



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-
134 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, 13 de setembro 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 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 – Representação esquemática dos sensores de gás da Alphasense	32
Figura 2 – Representação gráfica da variação da corrente em função da tensão elétrica no eletrodo de trabalho	33
Figura 3 – Sensores de gás da Alphasense	34
Figura 4 – Placa ISB.	35
Figura 5 – Conexão molex	36
Figura 6 – OPC-N3	38
Figura 7 – Funcionamento do sensor MQ-2	40
Figura 8 – Sensor MQ-2	41
Figura 9 – Perfil formato “+” LDR	42
Figura 10 – Esquemático Circuito LDR	43
Figura 11 – Módulo LDRX.	43
Figura 12 – Simulação Circuito LDR	44
Figura 13 – Esquemático circuito de controle PWM optoacoplado.	45
Figura 14 – Resultado da Simulação do circuito da Figura 13	46
Figura 15 – Tabela de Comparaçao de Microcontroladores	46
Figura 16 – Conexões dos Componentes no Microcontrolador	47
Figura 17 – Módulo de conexão para ESP32.	47
Figura 18 – Sistema Fotovoltaico ON GRID	49
Figura 19 – Sistema Fotovoltaico OFF GRID	50
Figura 20 – Dados dos Equipamentos a serem utilizados	51
Figura 21 – Consumo Diário em Wh de cada Sensor	51
Figura 22 – Irradiação Solar no Plano Inclinado - Região Administrativa do Gama-DF	52
Figura 23 – Dados da Placa Solar a ser utilizada no dimensionamento	52
Figura 24 – Dados da Bateria a ser utilizada no Sistema	54
Figura 25 – Dados do Controlador a ser utilizada no Sistema	55
Figura 26 – Sistema Off-Grid da Estação de Monitoramento do Ar	55
Figura 27 – Esquemático Alimentação Simétrica	56
Figura 28 – Simulação Alimentação Simétrica	56
Figura 29 – Módulo de fonte simétrica.	57
Figura 30 – Diagrama Unifilar. Fonte: Própria Autoria. (ABNT, 2005)	57
Figura 31 – Condutores de Acordo com a Capacidade de Corrente Elétrica. Fonte: (ABNT, 2005)	59
Figura 32 – Modelo Rastreado Azimute-Elevação. Fonte: Própria Autoria	60
Figura 33 – Resultados obtidos de forma analítico para o dia 22/10/2020. Fonte: Própria Autoria	63

Figura 34 – Modelo Matemático das Equações de Azimute-Elevação em Excel para os 365 dias do ano.Fonte: Própria Autoria	63
Figura 35 – Estrutura externa da estação Zéfiro	64
Figura 36 – Estrutura interna e disposição dos componentes.	65
Figura 37 – Apresentação dos graus de liberdade para o sensoriamento solar.	65
Figura 38 – Fluxo térmico no painel solar	67
Figura 39 – Visualização da distribuição térmica da placa acoplada à estrutura com incidência solar somente na placa.	67
Figura 40 – Campo de Pressão total em 2D.	68
Figura 41 – Campo de Velocidade em 2D.	69
Figura 42 – Campo vetorial de velocidade. Indicando o sentido da rotação da zona de recirculação.	69
Figura 43 – Campo de Vorticidade 2D.	70
Figura 44 – Linhas de trajetória do escoamento.	70
Figura 45 – Campo de Pressão 3D.	71
Figura 46 – Campo de Velocidade 3D.	71
Figura 47 – Campo de Vorticidade 3D.	72
Figura 48 – Linhas de trajetória 3D.	72
Figura 49 – Estrutura de apoio do gabinete e aplicação de carga.	73
Figura 50 – Resultado das simulações de carga na estrutura.	73
Figura 51 – Otimização da estrutura.	74
Figura 52 – Estrutura de apoio do gabinete e aplicação de carga para simulação 2. .	74
Figura 53 – Resultado das simulações de carga na nova chapa.	75
Figura 54 – Estrutura de apoio do gabinete e aplicação de carga.	75
Figura 55 – Resultado de simulação de esforço e estresse.	76
Figura 56 – Resultado da otimização do suporte do painel solar.	76
Figura 57 – Estrutura de apoio do gabinete e aplicação de carga.	77
Figura 58 – Resultado de simulação de esforço e estresse.	77
Figura 59 – Resultado de otimização da chapa suporte.	78
Figura 60 – Logo Zéfiro	79
Figura 61 – Paleta de cores Zéfiro	79
Figura 62 – Tela protótipo Homepage.	80
Figura 63 – Tela protótipo do mapa de estações	81
Figura 64 – Tela protótipo de Cadastro de informações personalizadas	81
Figura 65 – Protótipo Notificações.	82
Figura 66 – Diagrama de Relações.	83
Figura 67 – Diagrama de Pacotes do Zéfiro-APP.	86
Figura 68 – Diagrama de Pacotes do Zéfiro API.	87
Figura 69 – Diagrama de classes Zéfiro.	88

Figura 70 – Diagrama de Sequência.	89
Figura 71 – Tabela de Riscos de Projeto	96
Figura 72 – Tabela de Riscos de Técnicos	96
Figura 73 – Tabela de Riscos Externos	96
Figura 74 – Tabela de Riscos de Produto	97
Figura 75 – Tabela de Planejamento e Resposta aos riscos	97
Figura 76 – Cronograma de atividades para o PC1	98
Figura 77 – Cronograma de atividades para o PC2	99
Figura 78 – Cronograma de atividades para o PC3	99
Figura 79 – Organograma da EAP.	110
Figura 80 – Organograma da Distribuição de papéis da equipe.	114
Figura 81 – Imagem de Weidauer (2018)	118
Figura 82 – Autoavaliação da equipe PC1.	124
Figura 83 – Diagrama Geral do Sistema Elétrico.	125
Figura 84 – Esquemático Geral do Sistema Elétrico.	126
Figura 85 – Circuito Placa ISB	133
Figura 86 – Disposição de Pinos ESP32 DevKit V1.	134

Lista de tabelas

Tabela 1 – Tabela de perfil do Usuário	23
Tabela 2 – Tabela das placas ISB dos sensores	35
Tabela 3 – Tabela das saídas esperadas para os gases	36
Tabela 4 – Tabela das pinagens do OPC-N3	40
Tabela 5 – Tabela de capacidades do produto	91
Tabela 6 – Tabela de custos básica	93
Tabela 7 – Identificação de peso da Probabilidade	95
Tabela 8 – Identificação de peso da Impacto	95
Tabela 9 – Definição de Grau de Risco	95
Tabela 10 – Tabela de riscos elencada na Abertura do Projeto	108
Tabela 11 – Tabela de Marcos do Projeto	108
Tabela 12 – Tabela plano de comunicação	111
Tabela 13 – Distribuição de papéis equipe de software.	116
Tabela 14 – Tabela das características técnicas do sensor CO-B4(ALPHASENSE, 2020c)	128
Tabela 15 – Tabela das características técnicas do sensor NO2-B43F(ALPHASENSE, 2020f)	129
Tabela 16 – Tabela das características técnicas do sensor NO-B4(ALPHASENSE, 2020e)	130
Tabela 17 – Tabela das características técnicas do sensor SO2-B4(ALPHASENSE, 2020h)	131
Tabela 18 – Tabela das características técnicas do sensor OX-B421(ALPHASENSE, 2020g)	132

Lista de abreviaturas e siglas

CETESB	Companhia Ambiental do estado de São Paulo
CICPAA	Comissão Intermuninicipal de Controle da Poluição das águas e do Ar
DRCs	Doenças Respiratórias Crônicas
EAP	Estrutura Análitica de projeto
IQA	Índice de Qualidade do Ar
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
ONU	Organizações das Nações Unidas
PC	Ponto de Controle
PI2	Projeto Integrador 2
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
TAP	Termo de Abertura de Projeto
UnB	Universidade de Brasília

Sumário

1	INTRODUÇÃO	16
2	POSICIONANDO	20
2.1	Instrução ao Problema	20
2.2	Oportunidade de Negócios	20
2.3	Instrução de Posição do Produto	20
3	DESCRIÇÃO DE ENVOLVIDOS NO PROJETO	21
3.1	Demográficos de Mercado	21
3.2	Perfis das Partes Interessadas	21
3.2.1	Equipe de Elétrica	21
3.2.2	Equipe de Estrutura	22
3.2.3	Equipe de Software	22
3.2.4	Professores	22
3.2.5	Perfil do Usuário	23
3.2.6	Investidor	23
3.3	Principais Necessidades da Parte Interessada ou do Usuário	23
3.4	Alternativas e Concorrência	24
3.4.1	Concorrentes e Alternativas de Estações de Monitoramento	24
3.4.2	Concorrentes e Alternativas de Software	25
4	REQUISITOS	27
4.1	Requisitos de Alto-nível	27
4.2	Requisitos específicos	27
4.2.1	Requisitos de Elétrica	27
4.2.1.1	Eletrônica	27
4.2.1.2	Energia	28
4.2.2	Requisitos de Estrutura	28
4.3	Requisitos de Software	29
5	SOLUÇÃO	31
5.1	Solução Elétrica	31
5.1.1	Sensor de temperatura, umidade e pressão	31
5.1.2	Sensores de qualidade de ar	32
5.1.2.1	Sensores de gás	32
5.1.2.2	Sensor de Material Particulado	38

5.1.2.3	Sensor de Fumaça	40
5.1.3	Rastreamento Solar	41
5.1.3.1	Sensor de Luminosidade	41
5.1.3.2	Motor	44
5.1.4	Ventilação do tubo de Venturi	44
5.1.5	Embarcados	46
5.1.5.1	Pinagem ESP32	46
5.1.5.2	Módulo de conexão ESP32	47
5.1.5.3	Desenvolvimento de códigos	48
5.1.6	Painel Fotovoltaico	48
5.1.6.1	Irradiação Solar	48
5.1.6.1.1	Sistemas Fotovoltaico On-Grid e Off- Grid	48
5.1.6.1.2	Dimensionamento Fotovoltaico	50
5.1.7	Fonte simétrica	55
5.1.8	Diagrama e Esquemático Elétrico Geral	57
5.2	Diagrama Unifilar de Alimentação do Sistema	57
5.3	Dimensionamento dos Fios	58
5.4	Seguidor Solar	59
5.5	Solução de Estrutura	63
5.5.1	Design Final	64
5.5.1.1	Visualização externa e interna	64
5.5.1.2	Movimentação do Painel Solar	65
5.5.2	Método de Fabricação	66
5.5.3	Cálculos e simulações	66
5.5.3.1	Simulação térmica	66
5.5.3.2	Simulação do duto de Venturi	68
5.5.3.2.1	Simulação 2D	68
5.5.3.2.2	Simulação 3D	70
5.5.3.3	Otimização estrutural	72
5.5.3.3.1	Chapa de suporte do Gabinete	72
5.5.3.3.2	Chapa de suporte do Painel Solar	75
5.5.3.3.3	Chapa de Suporte	76
5.6	Solução de Software	78
5.6.1	Escopo de Software	78
5.6.2	Arquitetura da Informação	79
5.6.2.1	Protótipo	79
5.6.2.1.1	Homepage	79
5.6.2.1.2	Mapa	80
5.6.2.1.3	Informações Personalizadas	82

5.6.2.1.4	Notificações	82
5.6.3	Arquitetura de Software	82
5.6.4	Representação dos Serviços	83
5.6.4.1	Zéfiro APP	83
5.6.4.2	Zéfiro Alexa Skills	84
5.6.4.3	Zéfiro API	84
5.6.5	Tecnologias	84
5.6.5.1	Flutter	84
5.6.5.2	MongoDB	85
5.6.5.3	Node Js	85
5.6.5.4	Alexa	85
5.6.5.5	Google Maps API	85
5.6.6	Visão Lógica	86
5.6.7	Pacotes de Design Significativos do Ponto de Vista da Arquitetura	86
5.6.7.1	Diagrama de pacotes Zéfiro-APP	86
5.6.8	Diagrama de pacotes Zéfiro-API	87
5.6.8.1	Diagrama de classes	87
5.6.8.2	Diagrama de Sequência	88
6	VISÃO GERAL DO PRODUTO	90
6.1	Perspectiva do Produto	90
6.2	Resumo das Capacidades	90
6.3	Suposições e Dependências	91
6.4	Custo e Precificação	92
6.5	Licenciamento e Instalação	92
7	RECURSOS E RESTRIÇÕES DO PRODUTO	94
7.1	Recursos	94
7.2	Restrições	94
8	ANÁLISE DE RISCOS	95
8.1	Análise Qualitativa e Quantitativa dos Dados	95
8.1.1	Riscos e suas consequências	96
8.1.1.1	Riscos de Projeto	96
8.1.1.2	Riscos de Técnicos	96
8.1.1.3	Riscos de Externos	96
8.1.1.4	Riscos de Produto	97
8.2	Planejamento de Respostas aos Riscos	97
9	CRONOGRAMA DE ATIVIDADES	98
9.1	Ponto de Controle 1	98

9.2	Ponto de Controle 2	99
9.3	Ponto de Controle 3	99
	REFERÊNCIAS	100
	APÊNDICES	105
	APÊNDICE A – TERMO DE ABERTURA DE PROJETO (TAP)	106
A.1	Descrição do Projeto	106
A.2	Justificativa	106
A.3	Objetivo	106
A.4	Requisitos	107
A.5	Riscos	107
A.6	Marcos do Projeto	108
A.7	Stakeholders	108
A.7.1	Equipe	108
A.7.2	Professores	109
A.7.3	Público Alvo	109
A.7.4	Investidor	109
	APÊNDICE B – ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO (EAP)	110
	APÊNDICE C – PLANO DE GERENCIAMENTO DE COMUNICAÇÃO	111
	APÊNDICE D – PLANO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HUMANOS	113
D.1	Papéis da Equipe Geral	113
D.1.1	Gerente geral	113
D.1.2	Diretor de qualidade	113
D.1.3	Diretor técnico	113
D.1.4	Desenvolvedor/projetista	113
D.2	Práticas Ágeis	114
D.3	Gerenciamento da Equipe de Software	115
D.3.1	Papéis da Equipe de Software	115
D.3.1.1	Arquiteto	115
D.3.1.2	DevOps	115
D.3.1.3	Product owner	115
D.3.1.4	Tech lead	115
D.3.1.5	Quality assurance	115

