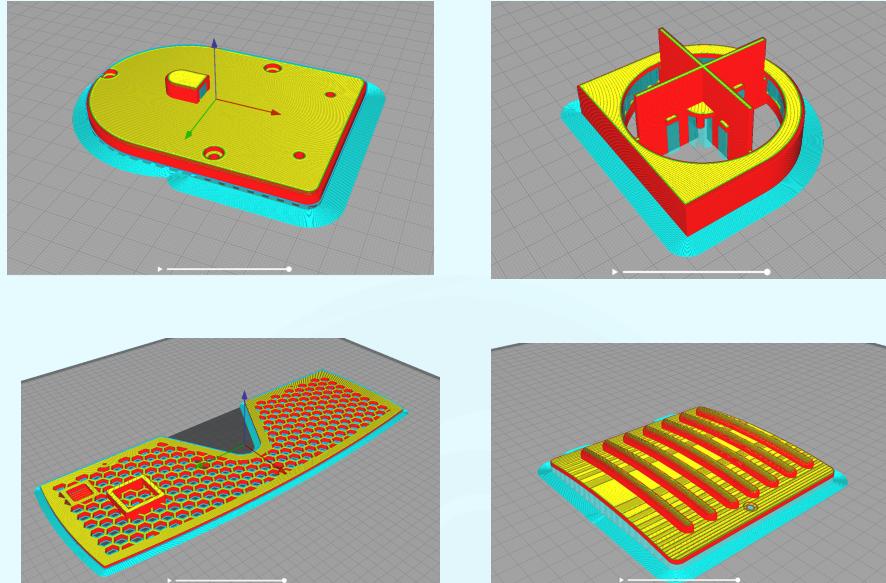
Para o processo de fabricação do protótipo dos componentes referentes a estrutura externa e duto interno de circulação é utilizado técnicas e tecnologia de manufatura aditiva por deposição em camadas conhecida popularmente por impressão 3D. Será utilizada uma impressora IZZE-3D CuBe XL Pro® com volume de 700x500x450 mm com ambiente controlado de impressão.

É utilizado também uma máquina IZZE-BI® para a inclusão de insertos de bronze com rosca, com o fim de criar conexões parafusadas na estrutura que possibilitem a manutenção sem desgaste nas partes plásticas devido ao processo de montagem e desmontagens regulares.

#### ESTRUTURAS IMPRESSAS:



## Fabricação da Estação Zéfiro



Para os componentes estruturais metálicos referentes aos suportes da estrutura e do painel solar são utilizadas ligas de aço inoxidável AISI 304 para evitar altos graus de oxidação provocado por intempéries referentes a utilização do equipamento em ambiente externo desprovido de abrigo.

As peças metálicas da estrutura são fabricadas por corte a laser e conformação mecânica fornecidos pela Naoko Metalúrgica™.

Como uma segunda forma de produção voltada a larga escala e distribuição do produto em nível nacional, é utilizado matrizes de injeção para um processo automatizado. Devido ao volume e quantidade de material utilizado em cada peça da estrutura será confeccionado uma matriz metálica com apenas uma cavidade com o princípio de viabilizar a injeção em uma maior gama de maquinários para injeção.

## Fabricação da Estação Zéfiro



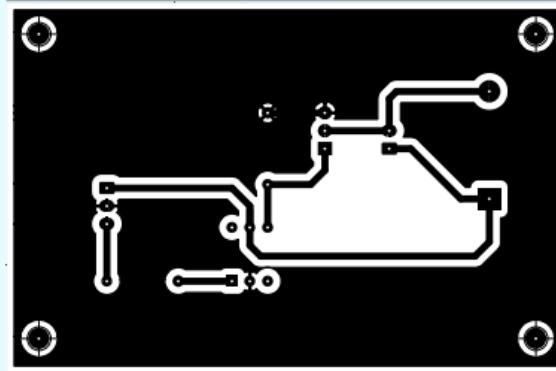
### b. Fabricação das Placas de Circuito Impresso

Para atender os requisitos do projeto elétrico, as placas de circuito impresso (PCIs) deve ser utilizado placas de fibra de vidro com espessura de **1oz**. Devido ao valor da corrente e para o bom funcionamento dos componentes as trilhas devem ser de **1mm**.

Devido a tensão do sistema elétrico, o espaçamento mínimo entre trilhas e componentes deverá ter **0.13 mm**, para atender a norma IPC-9592B,. As placas devem possuir a distância de **0.60 mm** entre o furo e a borda por possuir acabamento vincado.

Para acesso aos esquemáticos, layers e máscaras dos circuitos acesse: <https://github.com/Monitoramento-do-Ar-PI2/zefiro-electronics/tree/main/AnalogElectronics>