D.3.1.6	Devs	115
D.3.2	Práticas Ágeis de Software	116
D.3.2.1	Requisitos	116
D.3.2.2	Desenvolvimento	116
D.3.2.2.1	Pair-Programming	116
D.3.2.2.2	Refactoring	116
D.3.2.2.3	Build Automatizado	116
D.3.2.2.4	Integração Contínua	117
D.3.2.2.5	Code Review	117
D.3.2.2.6	Entregas Frequentes	117
	APÊNDICE E – PRINCIPAIS DECISÕES DO PROJETO	118
E.1	Desenvolver uma skill da Alexa	118
E.2	Desenvolver uma aplicação Mobile	119
E.3	Estruturar o escopo de funcionalidades com base nos ODS da Agenda 2030	119
E.4	Utilizar como público-alvo pessoas portadoras de doença respiratória	120
E.5	Escolha das tecnologias	121
E.6	Escolha das diagramações	121
E.7	Priorização das histórias de usuário	121
	APÊNDICE F – CÓDIGO	122
	APÊNDICE G – AVALIAÇÃO INTERNA	124
	APÊNDICE H – DIAGRAMA GERAL DO SISTEMA ELÉTRICO	125
	APÊNDICE I – ESQUEMÁTICO GERAL DO SISTEMA ELÉTRICO	126
	ANEXOS	127
	ANEXO A – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS SENORES DA ALPHASENSE	128
	ANEXO B – CIRCUITO ISB	133
	ANEXO C – ESP32 PINOUT	134

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 ([ONU, 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 NO₂). O dióxido de nitrogênio (NO₂) 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 NO₂ 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 (NO₂); assim como NO₂, 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 NO₂, outros gases poluentes são o dióxido de enxofre (SO₂) e o ozônio (O₃). O SO₂ 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 SO₂ interage com as gotículas de água presentes na atmosfera e forma o ácido sulfuroso (H₂SO₃), e este ao oxidar forma o ácido sulfúrico (H₂SO₄), 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

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 cardiovasculares. 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 bem sucedida inclui coletar esses dados do ar a partir de uma base de monitoramento, apresentar para as pessoas de forma a conscientizar para problemas ambientais e também salientar o impacto desses problemas no quadro de saúde de pessoas com doenças respiratórias crônicas (DRCs).

2.2 Oportunidade de Negócios

A proposta visa um produto de cuidado com a saúde do usuário, inicialmente alertando portadores de doenças que possam ser agravadas pela poluição atmosférica, para que esses possam tomar medidas de prevenção. A finalidade do projeto é evitar agravamento nos quadros de saúde e também disponibilizar dados, afim de que seja realizada uma análise e regulamentação de pontos focos de poluição.

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 uma qualidade do ar ruim.

Assim, o Zéfiro, sendo uma estação de monitoramento do ar, é uma ferramenta de captura de dados dos poluentes que auxilia na montagem dos relatórios pelos estados e ajuda as pessoas com distúrbios clínicos, por meio de um aplicativo, sobre a qualidade do ar e possíveis pioras de distúrbios clínicos.

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 para uso característico 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.

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 Ribiero 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, são os portadores de doenças respiratórias crônicas (DRCs), o qual é caracterizado na tabela 1.

Representante	Portadores de DRCs.
Descrição	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.
Tipo	Não há necessidade de conhecimento prévio em tecnologia para conseguir utilizar a aplicação.
Responsabilidades	Manter os dados sobre condições de saúde atualizados para tornar a exibição deles eficaz; utilizar a versão mais atualizada do aplicativo.
Critérios de sucesso	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 de IQA.
Comentários ou Problemas	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 secção 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 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: Ecosoft Soluções Ambientais, 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 primeiro colete, integra e armazena os dados da estação de forma a permitir o acesso remoto para transferência de dados, mas lembrando que nem sempre é possível acessar essa informação por qualquer dispositivo, sendo necessário o fornecimento de um protocolo de comunicação.

ção. Já o segundo, o abrigo, 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.

Já 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 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.

4.2 Requisitos específicos

4.2.1 Requisitos de Elétrica

4.2.1.1 Eletrônica

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

- Envio de dados tratados para nuvem;
- Medição de gases poluentes: Dióxido de enxofre (SO_2), Dióxido de nitrogênio (NO_2), Ozônio (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 a 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 status do IQA para 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.

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

5.1 Solução Elétrica

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 Adafruit BME280, que realiza a leitura das três variáveis meteorológicas, com boa acurácia e resolução de leitura.

O sensor BME280 é um sensor especialmente desenvolvido para aplicações móveis e compactas, onde tamanho e baixo consumo de energia são os parâmetros importantíssimos de design. 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 μ A;
 - b) Medição de umidade: 340 μ A;
 - c) Medição de pressão: 714 μ A;
 - d) Medição de temperatura: 350 μ 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 1 mostra esquematicamente a estrutura de um sensor de gás tóxico.

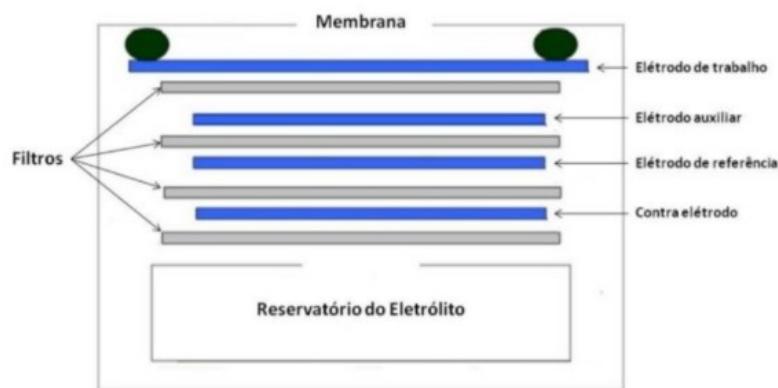


Figura 1 – Representação esquemática dos sensores de gás da Alphasense

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 (CO , H_2S , NO , SO_2) ou redução (NO_2 , Cl_2) ocorre. Um catalisador de alta área de superfície 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_2 ou aromáticos em sensores de H_2S). 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)

Curva de corrente-tensão

A corrente do eletrodo de trabalho muda quando o potencial aplicado é variado, produzindo uma curva corrente-tensão; um diagrama esquemático de uma curva de tensão de corrente típica é mostrado na Figura 2

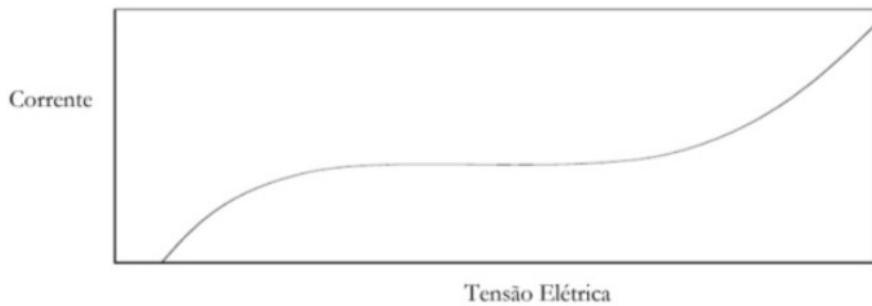


Figura 2 – Representação gráfica da variação da corrente em função da tensão elétrica no eletrodo de trabalho

É importante notar que, no gráfico ,existe uma região, onde a corrente gerada é independente da variação de tensão aplicada e é nesta região que deve ser disponibilizada ao eletrodo a tensão elétrica de trabalho. Essa região da curva de corrente-tensão, conhecida como platô de corrente limitado por difusão ou transporte e não pela cinética da reação, permite obter um sinal de corrente que depende somente da concentração de monóxido de carbono, com menos sensibilidade a oscilações de tensão no eletrodo de referência que podem ocorrer por variações de temperatura.

Para muitos sensores de gás tóxico, uma tensão zero aplicada ao eletrodo de trabalho em relação ao eletrodo de referência corresponde convenientemente à região do platô. No entanto, certos sensores (por exemplo, óxido de nitrogênio: NO) requerem uma tensão de polarização para garantir a redução de NO em vez de oxidação de NO_2 .

Ao operar no platô de corrente limitada de transporte, a corrente medida (I_L) deve ser linearmente dependente da concentração ou do volume fracionário do gás tóxico (C_T) no ambiente externo:

$$I_L = kC_T \quad (5.1)$$

onde k é a constante de proporcionalidade, que caracteriza cada sensor e cujo valor é fornecido pelo fabricante para cada sensor.

Embora os sensores eletroquímicos de gás tóxico sejam projetados para operar na região do platô para reduzir a sensibilidade a pequenas alterações no potencial do eletrodo de referência, não se pode concluir que pequenas alterações no potencial do eletrodo de referência podem ser ignoradas. Lembrando que o eletrodo de trabalho tem uma alta capacidade de tipicamente 50-200 mF, então qualquer mudança no eletrodo de referência ou potencial eletrônico será forçada no eletrodo de trabalho pelo circuito do potencióstático. A camada de “carga dupla” do eletrodo de trabalho irá descarregar ou adsorver a corrente conforme se ajusta ao seu novo potencial operacional. Isso será observado como um transiente da corrente de saída sempre que o potencial definido mudar. ([ALPHASENSE, 2020a](#))

Controle de Alcance e Sensibilidade

O eletrodo de trabalho é normalmente projetado para maximizar a corrente gerada em resposta à presença de um gás eletro-quimicamente ativo. Para ajustar a faixa de concentração de gás e a sensibilidade (expressa como $\frac{nA}{ppm}$), uma barreira de difusão de gás acima do eletrodo de trabalho controla o fluxo do gás tóxico para o eletrodo de trabalho. Simplesmente, quanto maior o orifício de difusão, maior a sensibilidade e menor a faixa de concentração. Portanto, por exemplo, os sensores Alphasense H2S que usam o mesmo eletrodo têm diferentes faixas e sensibilidades, variando o tamanho do orifício da barreira de difusão de gás. Esses orifícios variam em tamanho de 0.3 a 10 mm de diâmetro e também afetam a taxa em que o eletrólito absorve água ou seca. Uma regra simples a seguir: sensores com menor sensibilidade e maior faixa de concentração secam mais lentamente em baixas umidades e absorvem água mais lentamente em altas umidades. ([ALPHASENSE, 2020a](#))

Sensores de gás da Alphasense

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



Figura 3 – Sensores de gás da Alphasense

Placa individual dos sensores

A Alphasense disponibiliza para cada um dos sensores uma placa eletrônica (ISB -

Individual Sensor Board), aonde são conectados os sensores, disponibilizando uma tensão constante aos eletrodos de trabalho e auxiliar e permitindo a coleta do sinal dos eletrodos em forma de tensão elétrica.



Figura 4 – 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 potencióstático. 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, SO₂ e NO) e gases redutores (O₃ e NO₂). ([ALPHASENSE, 2020d](#))

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 (círculo potencióstático). 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 ₂ -B4, H ₂ S-B4
000-0ISB-01	NO-B4
000-OISB-02	NO ₂ -B43F
000-0ISB-03	OX-B431

Tabela 2 – Tabela das placas ISB dos sensores

Operação do circuito da ISB

O circuito presente no anexo B representa a placa individual da Alphasense. O circuito usa um amplificador operacional para fornecer uma corrente de equilíbrio

ao contra-eletrodo (círculo 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 NO₂ e O₃, 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

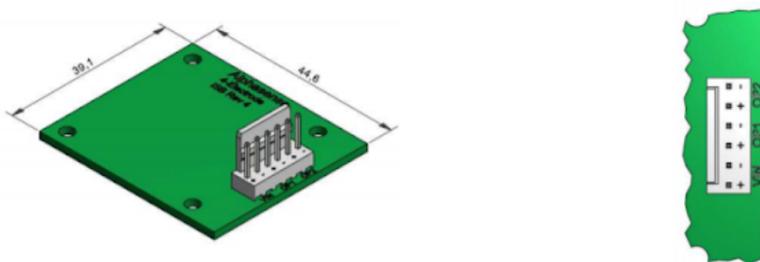


Figura 5 – Conexão molex

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, 2020b](#)), 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)	Sensibilidade 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 ₂	225/245	230	430	550/930	5	165	15
O ₃	260/300	290	1150	340/520	10	216	15
SO ₂	355/345	300	450	379/520	10	240	5

Tabela 3 – Tabela das saídas esperadas para os gases

Ruído

- (a) Eses 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 aterrarr 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 aphasense 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 tensão 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. Para obter a concentração do gás é utilizada a seguinte equação ([SILVA, 2019](#)):

$$\text{Gás}(ppm) = \frac{(\text{WE}_{OP1} - \text{WE}_{Vo}) - (\text{AUX}_{OP2} - \text{AUX}_{Vo})}{S} \quad (5.2)$$

onde WE_{OP1} é a tensão do eletrodo WE (mV), AUX_{OP2} é a tensão do eletrodo WE(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 6 – 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/m³ 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 para medir somente para detectar se há fumaça no ar.

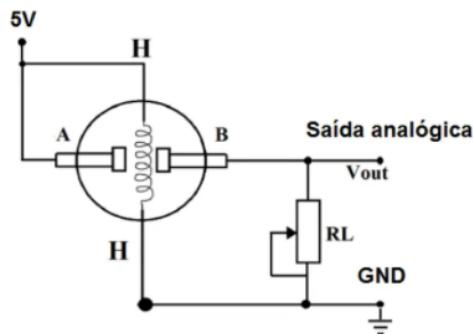


Figura 7 – Funcionamento do sensor MQ-2



Figura 8 – Sensor MQ-2

- 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, possui uma resistência variável, alterando o seu valor de acordo com a incidência solar. Funcionando de maneira em que a resistência do componente reduz a medida em que a intensidade da luz aumenta. ([CELLS, 2018](#))

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 9. 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.