#### EXEMPLO DE PCI:

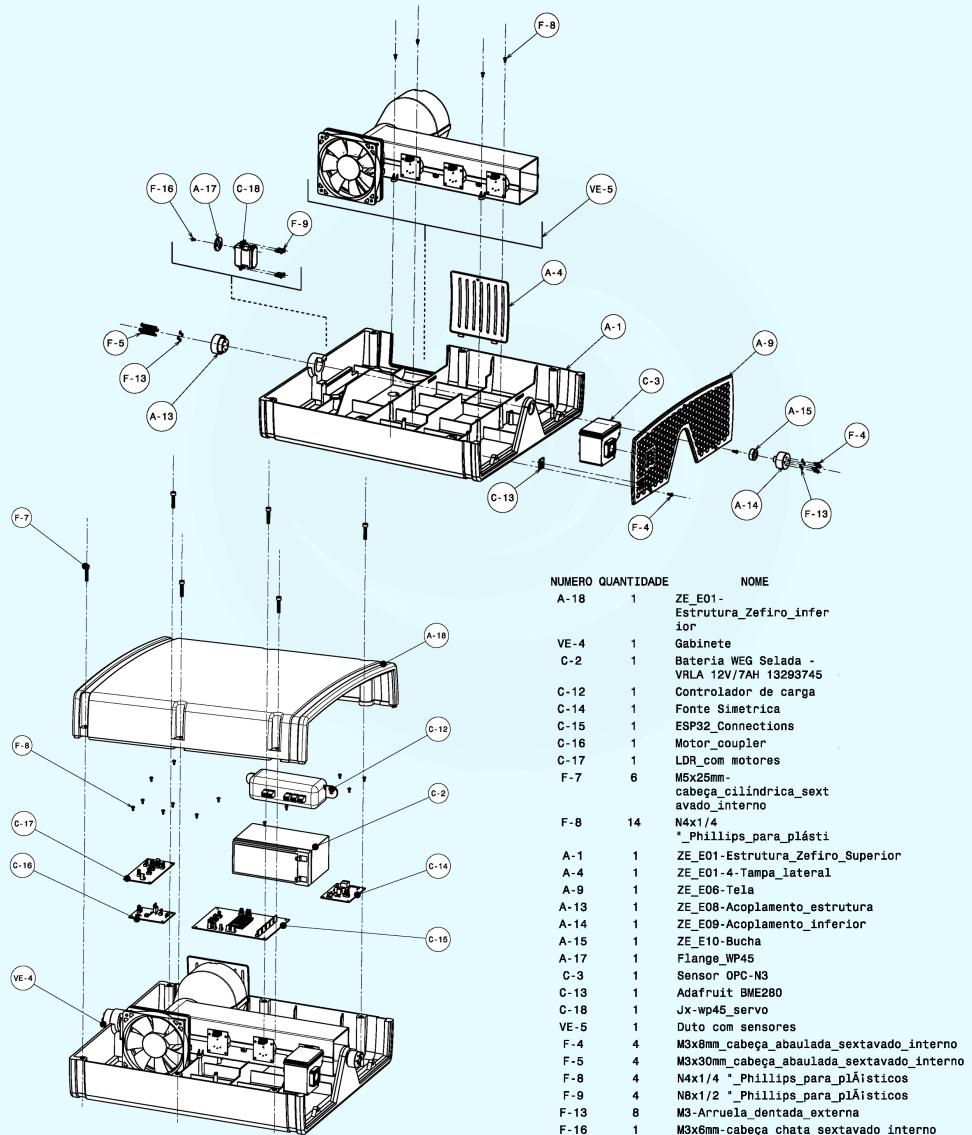


## Fabricação da Estação Zéfiro

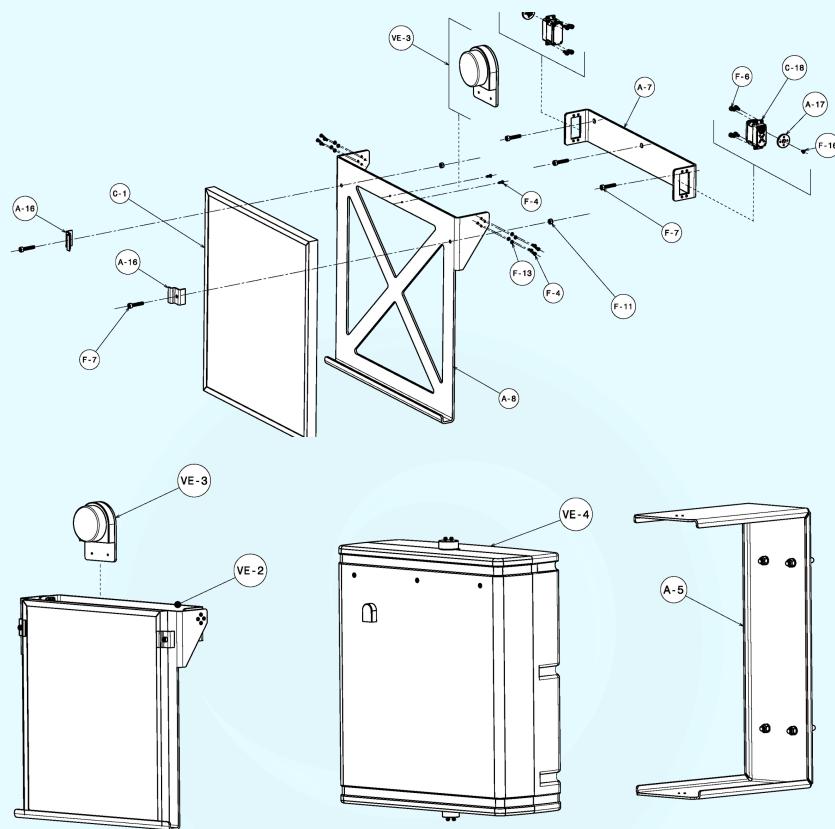


### c. Alocação de Componentes

Realizada a fabricação das peças necessárias, é realizado em seguida a alocação dos componentes do Gabinete, assim finalizando a fabricação da Estação Zéfiro.