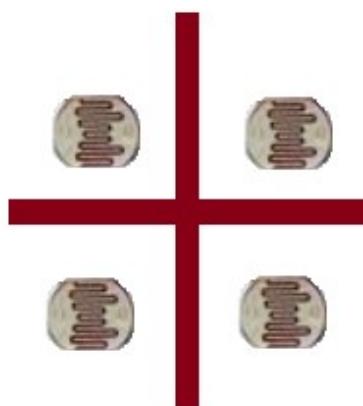


Figura 9 – Perfil formato “+” LDR

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 circuito do foto-resistor foi confeccionado com o uso de um amplificador operacional; a aplicação desse componente ocorreu para variar o ganho de forma a evitar a saturação do LDR. ([CORTEZ, 2013](#)) A escolha do amplificador operacional levou em conta a atuação requerida no projeto, alimentação simétrica de 5V e confiabilidade do componente, levando a escolha então do amplificador operacional UA741. O esquemático do circuito pode ser observado na Figura [10](#).

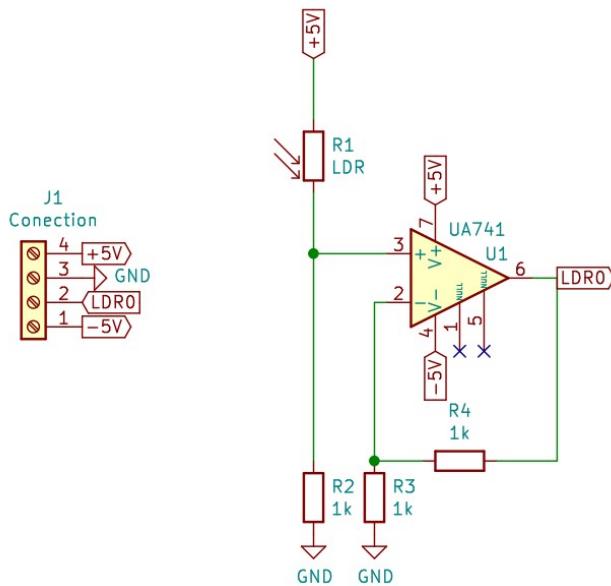
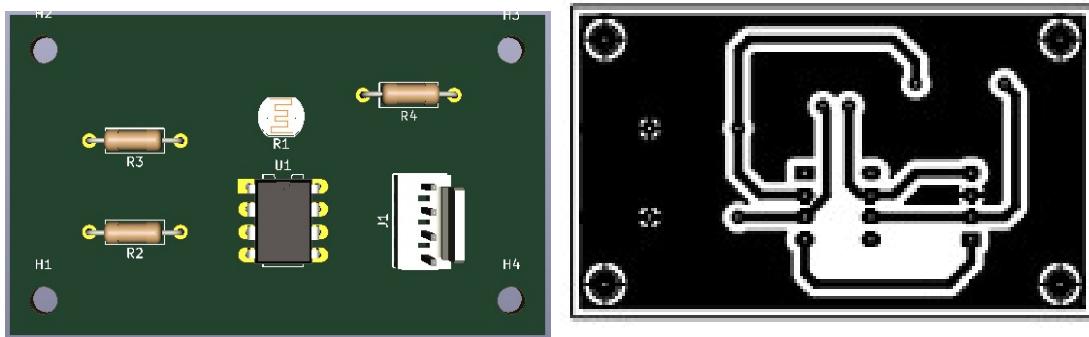


Figura 10 – Esquemático Circuito LDR

Com a simulação resultando de forma esperada, desenvolve-se a PCB para o circuito LDR. A Figura 11 apresenta o modelo 3D e a máscara para aplicação no cobre.



(a) Design 3D LDR

(b) Máscara para PCB LDR

Figura 11 – Módulo LDRX.

Como já dito, o LDR varia o valor de sua resistência de acordo com a intensidade de luz (lux), quanto menor a intensidade de luz, maior a sua resistência e consequentemente menor a saída de tensão gerada. Para verificar o comportamento do LDR com o circuito elaborado, foi feita a simulação apresentada na Figura 12.

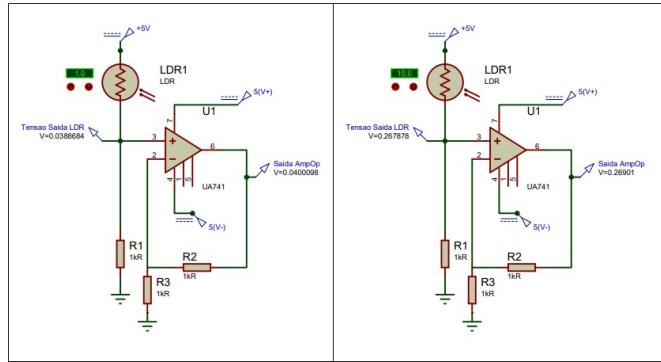


Figura 12 – Simulação Circuito LDR

5.1.3.2 Motor

O microcontrolador envia um pulso 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, para atender as condições de projeto, apresenta as seguintes especificações:

1. Modelo: Servo TowerPro MG995;
 - a) Tensão de Operação 4.8V e 7.2V;
 - b) Modulação: Analógica
 - c) Velocidade de operação: 0.17seg/60° (4.8V sem carga) e 0.13seg/60° (6.0V sem carga)
 - d) Torque: 9.4 kg.cm (4.8V) e 11,0 kg.cm (6.0V)
 - e) Faixa de Rotação: 120°

5.1.4 Ventilação do tubo de Venturi

De acordo com os requisitos da solução apresentada pela equipe de estrutura, secção 5.5.1, 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) m³/min;
- f) Máxima Pressão de Ar: 5.15 (Mínimo 4.17) mmH₂O;

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 13, para controle por meio do microcontrolador, criando uma meia ponte H. Realizou-se a simulação do circuito para verificar o funcionamento correto do circuito.

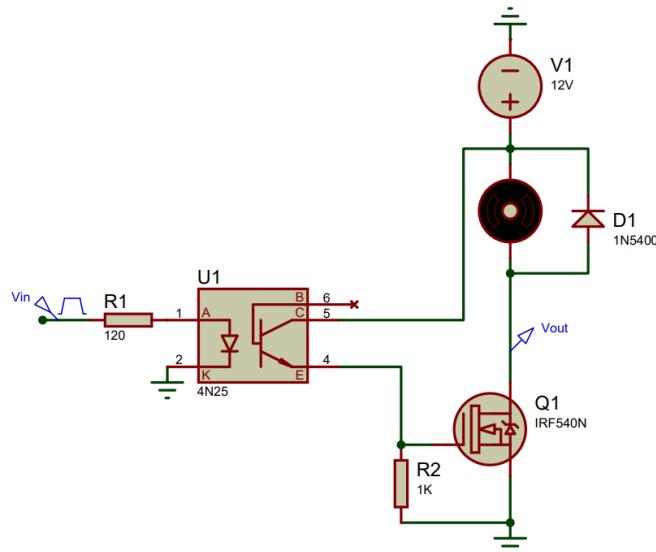


Figura 13 – Esquemático circuito de controle PWM optoacoplado.

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 14, percebe-se que o circuito está coerente.

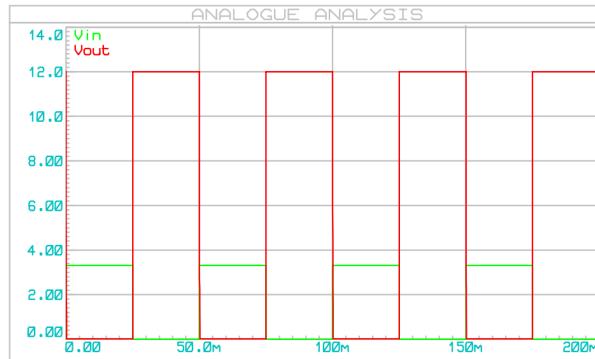


Figura 14 – Resultado da Simulação do circuito da Figura 13

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: quantidade de portas ADC, comunicação SPI e I2C e Wi-Fi. Também para a escolha, porém como características secundárias, foi analisado: preço e consumo.

Na Tabela 15, é possível se 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

Figura 15 – Tabela de 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 16 é possível verificar a disposição dos componentes nos seus pinos, no Anexo C está

disponível o diagrama de *pinout* da esp32, para identificação de capacidade das portas.

DOIT ESP32 DEVKIT V1 PINOUT

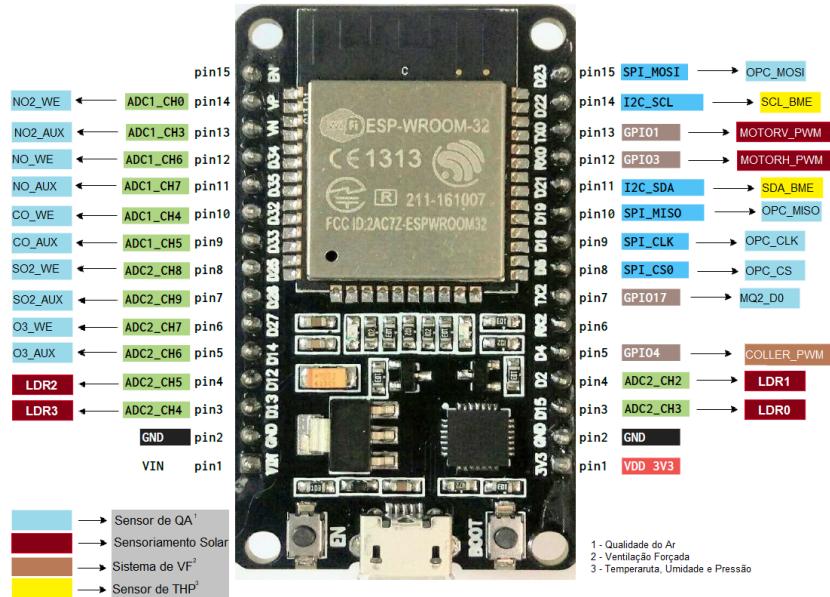


Figura 16 – Conexões dos Componentes no Microcontrolador

5.1.5.2 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 17 demonstra a idealização 3D deste componente e a máscara para construção da placa de circuito impresso (do inglês, PCB).

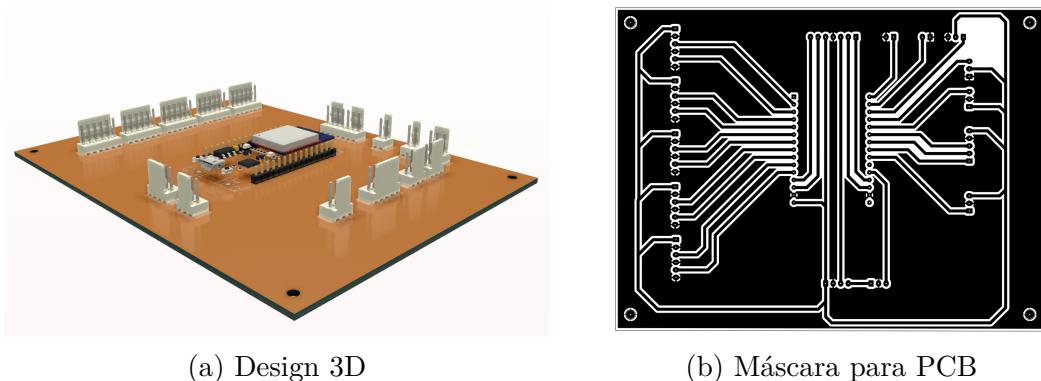


Figura 17 – Módulo de conexão para ESP32.

5.1.5.3 Desenvolvimento de códigos

Realizou-se a pré-implementação do código embarcado, testando separadamente as funções de aquisição de dados dos sensores, para acesso aos códigos-fonte vide [Zéfiro Git](#).

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 fótons 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 (Wh/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 18, 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)

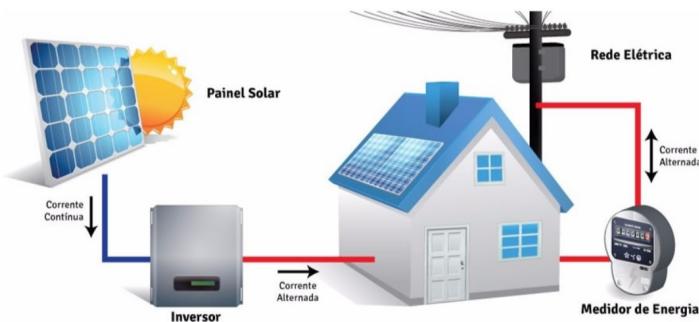


Figura 18 – Sistema Fotovoltaico ON GRID

O segundo tipo de sistema fotovoltaico é o OFF GRID, apresentado na Figura 19, 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, 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)

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 forne-

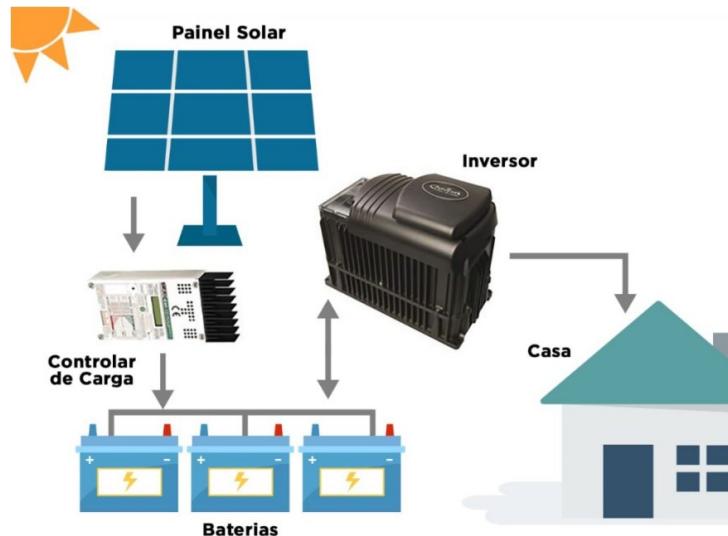


Figura 19 – Sistema Fotovoltaico OFF GRID

cimento 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 20 (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 21.

<u>Equipamentos</u>	<u>Tensão (V)</u>	<u>Corrente(A)</u>	<u>Potência (W)</u>
Adafruit BME280	5V	0.000714 A	0.00357
Individual Sensor Board	5V	0.001A	0.005
LDR	3.3V	0.0303A	0.1W
Motor	6V	0.43A	2.58W
ESP32	5V	0.24A	1.2W
OPC-N3	5V	0.18A	0.9W
Fan de Ventilação	12V	0.18A	2.16W
TOTAL	41,3V	1.06A	

Figura 20 – Dados dos Equipamentos a serem utilizados

<u>Equipamentos</u>	<u>Quantidade</u>	<u>Potência (W)</u>	<u>Tempo(h)</u>	<u>Total Wh</u>
Adafruit BME280	1	0.00357	24	0.08568
Individual Sensor Board	5	0.005	24	0.6
LDR	4	0.1W	12	4.8
Motor	3	2.58W	0.1	0.75
ESP32	1	1.2W	24	28.8
OPC-N3	1	0.225W	24	5.42
Fan de Ventilação	1	2.16W	1	2.16
TOTAL				42,7

Figura 21 – 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° ao Sul e 48,0443975° 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](#))

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
		Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
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 22 – 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:

$$HSP = \frac{4.71 + 4.75 + 4.76}{3} = 4.74 \text{ kWh/m}^2 \text{ dia} \quad (5.3)$$

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 23

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-Círcuito (Isc)	0.93A
Área	0.385mx0.345 m
Eficiência	11.2%

Figura 23 – 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)

$$E_p = E_s * A_m * \eta_m \quad (5.4)$$

onde,

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

A partir da equação 5.4 e com os dados fornecidos no datasheet da placa solar é possível calcular a quantidade de energia gerada pelo sistema, desse modo temos:

$$E_p = 4740 * (0.385m * 0.345m) * 0.112 = 70.6\text{Wh} \quad (5.5)$$

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

$$N = \frac{E_c}{E_p} = \frac{43.3}{70.6} = 0.61 \quad (5.6)$$

De acordo com os cálculos será necessário aproximadamente 0.61 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%.

$$E_a = \frac{n_{aut}^\circ * Energia_{consumida}}{D} \quad (5.7)$$

onde,

E_a é a energia armazenada, n_{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:

$$E_a = \frac{3 * 42.7}{0.99} = 129.4Wh \quad (5.8)$$

A capacidade do banco de baterias será de

$$C_{banco} = \frac{E_a}{V_{sit}} \quad (5.9)$$

onde,

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

$$C_{banco} = \frac{129.4}{41.3} = 3.13Ah \quad (5.10)$$

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 24.

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 24 – 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 34, 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.

Controlador de Carga D408-6	
Tensão Máxima do Painel	20V
Corrente Máxima da Carga	6.5Ah
Máxima Corrente da Carga	6A
Tensão Mínima 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 25 – Dados do Controlador a ser utilizada no Sistema

Montagem do sistema

Após a escolha do painel solar, definição de controlador de carga e bateria que irão alimentar a carga do sistema, Figura 34, 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.

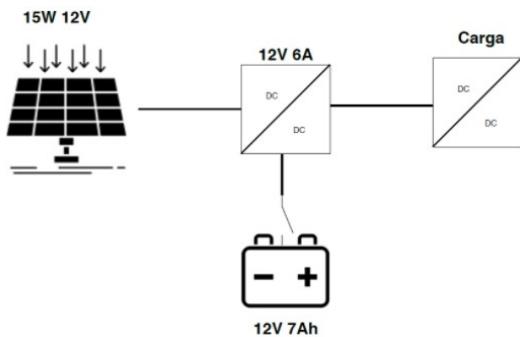


Figura 26 – Sistema Off-Grid da Estação de Monitoramento do Ar

5.1.7 Fonte simétrica

O sistema eletrônico necessita de tensão de alimentação simétrica, +5V e -5V, por tanto faz-se necessário a conversão da tensão 12V proporcionada pela bateria/painel para

esta simétrica.

Desta forma o circuito da Figura 27 foi criado para suprir a necessidade, este circuito realiza a divisão por 2 da tensão assimétrica de entrada, conectando a saída do amplificado operacional L165 ao terra do circuito, é possível gerar a tensão positiva e a negativa, pela diferença de potencial da fonte do circuito e deste terra.

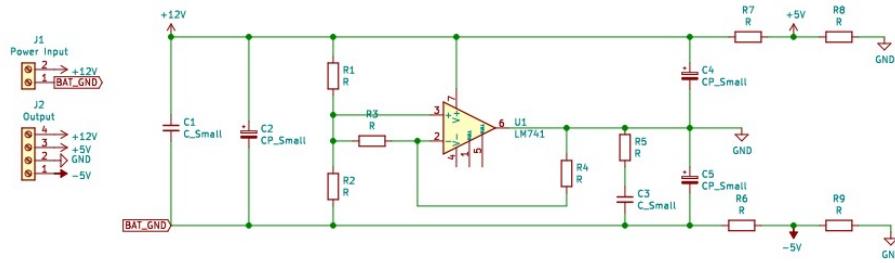


Figura 27 – Esquemático Alimentação Simétrica

Para se atingir as tensões de +5V e -5V, inseriu-se nas saídas do circuito um divisor de tensão, o resultado da simulação na Figura 28 demonstra o exito no desenvolvimento da fonte simétrica.

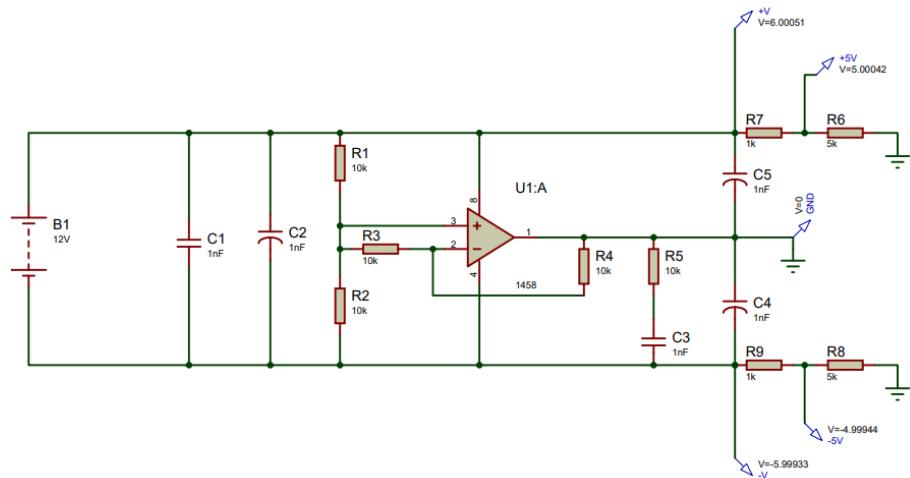


Figura 28 – Simulação Alimentação Simétrica

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

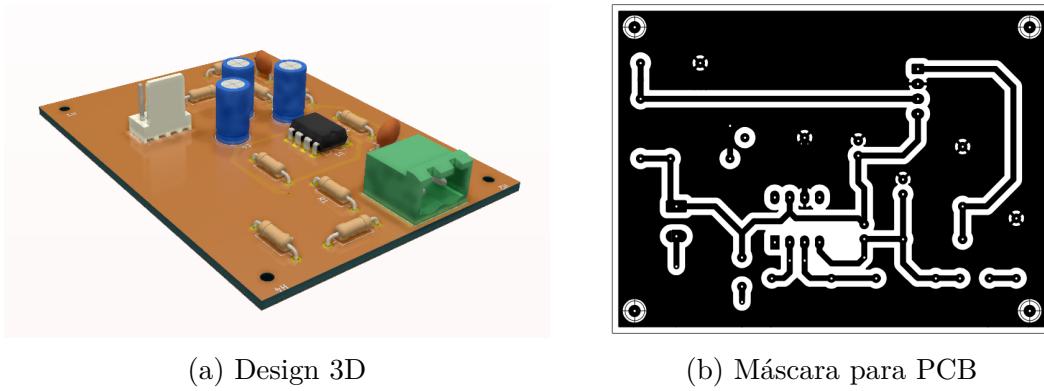


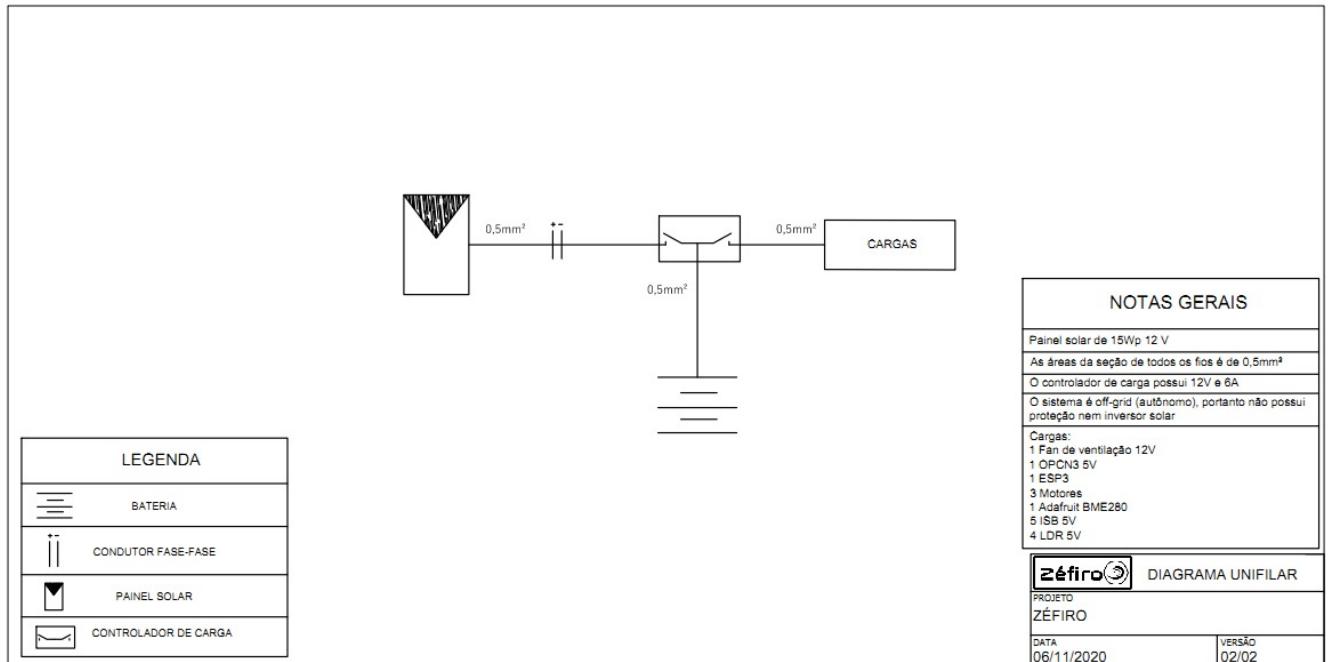
Figura 29 – Módulo de fonte simétrica.

5.1.8 Diagrama e Esquemático Elétrico Geral

O Diagrama presente no Apêndice H, 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 I ,onde apresenta é apresentado os módulos com suas entradas e saídas.

5.2 Diagrama Unifilar de Alimentação do Sistema

Figura 30 – Diagrama Unifilar. Fonte: Própria Autoria. ([ABNT, 2005](#))

5.3 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:

$$S = N * Isc$$

S= Seção do Fio

N= Número de Strings

Isc = Corrente de Curto- Circuito

$$S = 1 * 0.93 = 0.93 \text{ A} \quad (5.11)$$

A bitola do fio de acordo com sua seção, de acordo com a NBR 5410 é de 0.5mm.

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

$$V_{mp} = \text{Tensão máxima permitida} = 17,5V$$

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

$$\begin{aligned} &\text{Máxima tensão de queda permitida} = 16,8V \\ &(5.12) \end{aligned}$$

TABELA DE CONDUTORES, DE ACORDO COM A CAPACIDADE DE CORRENTE ELÉTRICA	
SEÇÃO DO CONDUTOR (mm²)	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 31 – Condutores de Acordo com a Capacidade de Corrente Elétrica. Fonte: ([ABNT, 2005](#))

5.4 Seguidor Solar

Os seguidores 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 seguidor 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 1, 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](#)).