## Fabricação da Estação Zéfiro



NUMERO	QUANTIDADE	NOME
VE-2	1	PAINEL SOLAR MOVEL
VE-3	1	RASTREADOR SOLAR
VE-4	1	GABINETE
A-5	1	ZE_E02-Suporte
A-7	1	ZE_E04-Suporte estrutura painel
A-8	1	ZE_E05-Suporte_painel
A-16	2	ZE_E11-Grampo_painel_solar
VE-3	1	Rastreador_solar
C-1	1	Painel Solar Fotovoltaico 12V 15W DECIBEL
C-18	2	Jx-wp45_servo
F-4	8	M3x8mm-cabeça_abaulada_sextavado_interno
F-6	8	M4x8mm-cabeça_cilindrica_sextavado_interno
F-7	3	M5x25mm-cabeça_cilindrica_sextavado_interno
F-11	2	M5-Porca_sextavada_auto_travante_inserto_de_nylon
F-13	8	M3-arruela_dentada_externa
F-16	2	M3x6mm-cabeça_chata_sextavado_interno

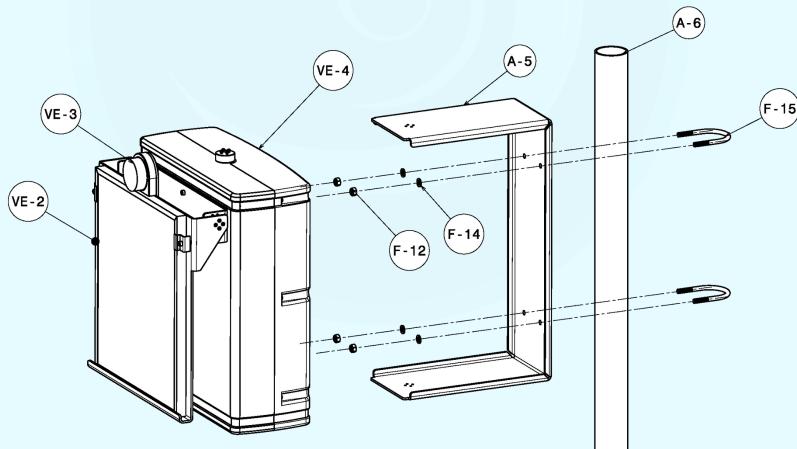
## Montagem



## 2. Montagem

A montagem do gabinete do Zéfiro na base é realizada fixando o servo motor JX-WP45 interno na parte superior do gabinete com quatro parafusos próprios para estruturas plásticas.

Na parte inferior deve ser acoplado a bucha de bronze com o acoplamento inferior criando uma junção que permite a rotação do gabinete quando em funcionamento. O acoplamento inferior possui quatro furos para parafusos M3 inox que fixam o acoplamento na chapa da base com a adição de quatro arruelas dentadas. Por fim parafusa-se o acoplamento superior a flange do motor com o auxílio de quatro parafusos M3 inox e comprimento de 30 mm e quatro arruelas dentadas para evitar a soltura de parafusos.



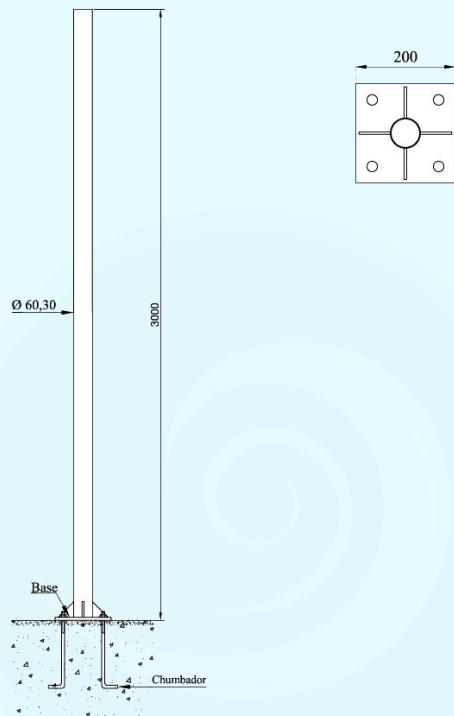
### NUMERO QUANTIDADE NOME

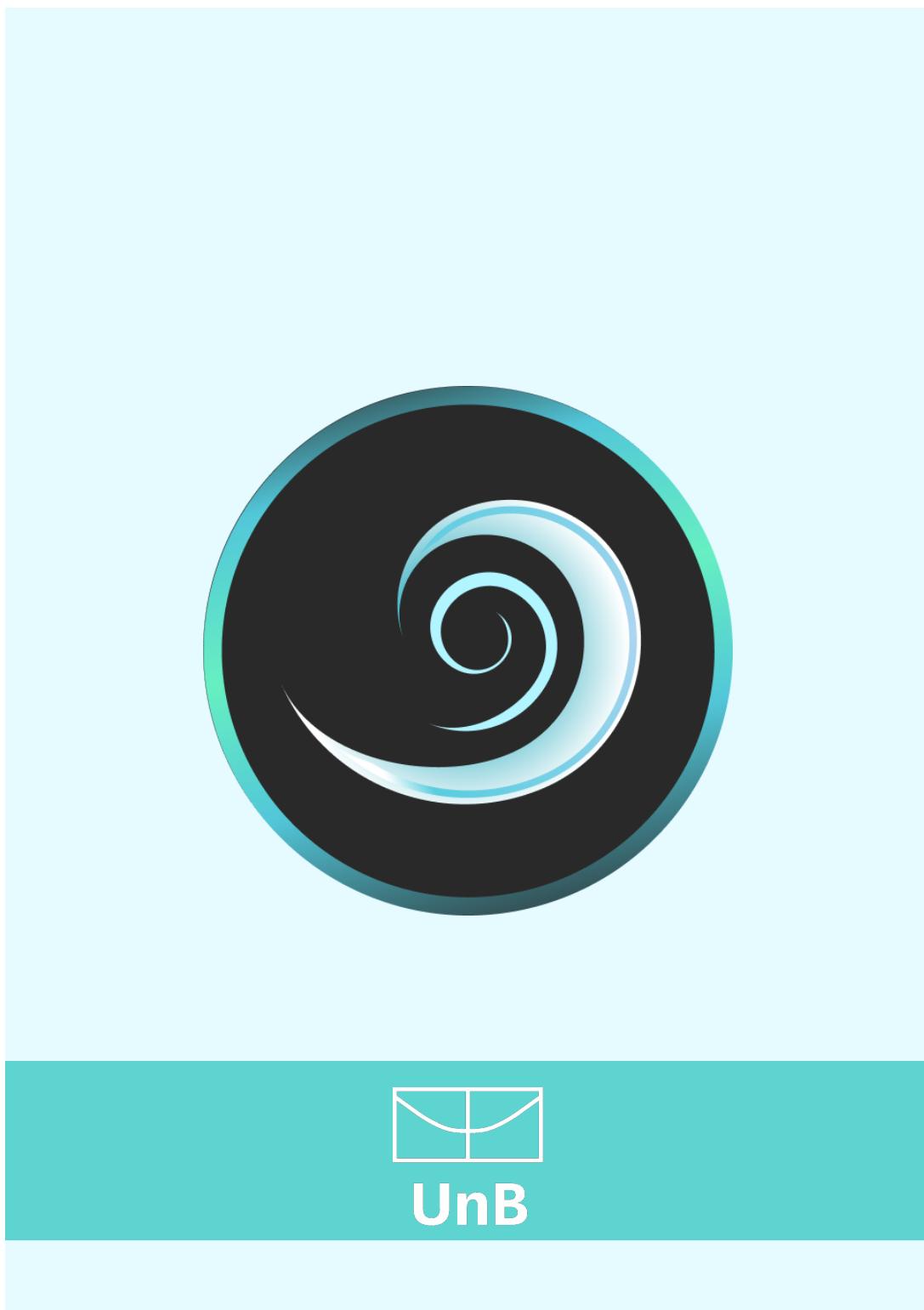
VE-2	1	PAINEL SOLAR MOVEL
VE-3	1	RASTREADOR SOLAR
VE-4	1	GABINETE
A-5	1	ZE_E02-Suporte
A-6	1	ZE_E03-Poste
F-12	4	M8-Porca_sextavada_auto_travante_inserto_de_nylon
F-14	4	M8-Arruela_lisa
F-15	2	Grampo poste M8

## Montagem



É recomendável que a base seja chumbada em concreto de acordo com a norma ABNT NBR14744.





# APÊNDICE U – Tabela de Preço de Componentes

Parts List			
Item	Qty	Part Number	DT
1	1	ZE_E01-Estrutura_Zefiro_Superior	R\$ 740,35
2	1	ZE_E01-2-Duto_Venturi_inferior	R\$ 274,30
3	1	ZE_E01-3-Duto_Venturi_Superior	R\$ 274,30
4	1	ZE_E01-4-Tampa_lateral	R\$ 31,85
5	1	ZE_07-2-Proteção_LDR	R\$ 19,50
6	1	ZE_07-3-Tampa_case_LDR	R\$ 22,10
7	1	ZE_E01-Estrutura_Zefiro_inferior	R\$ 740,35
8	4	M3x6mm-Inserto	R\$6,00 c/ 10 pçs
9	9	M5x11mm-Inserto	R\$20,00 c/10pçs
10	18	M3x8mm_cabeça_abaulada_sextavado_interno	R\$17,00 c/ 10 pçs
11	4	M3x30mm_cabeça_abaulada_sextavado_interno	R\$30,00 c/ 10pçs
12	8	M4x8mm-cabeça_cilíndrica_sextavado interno	R\$4,50 c/ 10 pçs
13	11	M5x25mm-cabeça_cilíndrica_sextavado_interno	R\$13,50 c/ 10pçs
14	2	M5_Porca_sextavada_auto_travante_inserto_de_nylon	R\$5,30 c/10pçs
15	4	M8_Porca_sextavada_auto_travante_inserto_de_nylon	R\$13,30 c/10pçs
16	16	M3_Arruela_dentada_externa	R\$2,00 c/ 10pçs
17	4	M8-Arruela_lisa	R\$3,80 c/10pçs
18	3	M3x6mm-cabeça_chata_sextavado_interno	R\$10,00 c/ 10pçs
19	1	Eletronica	
20	1	Painel Solar Fotovoltaico Com Controlador de Carga	R\$475,00
21	1	Bateria WEG Selada - VRLA 12V/7AH 13293745	R\$85,70
22	1	Sensor OPC-N3	R\$2.144,67
23	1	SO2-B4_Sulfur_Dioxide_Sensor_4-Eletrode	R\$315,07
24	1	OX-B431_Oxidising_Gas+Nitrogen_Dioxide_Sensor_4-Eletrode	R\$315,07
25	1	NO2-B43F_Nitrogen_Dioxide_Sensor_4-Eletrode	R\$315,07
26	1	NO-B4_Nitric_Oxide_Sensor_4-Eletrode	R\$315,07
27	1	CO-B4_Carbon_Monoxide_Sensor_4-Eletrode	R\$315,07
28	1	AFB1212M-F00	R\$150,00
29	1	MQ2 Gas Sensor	R\$15,90
30	1	Adafruit BME280	R\$13,50

31	4 LDR	R\$2,00
32	3 Jx-wp45_servo	R\$1215,25
33	30 Conectores molex macho	R\$74,70
34	30 Terminais molex	R\$34,45
35	7 Placa Fibra de Vidro 30x15	R\$230,30
36	1 Chamada skill da Alexa	R\$0,053
37	1 Digital Ocean	R\$26,59
38	1 Play Store	R\$132,94
39	1 App Store	R\$531,77
40	1 Google Maps	R\$37,22