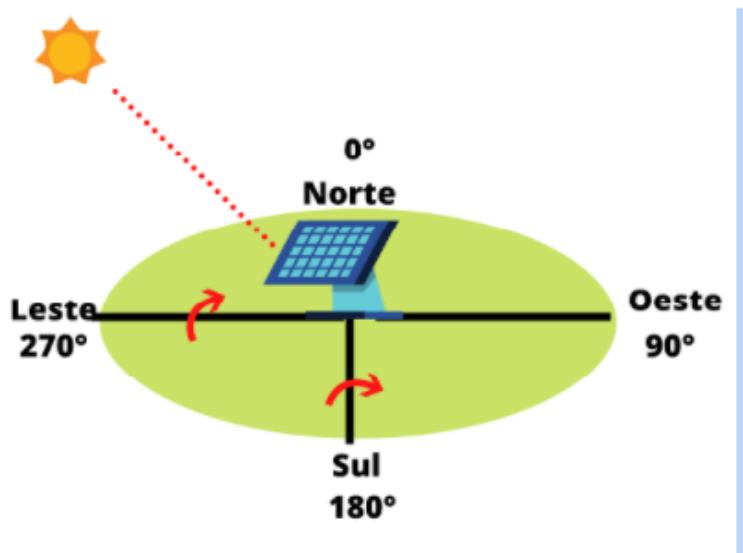


Figura 32 – Modelo Rastreado Azimute-Elevação. Fonte: Própria Autoria

A partir do Local Standard Time Meridian (LSTM) é feita a compensação do fuso local pela equação 1:

$$\text{LSTM} = 15^\circ \text{TGMT}$$

(5.13)

Onde, TGMTé 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.

$$\begin{aligned} \text{EoT} &= 9,37 \sin(2B) - 7,53 \cos(B) - 1,5 \sin(B) \\ B &= 360/365(d-81), \text{ d é o número de dias do ano.} \end{aligned}$$

(5.14)

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

$$TC=4 (\text{Longitude} - \text{LSTM}) + \text{EoT}$$

(5.15)

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:

$$\text{LST} = \text{LT} + \text{TC}$$

(5.16)

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

$$\text{HRA} = 15^\circ (\text{LST} - 12)$$

(5.17)

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° , 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 $e = 23,45$ é utilizado para os meses de solstícios que é de junho a dezembro.

$$\delta = \text{sen} - 1(\text{sen}[(\text{sen}((360/365)(d - 81)))]$$

Onde $=0$ ou $23,45$
(5.18)

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

$$\begin{aligned} H &= \text{sen}^{-1}[\text{sen } \delta \text{sen} \phi + \text{cos} \delta \text{cos} \phi \text{cos}(HRA)] \\ Z &= \text{cos}^{-1}[(\text{sen } \delta \text{cos} \theta - \text{cos} \delta \text{sen} \theta \text{cos}(HRA))] \end{aligned}$$

(5.19)

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 tabela abaixo:

A partir da tabela acima 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 2, 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 $23,45^\circ$, interferindo na posição de elevação e de rotação dos eixos da placa solar.

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 33 – Resultados obtidos de forma analítico para o dia 22/10/2020. Fonte: Própria Autoria

A	B	C	D	E	F	G	H
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							
23							

Figura 34 – Modelo Matemático das Equações de Azimute-Elevação em Excel para os 365 dias do ano. Fonte: Própria Autoria

5.5 Solução de Estrutura

O sistema de monitoramento do ar tem como foco facilitar a instalação, a operação e a manutenção. Sendo assim, o equipamento deverá ser leve, de fácil acesso a componentes internos e, ao mesmo tempo, resistente a fim de funcionar em diversas condições

ambientais, como: exposição ao Sol, chuva, rajadas, entre outros. Tais características tornam o dispositivo portátil o suficiente para possibilitar 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 as necessidades de melhor captura dos poluentes atmosféricos e proteção do equipamento como um todo. A partir do design foi feita a seleção dos materiais que compõe a estrutura, assim como as informações para auxiliar na sua fabricação e as simulações.

5.5.1 Design Final

Com a definição dos componentes internos foi possível desenvolver o Design Final da estação Zéfiro, levando em consideração as necessidades estipuladas para leitura dos dados pelos sensores.

5.5.1.1 Visualização externa e interna

A Figura 35 apresenta a estrutura externa da estação Zéfiro, essa consiste em um gabinete onde ficarão o sistema de alimentação e o de sensoriamento, um poste e, na frente desse gabinete, um plataforma móvel onde será instalado o painel solar.

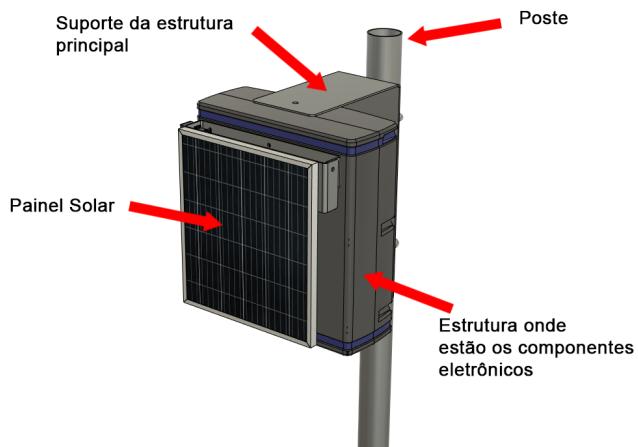


Figura 35 – Estrutura externa da estação Zéfiro

Internamente a torre é dividida em dois espaços: um aloja os circuitos eletrônicos auxiliares e o microcontrolador, Figura 36a, e o outro é um túnel de vento onde os sensores analisarão a qualidade do ar circundante, Figura 36b.

Por fim, a Figura 36c apresenta a disposição dos sensores utilizados para aquisição da qualidade do ar, vale notar que o sensor OPC-N3 tem seu próprio sistema de ventilação forçada, não necessitando da conexão no duto.

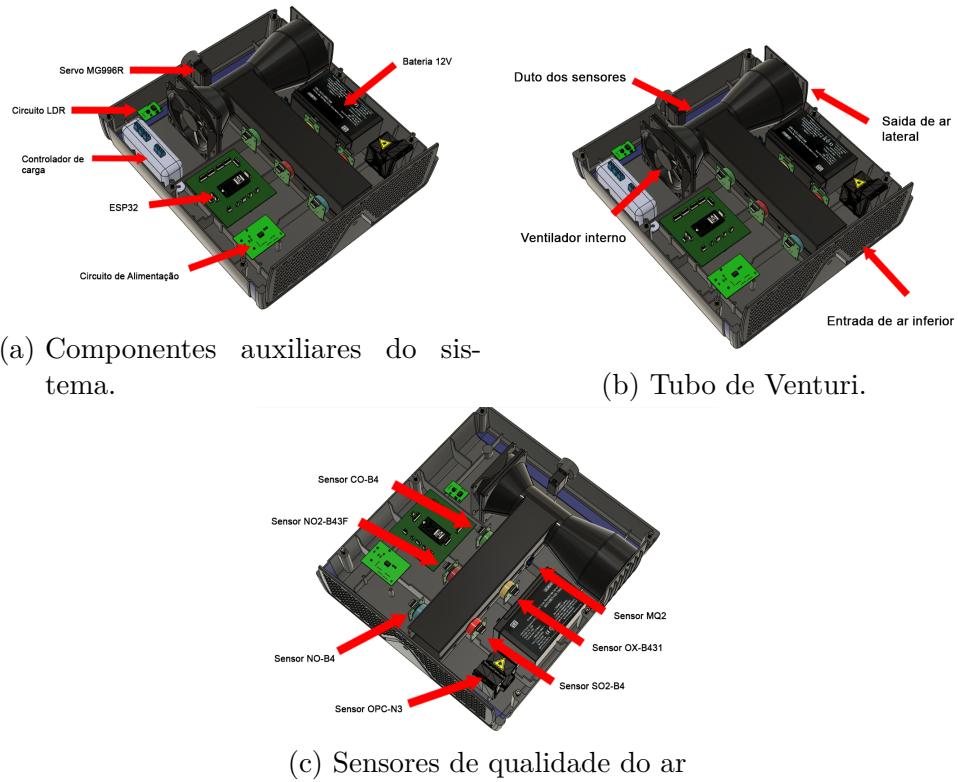


Figura 36 – Estrutura interna e disposição dos componentes.

5.5.1.2 Movimentação do Painel Solar

Para melhor eficiência da 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 37a) e o gabinete será montado sobre um suporte que dará à estação um segundo grau de liberdade (Figura 37b).

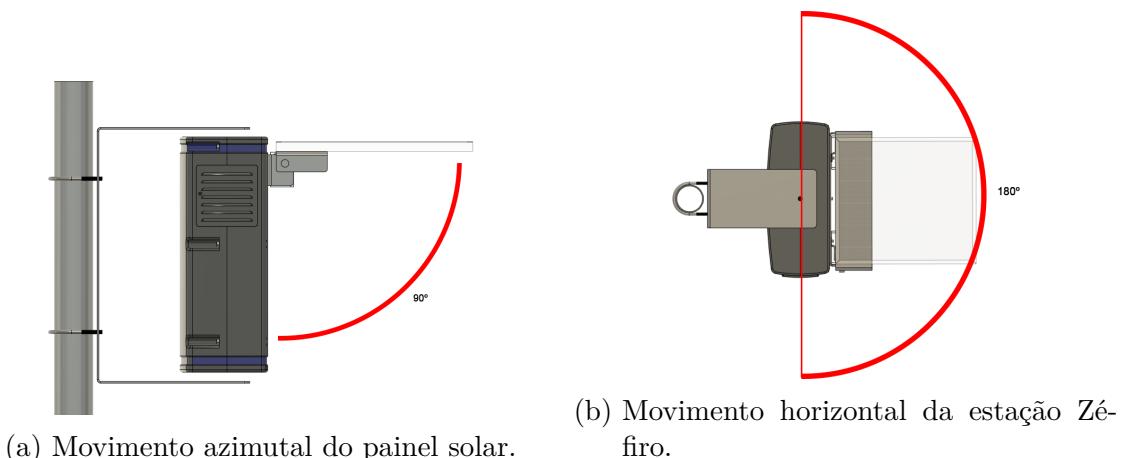


Figura 37 – Apresentação dos graus de liberdade para o sensoriamento solar.

5.5.2 Método de Fabricação

Para o processo de fabricação do protótipo 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.

Será 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.

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™.

Como uma segunda forma de produção voltada a larga escala e distribuição do produto em nível nacional, será 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.

5.5.3 Cálculos e simulações

5.5.3.1 Simulação térmica

A análise térmica é uma ótima visualização de como a estrutura vai distribuir o calor e se algum material vai atingir o limite de temperatura de trabalho útil. Na Figura 38 é apresentada a simulação de fluxo térmico da placa fotovoltaica, o Fluxo térmico foi simplificado para poupar recursos computacionais e foi selecionado um ponto ao centro da placa para representar a dissipação de potencia da placa, que são 15W, e assim observar como o calor se distribui pela estrutura de alumínio da placa.

É possível perceber o fluxo de calor saindo do centro para as extremidades, que ocorrem por condução e nas bordas o calor passa a ser transferido para o ambiente por convecção. Os parâmetros utilizados foram de, um fluxo de calor (700W/m^2) incidindo diretamente no meio da placa adicionado da dissipação de calor das células fotovoltaicas, ‘Film coefficient’ do ar de $5\text{W/m}^2\text{C}$.

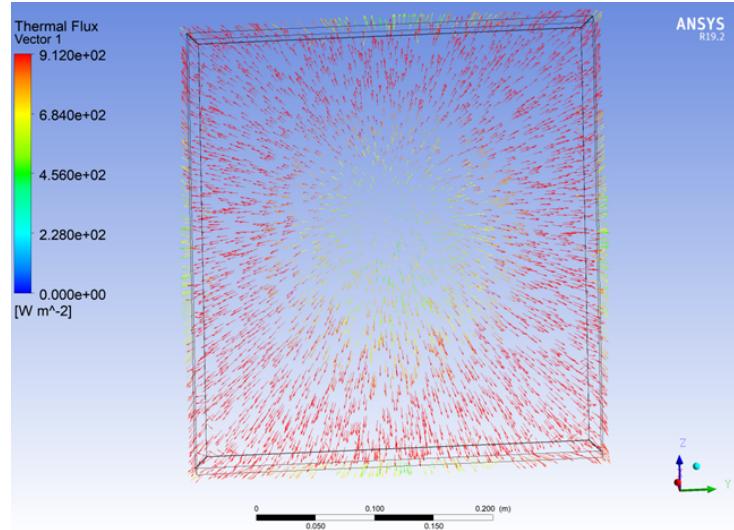


Figura 38 – Fluxo térmico no painel solar

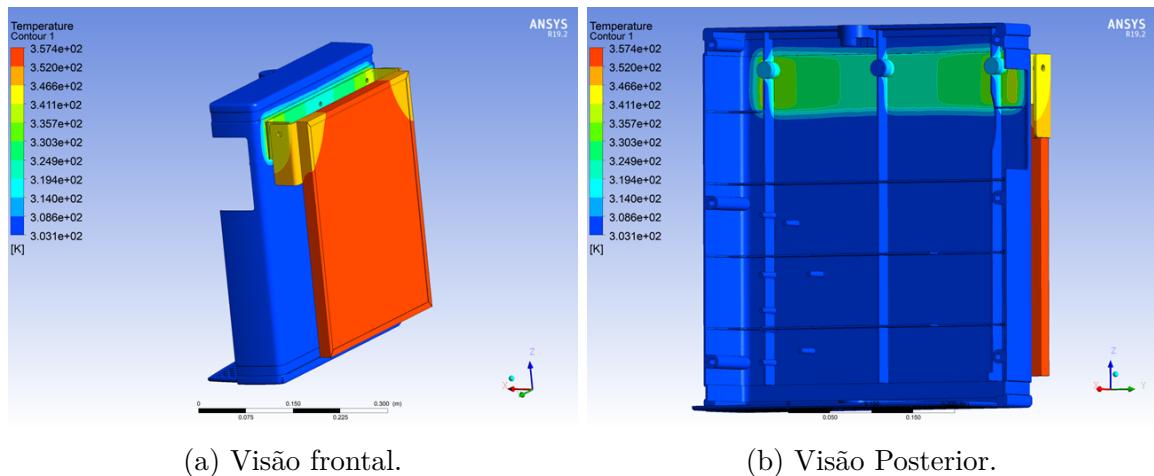


Figura 39 – Visualização da distribuição térmica da placa acoplada à estrutura com incidência solar somente na placa.

A Figura 39 demonstra a simulação de temperatura da incidência solar somente na placa fotovoltaica, que é uma ótima visualização da distribuição de calor pela estrutura de alumínio e os suportes de alumínio que estão acoplados à estrutura de plástico ABS, a temperatura ambiente definida foi de 30°C. A incidência foi de, novamente, 700W/m² e somente na placa para conseguir ter uma boa imagem de como o calor se distribui no contato do alumínio com o plástico.

Na parte interior, Figura 39b, podemos perceber como o plástico ABS não conduz o calor pela própria estrutura com a facilidade que o alumínio o distribui, mas isso não será problema pois a temperatura alcançada nesse ponto específico de acoplamento não atinge o limite de temperatura de trabalho útil do plástico ABS que é acima de 75°C.