# APÊNDICE V – Avaliação Interna

Estação de Monitoramento de Qualidade do Ar					
Ponto de Controle 3					
Grupo Técnico de Elétrica (Eng. Energia/ Eng. Eletrônica)					
Nome Completo	Matrícula	Pontualidade de Entregas	Avaliação de Entregas	Desempenho	Observações
Ana Carolina Pinheiro Faria	13/010077	9	10	9	Perdi uma semana de trabalho pois estava recuperando-me de uma cirurgia .
Clara Fonseca da Justa	14/0018409	10	10	9	
Débora Janini Campos Guedes	15/0008619	10	10	10	
Felipe Lima Alcântara (diretor geral)	16/0027918	10	10	10	
Icoana Laís Leitão Mascarenhas Martins (diretora de qualidade)	12/0120518	10	10	10	
/Grupo Técnico de Estrutura (Eng. Aeroespacial/ Eng. Automotiva)					
Nome Completo	Matrícula	Pontualidade Entregas	Avaliação de Entregas	Desempenho	Observações
Vitor Mendes Pacheco de Freitas	15/0023499	10	10	10	
Luiz Gustavo Santos Alberto	16/0153239	10	9	9,1	
Rafael Mascarenhas dos Santos	15/0020589	10	10	10	
Yago Vencerlêncio de Oliveira	13/0138100	10	10	10	
Euclides Santanna	15/0034270	10	10	10	
Grupo Técnico de Software (Eng. Software)					
Nome Completo	Matrícula	Pontualidade Entregas	Avaliação de Entregas	Desempenho	Observações
Amanda Emily Muniz de Menezes	15/0116136	10	10	10	
Calebe Rios de Sousa Mendes	15/0120702	10	10	10	
Indiara Duarte da Silva	14/0022325	10	10	10	
Luciana Ribeiro Lins de Albuquerque	15/0016131	10	10	10	
Vitor Cardoso Xoteslem	15/0023375	10	10	10	

Figura 135 – Autoavaliação da equipe PC3.

## Anexos

## ANEXO A – Esquemático BME280 Adafruit

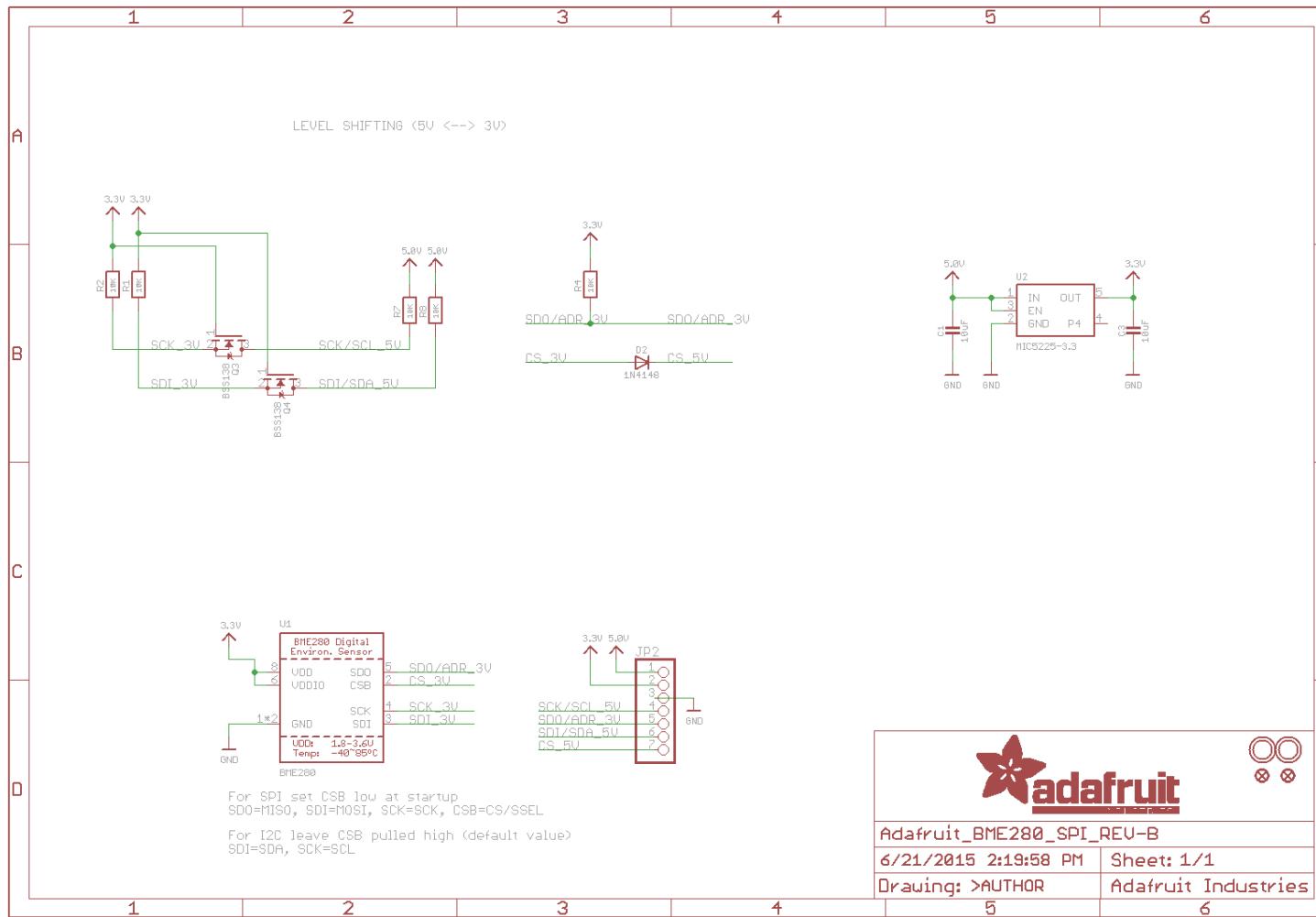


Figura 136 – Esquemático Eletrônico módulo BME280 Adafruit.