5.5.3.2 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 120mm de diâmetro com o fluxo mássico de 42.69 g/s. Nas condições de operação o escoamento é incompressível devido a baixa velocidade, de 3.31m/s considerando o ar com densidade de 1.225kg/m³ 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- ω , devido ao domínio a ser simulado ser um escoamento interno, Na entrada do Venturi, foi colocado um "velocity inlet" com o valor de 3.31 m/s e na entrada do tubo onde estão instalados os sensores, um "pressure inlet" com o valor da pressão externa. Na saída do Venturi foi adicionado um "pressure outlet" a pressão externa e as demais regiões, contorno de parede. A princípio foi feita uma simulação 2D de modo a ver o comportamento preliminar do fluido de trabalho e posteriormente foi feita uma simulação 3D em que foi analisado o comportamento detectado na 2D.

5.5.3.2.1 Simulação 2D

Com as condições de contorno inicialmente definidas, foram obtidos os campos de pressão, velocidade, vetor de velocidade, vorticidade e linhas de trajetória. Os resultados foram analisados de forma visual devido ao regime ser laminar (Baixo número de Reynolds).

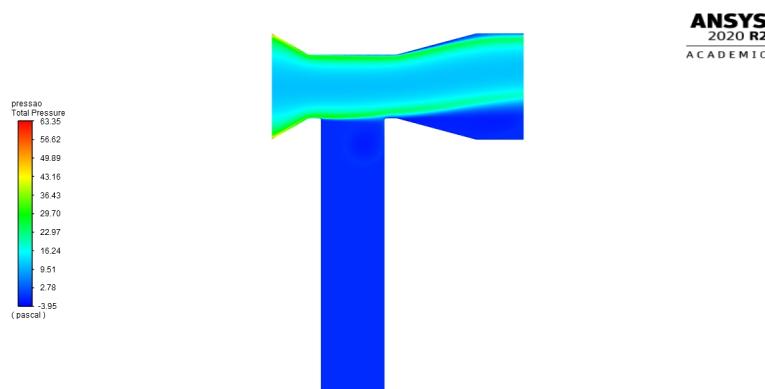


Figura 40 – Campo de Pressão total em 2D.

No campo de pressão, Figura 40, é possível notar um vácuo de -3,85Pa, sobre o duto de leitura dos sensores, garantindo que o escoamento é renovado fazendo com que os sensores sempre leiam dados novos dos sensores, entretanto esse valor de pressão é muito

baixo em relação ao previsto de forma teórica, o que faz com o que seja necessária uma simulação mais detalhada.

Já na Figura 41, é apresentado o campo de velocidade, apresenta uma região de recirculação na junção do tubo de leitura com o Venturi. Essa zona de recirculação deve ser analisada em outras propriedades para avaliar a interferência dela com os sensores.

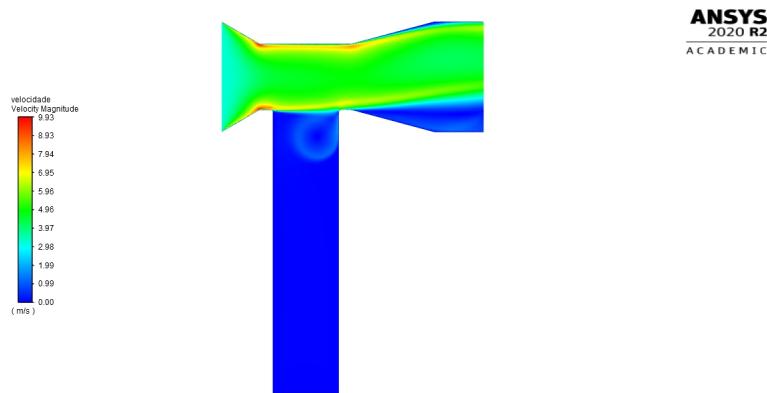


Figura 41 – Campo de Velocidade em 2D.

No campo vetorial, Figura 42, é possível ver que há uma segunda zona de recirculação na saída do Venturi, advinda da mistura com o fluido vindo da entrada do Venturi com o vindo do tubo de leitura, entretanto essa segunda recirculação, por estar na saída, não interfere na leitura dos sensores, devido a posição da zona de recirculação.

Na Figura 43 é possível ver a região onde a vorticidade apresenta um valor constante, onde é adequada a posição dos sensores. Também é mostrado que a zona de recirculação apresenta uma vorticidade mais elevada do que as demais localidades do tubo de Venturi.

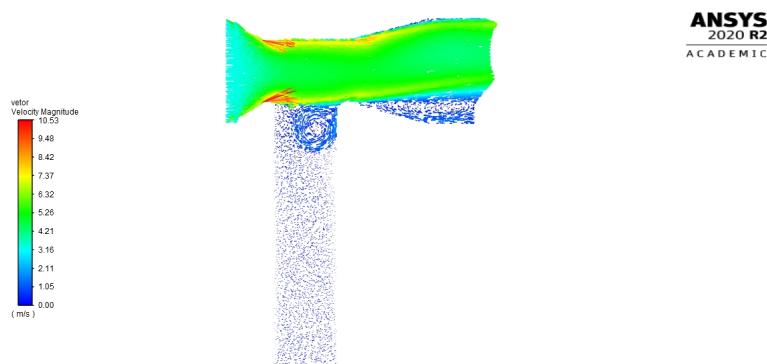


Figura 42 – Campo vetorial de velocidade. Indicando o sentido da rotação da zona de recirculação.

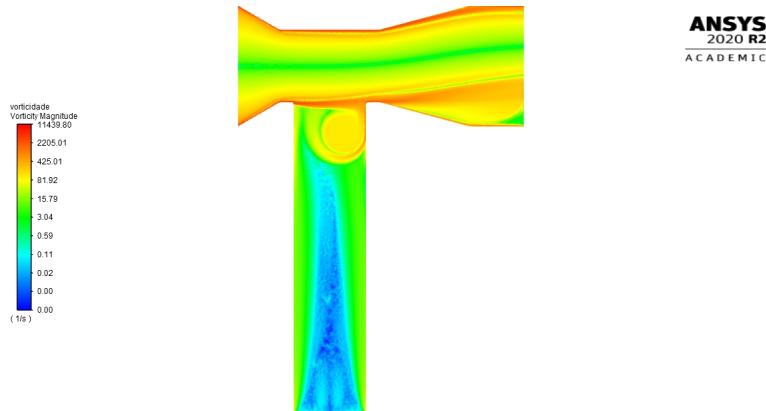


Figura 43 – Campo de Vorticidade 2D.

Com a Figura 44, é possível ver a zona de interferência do vórtice gerado na junção dos dois tubos.

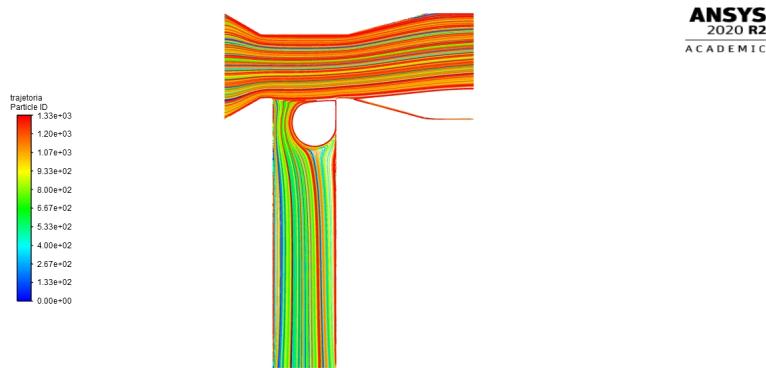


Figura 44 – Linhas de trajetória do escoamento.

Apesar de se observar a região de turbulência, é necessária uma análise 3D do escoamento para avaliar as interferências em outras direções dessa zona de recirculação.

5.5.3.2.2 Simulação 3D

Na simulação 3D foram utilizadas as mesmas condições de contorno do escoamento 2D, entretanto os resultados obtidos foram mais detalhados conforme o esperado. Na Figura 45 é apresentado o capo de pressão 3D, houve uma maior pressão de vácuo em relação ao 2D, valor que garante um escoamento mais constante em volta dos sensores.

No campo de velocidade 3D, Figura 46, a magnitude da recirculação diminuiu, entretanto, não significa que não há recirculação, apenas que apresenta uma menor magnitude do que o mostrado na simulação 2D.

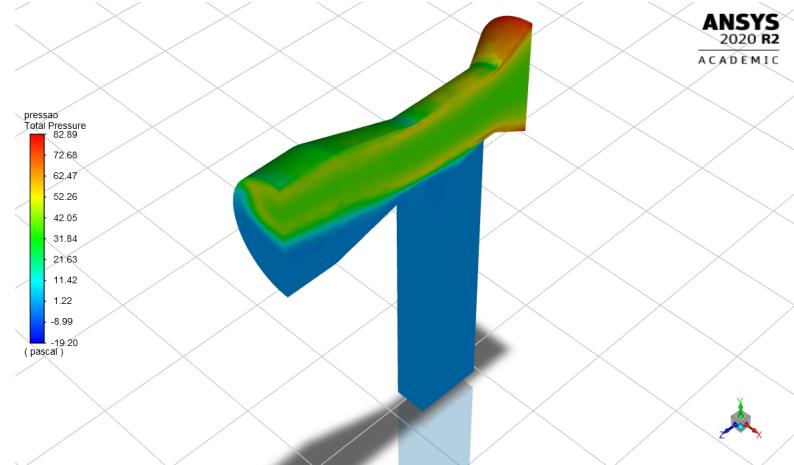


Figura 45 – Campo de Pressão 3D.

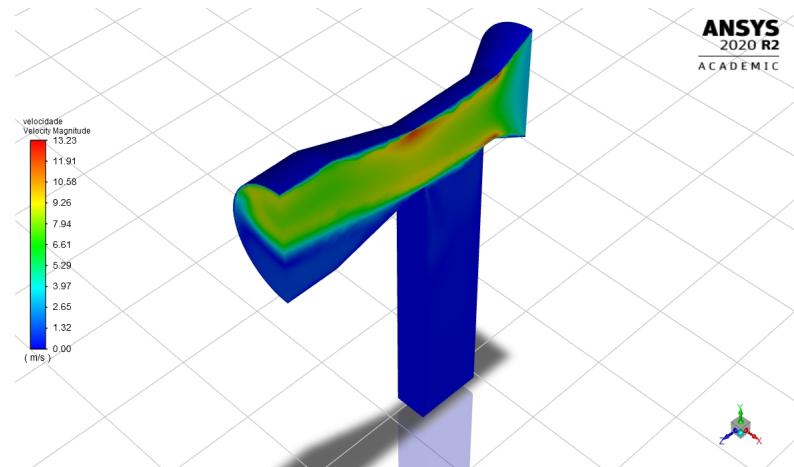


Figura 46 – Campo de Velocidade 3D.

A zona de vorticidade constante, da Figura 47, foi alterada em relação ao 2D, dando a entender que a recirculação apresenta vorticidade baixa. Mas mostra que a região de recirculação é maior do que na 2D, o que restringirá a distribuição dos sensores.

Na Figura 48, 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, de modo que apresentam uma leitura precisa e atualizada do fluido, no caso o ar, a ser examinado.

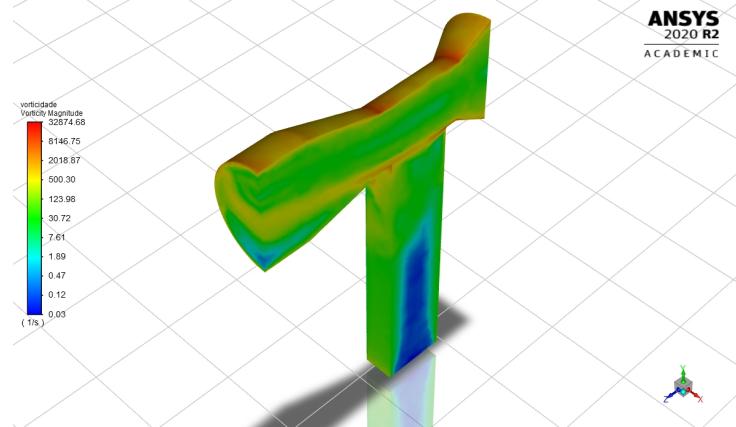


Figura 47 – Campo de Vorticidade 3D.

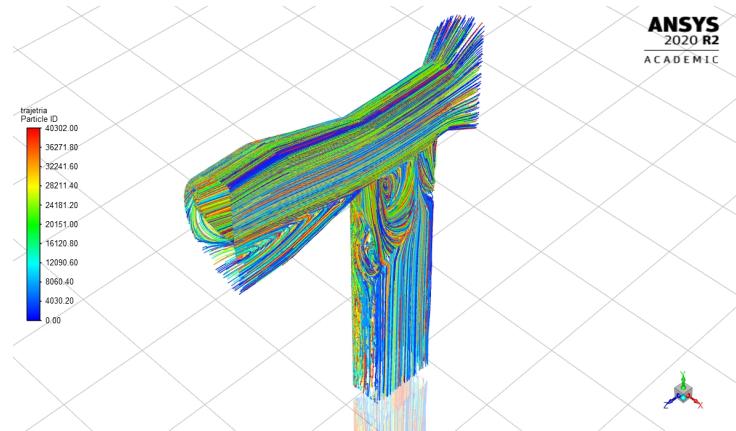


Figura 48 – Linhas de trajetória 3D.

5.5.3.3 Otimização estrutural

5.5.3.3.1 Chapa de suporte do Gabinete

Realizou-se simulações de otimização estrutural buscando analisar possível gasto excessivo de material e sobrecarga em pontos da estrutura. Na primeira simulação foi aplicada uma carga de 80N em cada ponto de apoio do gabinete do sistema, Figura 49.