## ANEXO B – Características técnicas dos sensores da Alphasense

<b>Sensibilidade Cruzada</b>		
Capacidade Filtrante H2S	250,000	ppm.hrs
Sensibilidade a H2S	<1	% da medição do CO para 5 ppm de H2S
Sensibilidade a NO2	<1	% da medição do CO para 5 ppm de NO2
Sensibilidade a Cl2	<1	% da medição do CO para 5 ppm de Cl2
Sensibilidade a NO	<-3	% da medição do CO para 5 ppm de NO
Sensibilidade a SO2	<0.1	% da medição do CO para 5 ppm de SO2
Sensibilidade a H2	<50	% da medição do CO para 100 ppm de H2 a 20°C
Sensibilidade a C2H4	<1	% da medição do CO para 100 ppm de C2H4
Sensibilidade a NH3	<0.1	% da medição do CO para 20 ppm de NH3
<b>Especificações Chave</b>		
Alcance de Temperatura	-30 a 50	°C
Alcance de Pressão	80 a 120	kPa
Alcance de Umidade	15 a 90	% em contínuo
Período de Armazenamento	6	meses em 3 a 20 °C em local fechado
Resistor de Carga	33 a 100	Ω (recomendado o uso da ISB)
Peso	<13	g
Tensão de Alimentação (ISB)	3.5 a 6.4	V

Tabela 26 – Tabela das características técnicas do sensor CO-B4([ALPHASENSE, 2020b](#))

Sensibilidade Cruzada		
Capacidade Filtrante O3	>500	ppm.hrs para 0.5ppm O3
Sensibilidade a H2S	<-80	% da medição do NO2 para 5 ppm de H2S
Sensibilidade a NO2	<5	% da medição do NO2 para 5 ppm de NO2
Sensibilidade a Cl2	<100	% da medição do NO2 para 5 ppm de Cl2
Sensibilidade a CO	<-3	% da medição do NO2 para 5 ppm de CO
Sensibilidade a SO2	<-3	% da medição do NO2 para 5 ppm de SO2
Sensibilidade a H2	<0.1	% da medição do NO2 para 100 ppm de H2
Sensibilidade a C2H4	<0.1	% da medição do NO2 para 100 ppm de C2H4
Sensibilidade a NH3	<0.1	% da medição do NO2 para 20 ppm de NH3
Sensibilidade a CO2	<0.1	% da medição do NO2 para 5% Vol. de CO2
Sensibilidade ao Halotano	nd.	% da medição do NO2 para 100 ppm de halotano
Especificações Chave		
Alcance de Temperatura	-30 a 40	°C
Alcance de Pressão	80 a 120	kPa
Alcance de Umidade	15 a 85	% em contínuo
Período de Armazenamento	6	meses em 3 a 20 °C em local fechado
Resistor de Carga	33 a 100	Ω (recomendado o uso da ISB)
Peso	<13	g
Tensão de Alimentação (ISB)	3.5 a 6.4	V

Tabela 27 – Tabela das características técnicas do sensor NO2-B43F([ALPHASENSE, 2020e](#))

<b>Sensibilidade Cruzada</b>		
Sensibilidade a H2S	<10	% da medição do NO para 5 ppm de H2S (após 3 minutos)
Sensibilidade a NO2	<47	% da medição do NO para 5 ppm de NO2 (após 3 minutos)
Sensibilidade a Cl2	<3	% da medição do NO para 5 ppm de Cl2
Sensibilidade a CO	<0.3	% da medição do NO para 5 ppm de CO
Sensibilidade a SO2	<5	% da medição do NO para 5 ppm de SO2
Sensibilidade a H2	<0.1	% da medição do N2 para 100 ppm de H2
Sensibilidade a O3	<4	% da medição do NO para 100 ppb de O3
Sensibilidade a NH3	<0.1	% da medição do NO para 5 ppm de NH3
Sensibilidade a CO2	<0.1	% da medição do NO para 5% Vol. de CO2
Sensibilidade ao Halotano	nd.	% da medição do NO para 100 ppm de halotano
<b>Especificações Chave</b>		
Tensão de polarização	+200	mV
Alcance de Temperatura	-30 a 40	°C
Alcance de Pressão	80 a 120	kPa
Alcance de Umidade	15 a 85	% em contínuo
Período de Armazenamento	6	meses em 3 a 20 °C em local fechado
Resistor de Carga	33 a 100	Ω (recomendado o uso da ISB)
Peso	<13	g
Tensão de Alimentação (ISB)	3.5 a 6.4	V

Tabela 28 – Tabela das características técnicas do sensor NO-B4([ALPHASENSE, 2020d](#))

<b>Sensibilidade Cruzada</b>		
Capacidade Filtrante	45	ppm.hrs
Sensibilidade a H2S	<2	% da medição do SO2 para 5 ppm de H2S
Sensibilidade a NO2	<-120	% da medição do SO2 para 5 ppm de NO2
Sensibilidade a Cl2	<-80	% da medição do SO2 para 5 ppm de Cl2
Sensibilidade a CO	<3	% da medição do SO2 para 5 ppm de CO
Sensibilidade a NO	<4	% da medição do SO2 para 5 ppm de NO
Sensibilidade a H2	<0.5	% da medição do SO2 para 100 ppm de H2
Sensibilidade a O3	<-120	% da medição do SO2 para 0.5 ppM de O3
Sensibilidade a NH3	<0.1	% da medição do SO2 para 20 ppm de NH3
Sensibilidade a CO2	<0.1	% da medição do SO2 para 5% de CO2
Sensibilidade a C2H4	<1	% da medição do SO2 para 20 ppm de C2H4
<b>Especificações Chave</b>		
Alcance de Temperatura	-30 a 50	°C
Alcance de Pressão	80 a 120	kPa
Alcance de Umidade	15 a 90	% em contínuo
Período de Armazenamento	6	meses em 3 a 20 °C em local fechado
Resistor de Carga	33 a 100	Ω (recomendado o uso da ISB)
Peso	<13	g
Tensão de Alimentação (ISB)	3.5 a 6.4	V

Tabela 29 – Tabela das características técnicas do sensor SO2-B4([ALPHASENSE, 2020g](#))

Sensibilidade Cruzada		
Sensibilidade a H2S	<-80	% da medição do O3 para 5 ppm de H2S
Sensibilidade a SO2	<-3	% da medição do O3 para 5 ppm de SO2
Sensibilidade a Cl2	<100	% da medição do O3 para 5 ppm de Cl2
Sensibilidade a CO	<-3	% da medição do O3 para 5 ppm de CO
Sensibilidade a NO	<5	% da medição do O3 para 5 ppm de NO
Sensibilidade a H2	<0.1	% da medição do O3 para 100 ppm de H2
Sensibilidade a CO2	<120	% da medição do O3 para 0.5 ppM de CO2
Sensibilidade a NH3	<0.1	% da medição do O3 para 20 ppm de NH3
Sensibilidade a CO2	<0.1	% da medição do O3 para 5% Vol. de CO2
Sensibilidade a C2H4	<0.1	% da medição do O3 para 100 ppm de C2H4
Sensibilidade ao Halotano	<0.1	% da medição do O3 para 100 ppm de halotano
Especificações Chave		
Alcance de Temperatura	-30 a 50	°C
Alcance de Pressão	80 a 120	kPa
Alcance de Umidade	15 a 85	% em contínuo
Período de Armazenamento	6	meses em 3 a 20 °C em local fechado
Resistor de Carga	33 a 100	Ω (recomendado o uso da ISB)
Peso	<13	g
Tensão de Alimentação (ISB)	3.5 a 6.4	V

Tabela 30 – Tabela das características técnicas do sensor OX-B421([ALPHASENSE, 2020f](#))