A Figura 50 demonstra o resultado para aplicação da carga de 80N e embaixo uma carga mais próxima do real. Conforme o esperado tanto pela carga quanto pelo tamanho da peça, ocorreu uma deformação relativamente alta na aplicação da carga elevada, porém nota-se uma distribuição de esforço suave para a aplicação da carga de peso próximo ao do gabinete.

Nota-se que, além da deformação nas extremidades, a parte central tem pouca exigência de esforço e ao aplicar a otimização topológica, Figura 51, resulta-se na extração da parte central.

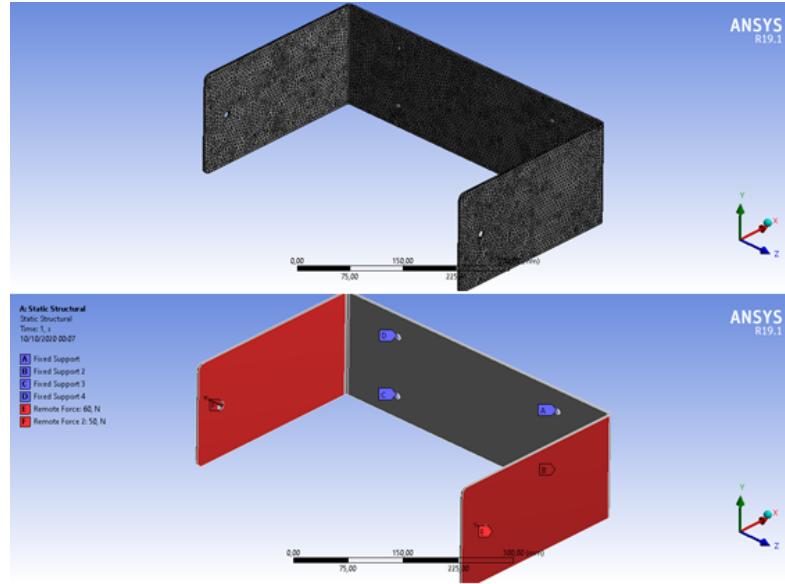


Figura 49 – Estrutura de apoio do gabinete e aplicação de carga.

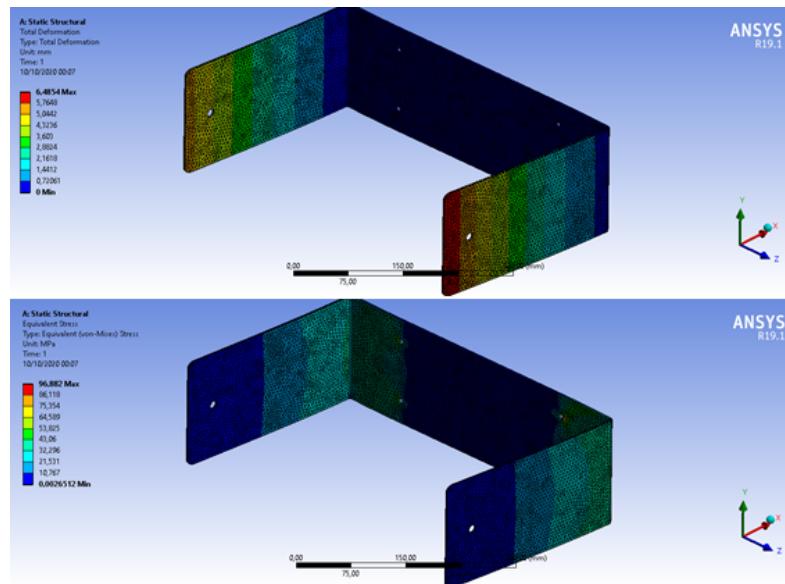


Figura 50 – Resultado das simulações de carga na estrutura.

Observados os resultados, visando diminuir essa flexão da chapa, onde a peça não é solicitada, e reduzir massa, realizou-se uma segunda simulação, em que, para o alívio na região, mudou-se a chapa de 10(3.57mm) para a 9(3.97mm). O design proposto pelo suporte é visualizado na Figura 52, também nessa figura é possível visualizar a reaplicação da carga representativa do gabinete.

O resultado, Figura 53, foi como esperado, a deformação diminuiu, porém não tão significativamente. Deve-se decidir entre aumentar espessura da chapa, mudança de suportes para estilo "mão francesa" ou se mantém as especificações atuais.

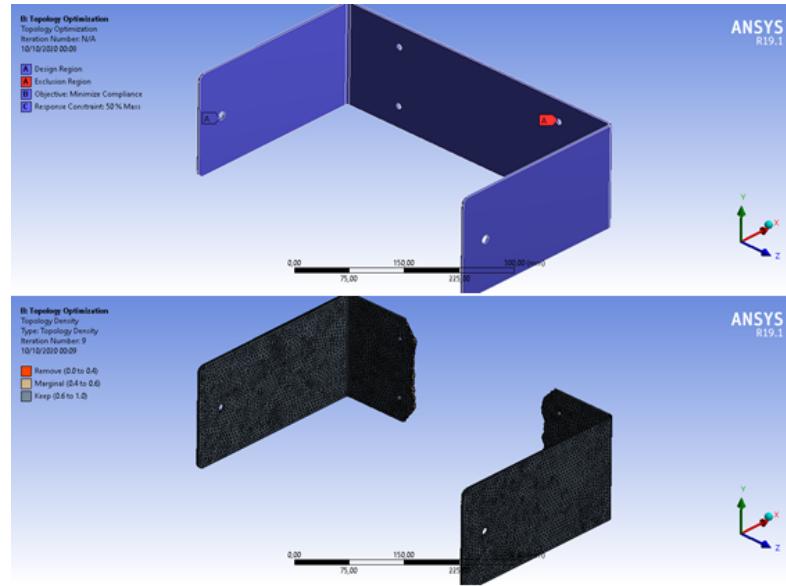


Figura 51 – Otimização da estrutura.

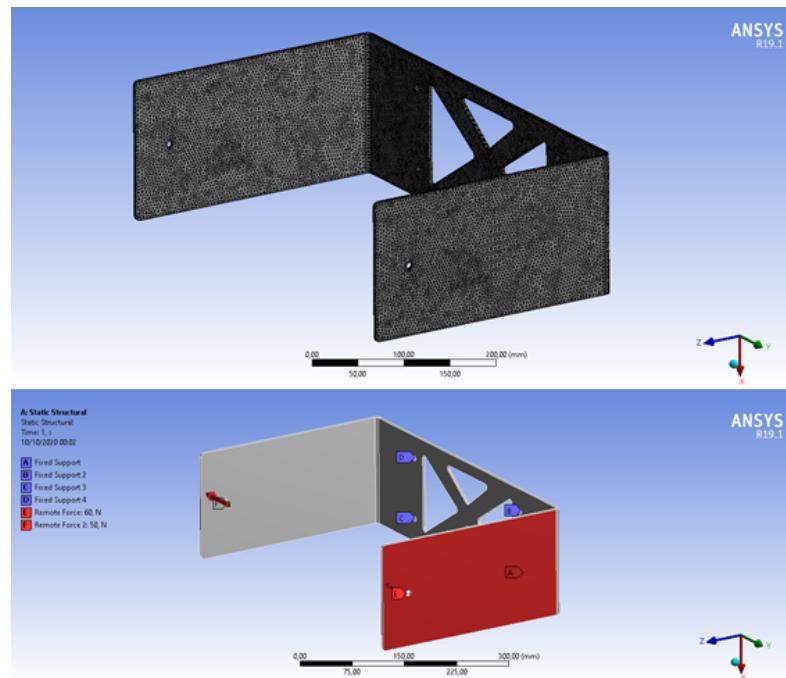


Figura 52 – Estrutura de apoio do gabinete e aplicação de carga para simulação 2.

O último modelo em relação ao primeiro, devido ao aumento da espessura, teve um ganho de massa. Porém essa última chapa depois de aliviada perdeu aproximadamente 550g.

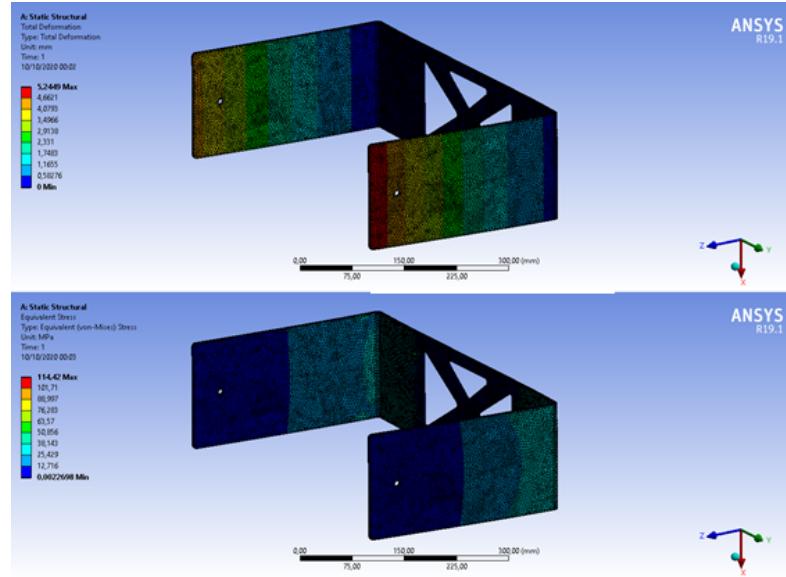


Figura 53 – Resultado das simulações de carga na nova chapa.

5.5.3.3.2 Chapa de suporte do Painel Solar

A Figura 54 apresenta o suporte do Painel solar e os pontos de carga aplicados, 14N em cada. O resultado, Figura 55, demonstra que a concentração de deformação é maior na zona central da chapa, porém essa é baixa. O estresse é concentrada no centro do suporte e no vértice, contudo os valores também são baixos.

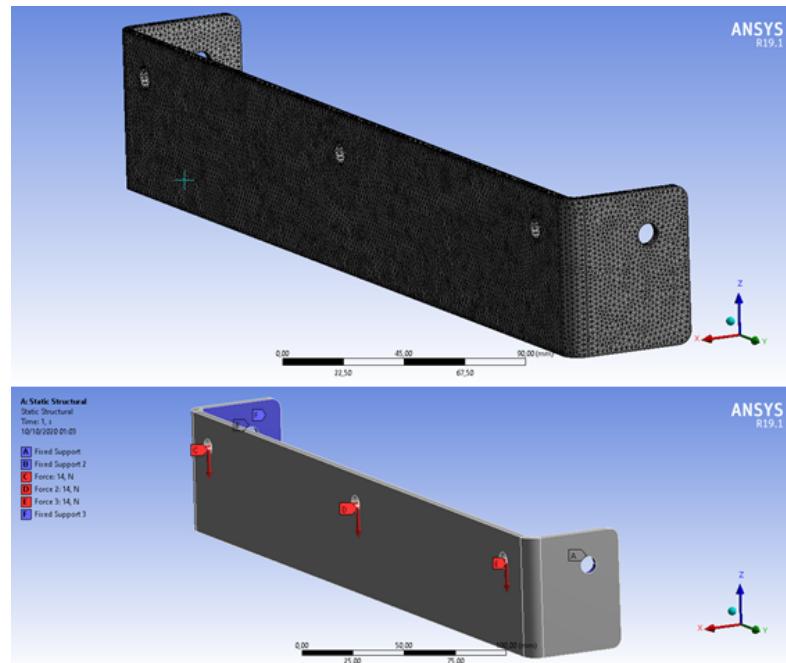


Figura 54 – Estrutura de apoio do gabinete e aplicação de carga.

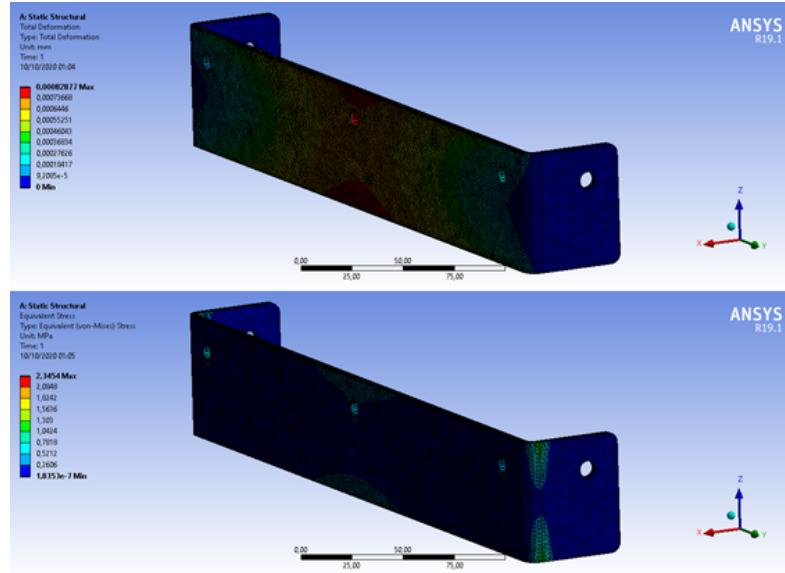


Figura 55 – Resultado de simulação de esforço e estresse.

Com os resultados das simulações coerentes e dentro do esperado, realizou-se a otimização, Figura 56, com o objetivo de redução da quantidade de material utilizado.

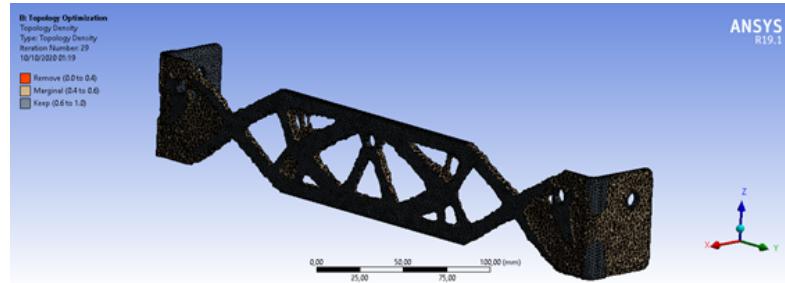


Figura 56 – Resultado da otimização do suporte do painel solar.