## **ANEXO C – Circuito ISB**

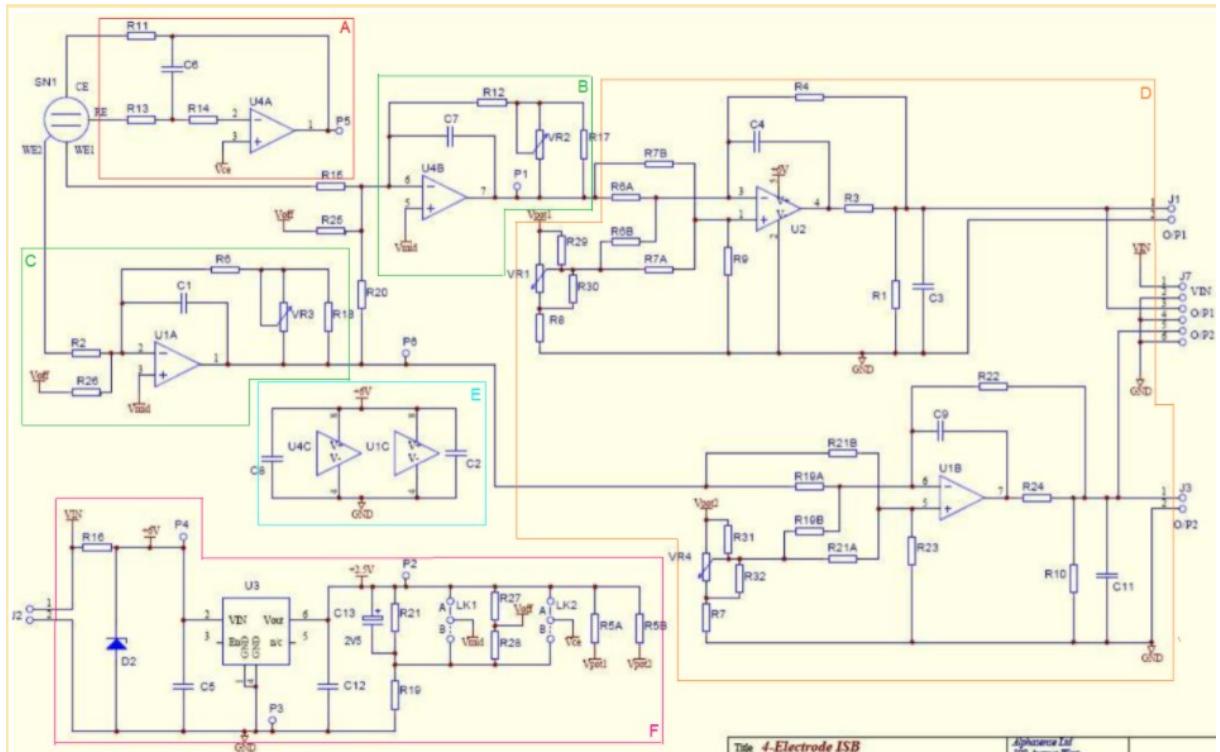


Figura 137 – Circuito Placa ISB

## ANEXO D – ESP32 Pinout

DOIT ESP32 DEVKIT V1 PINOUT

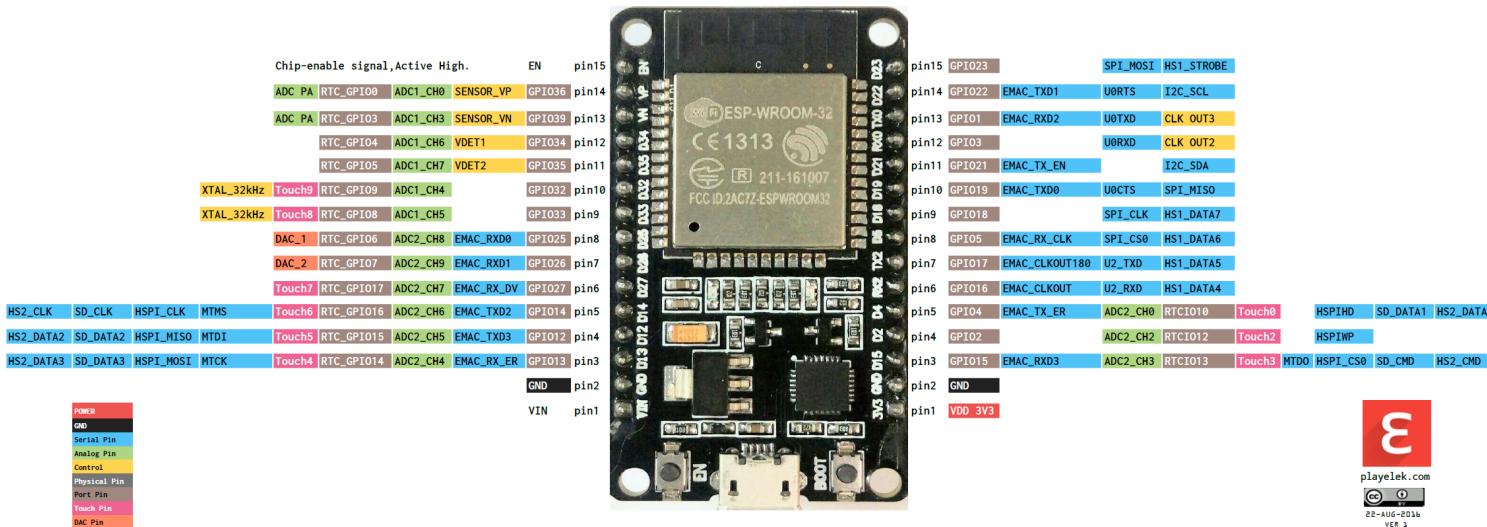


Figura 138 – Disposição de Pinos ESP32 DevKit V1.

## ANEXO E – Padrões de Qualidade do Ar - Conama

Poluente Atmosférico	Sigla	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF	ppm
			( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
Material Particulado	MP <sub>10</sub>	24 horas	120	100	75	50	-
		Anual <sup>1</sup>	40	35	30	20	-
Material Particulado	MP <sub>2,5</sub>	24 horas	60	50	37	25	-
		Anual <sup>1</sup>	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre	SO <sub>2</sub>	24 horas	125	50	30	20	-
		Anual <sup>1</sup>	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio	NO <sub>2</sub>	1 horas <sup>2</sup>	260	240	220	200	-
		Anual <sup>1</sup>	60	50	45	40	-
Partículas Totais em Suspensão	PTS	24 horas	-	-	-	240	-
		Anual <sup>4</sup>	-	-	-	80	-
Fumaça	-	24 horas	120	100	75	50	-
		Anual <sup>1</sup>	40	35	30	20	-
Ozônio	O <sub>3</sub>	8 horas <sup>3</sup>	140	130	120	100	-
Monóxido de Carbono	CO	8 horas <sup>3</sup>	-	-	-	-	9
Chumbo	Pb <sup>5</sup>	Anual <sup>1</sup>	-	-	-	0,5	-

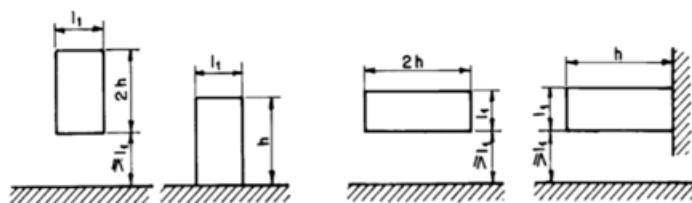
Tabela 31 – Tabela de Padrões de Qualidade do Ar ([MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018](#))

- 1 - média aritmética anual;
- 2 - média horária;
- 3 - máxima média móvel obtida no dia;
- 4 - média geométrica anual;
- 5 - medido nas partículas totais em suspensão.

# ANEXO F – Tabela de definição de arrasto

## NBR6123

Tabela 10 - Coeficientes de arrasto,  $C_a$ , para corpos de seção constante



Vento perpendicular ao plano da figura

Planta	$Re^{(A)} \times 10^{-5}$	h/l <sub>1</sub>						
		1/2	1	2	5	10	20	$\infty$
liso (metal, concreto, alvenaria rebocada)	$\leq 3,5$	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2
	$\geq 4,2$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6
→	com rugosidade ou saliências = $0,02 l_1$	Todos valores	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0
	com rugosidade ou saliências = $0,08 l_1$	Todos valores	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2

Figura 139 – Trecho da tabela de determinação dos coeficientes de arrasto da NBR 6123.