Após a otimização, a redução estimada é de 340 gramas.

5.5.3.3.3 Chapa de Suporte

Por fim realizou-se as simulações de esforço e estresse, da placa de suporte, a estrutura e aplicação de carga podem ser visualizadas na Figura 49.

De acordo com os resultados presentes na Figura 58, o dimensionamento da chapa é coerente, logo realizou-se a otimização da chapa.

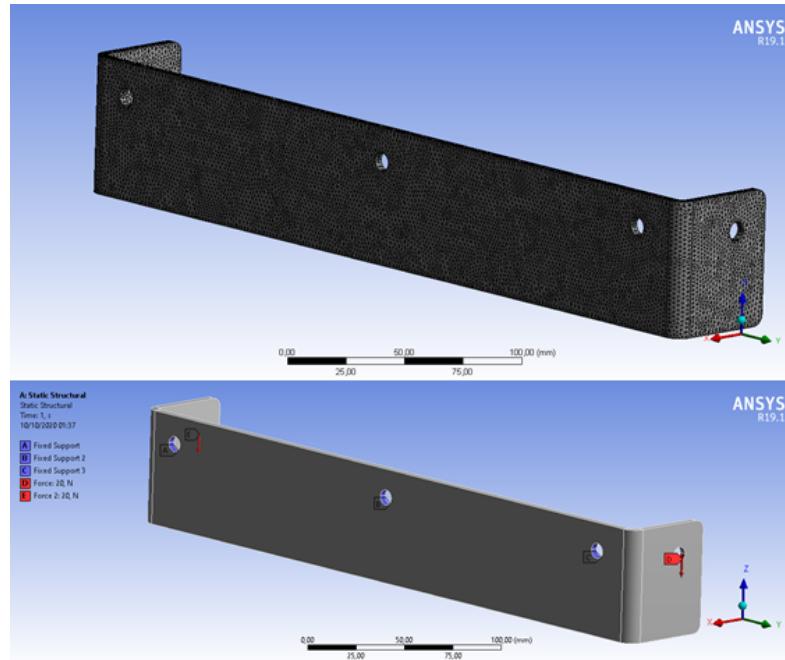


Figura 57 – Estrutura de apoio do gabinete e aplicação de carga.

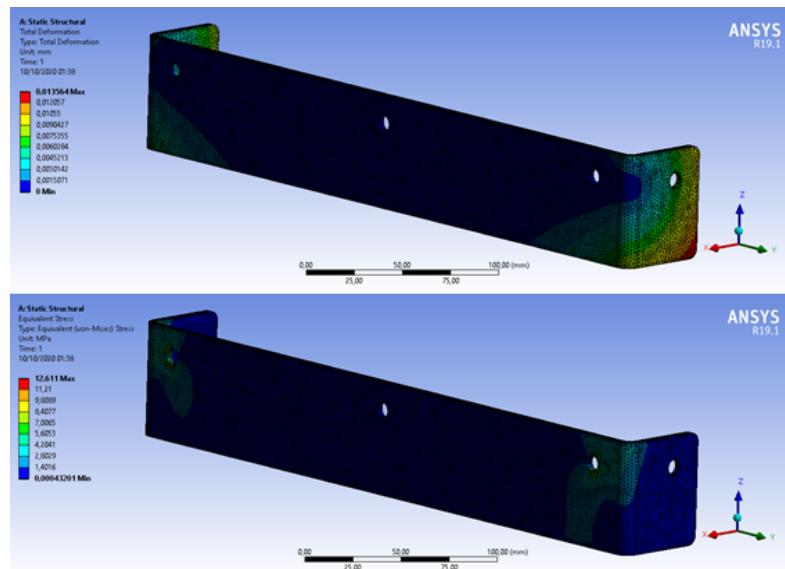


Figura 58 – Resultado de simulação de esforço e estresse.

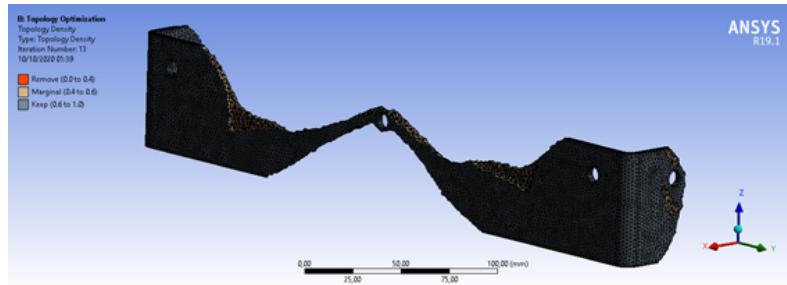


Figura 59 – Resultado de otimização da chapa suporte.

Após a otimização, Figura 59, a redução estimada é de 380 gramas.

5.6 Solução de Software

5.6.1 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 estará disponível para Android e iOS, voltado para a população com problemas respiratórios. Ele será 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 contará com uma *skill* da Alexa, onde o usuário poderá receber informações sobre a qualidade do ar através de perguntas. O Zéfiro precisará ser capaz de responder perguntas utilizando os dados coletados nas estações de monitoramento do ar.

5.6.2 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 60, que fosse minimalista e demonstrasse sobre o que é o projeto.



Figura 60 – Logo Zéfiro

Ao escolher a paleta de cores, Figura 61, foi importante pensar em como as cores seriam enxergadas pelo usuário, de forma a facilitar sua navegação no aplicativo.



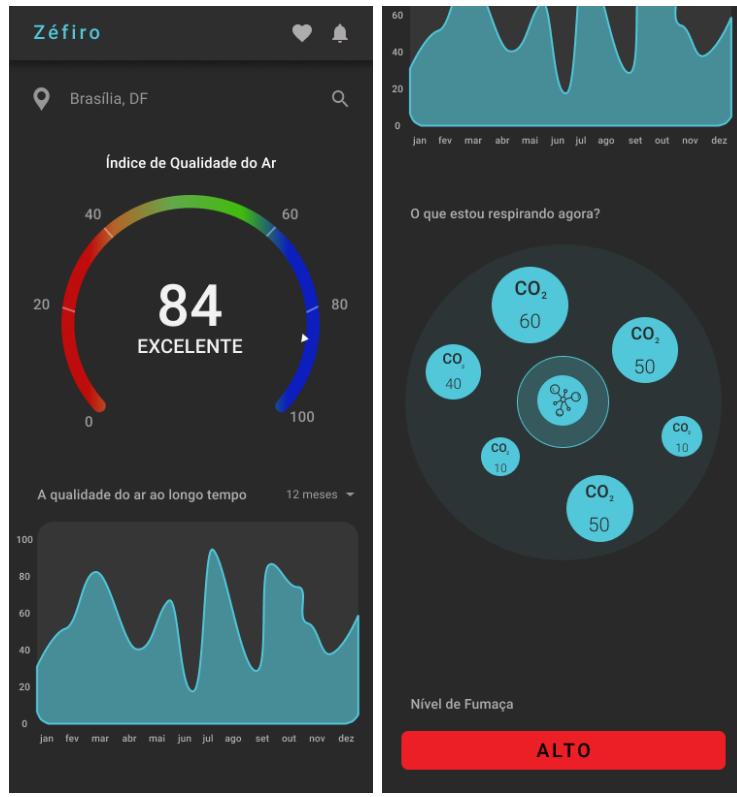
Figura 61 – Paleta de cores Zéfiro

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

5.6.2.1 Protótipo

5.6.2.1.1 Homepage

A Figura 62, demonstra o protótipo de homepage da aplicação.



(a) Início da homepage (b) Fim da homepage

Figura 62 – Tela protótipo Homepage.

onde a Figura 62a 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 62b é a segunda parte da homepage, onde está é possível visualizar o nível de Fumaça e um conjunto de elementos presentes no ar, com seus valores em *ppm*.

5.6.2.1.2 Mapa

A Figura 63 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 63 – Tela protótipo do mapa de estações

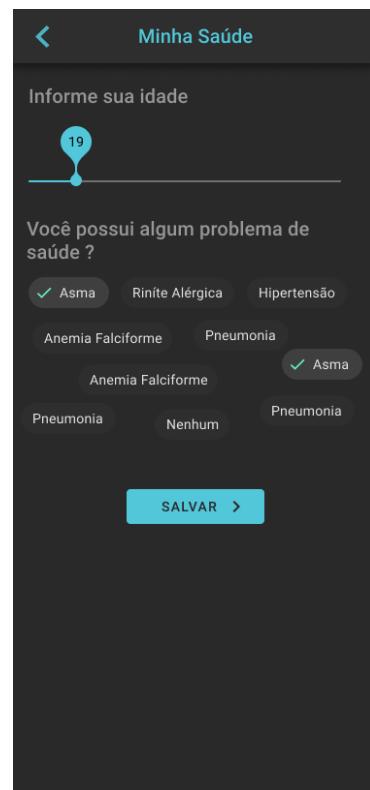


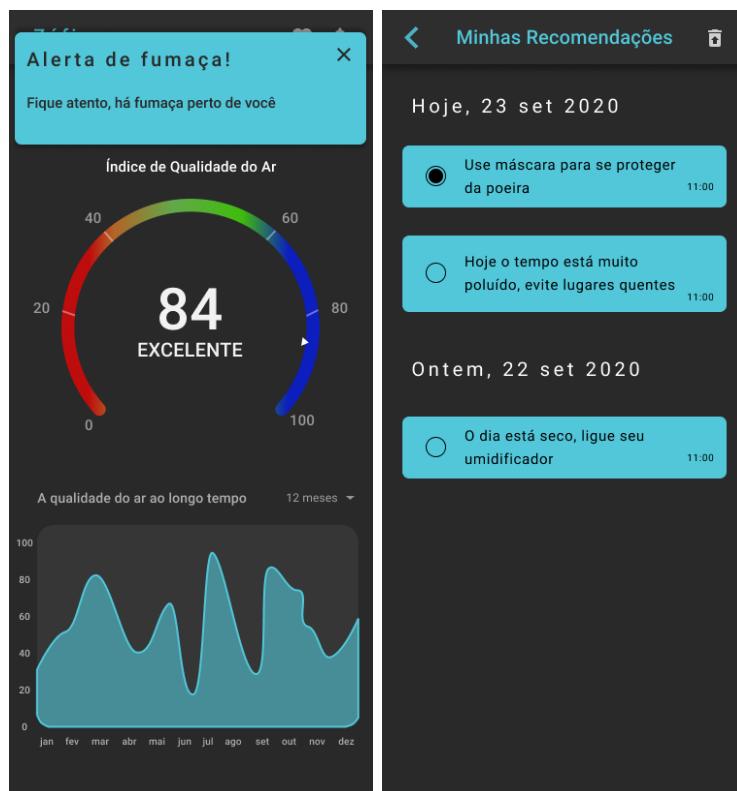
Figura 64 – Tela protótipo de Cadastro de informações personalizadas

5.6.2.1.3 Informações Personalizadas

A tela de cadastro, Figura 64, 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.

5.6.2.1.4 Notificações

A Figura 65, apresenta duas telas da aplicação Zéfiro, a primeira representa uma notificação de alerta de fumaça, já a Figura 65b, 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 65 – Protótipo Notificações.

5.6.3 Arquitetura de Software

O estilo arquitetural de microserviços 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 será criado com base neles. Com isso haverá 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 terão seu próprio repositório, de forma que estes possuam ambiente de desenvolvimento, tecnologias, integração contínua e *deploy* específicos (LEWIS; FOWLER, 2016).

O software Zéfiro será 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.

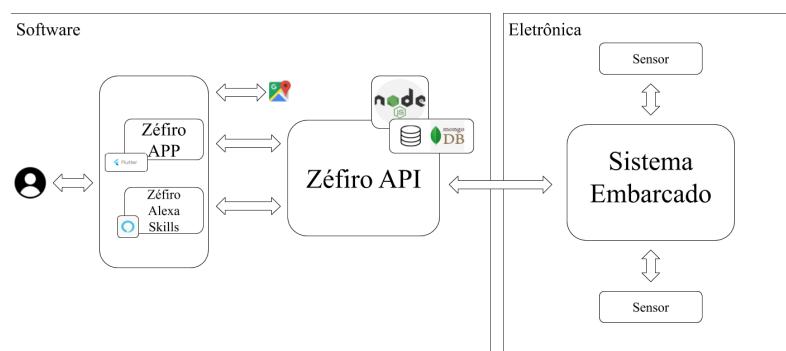


Figura 66 – Diagrama de Relações.

5.6.4 Representação dos Serviços

5.6.4.1 Zéfiro APP

O Zéfiro APP será uma aplicação mobile responsável pelo contato direto com o usuário; esta precisará seguir uma arquitetura da informação bem definida e garantir aces-

sibilidade. 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. Precisa ainda enviar notificação para o usuário e exibir um alerta de fumaças.

5.6.4.2 Zéfiro Alexa Skills

O Zéfiro Alexa Skills será uma aplicação que faz interação com o usuário por meio de comandos de voz. Ela será 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.

5.6.4.3 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 coletadas dos poluentes, para que com isso possa existir a criação de gráficos que serão apresentados ao usuário.

Além do cálculo, as informações de quais elementos químicos estão presentes, suas quantidades e o indicativo de fumaça serão disponibilizados para o usuário. Além disso, o Zéfiro APP precisará fazer o envio de notificações ao usuário sempre que a qualidade do ar estiver baixa.

A última funcionalidade presente neste serviço é a exibição de uma mapa contendo todas as estações de monitoramento do ar e seus respectivos status. Para isso ser feito será necessário o consumo da Google Maps API, de forma que auxilie a criação desse mapa de forma mais segura.

5.6.5 Tecnologias

5.6.5.1 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](#)).

5.6.5.2 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](#)).

5.6.5.3 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](#)).

5.6.5.4 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 será utilizado no desenvolvimento do Zéfiro Alexa Skill, disponibilizando ao usuário uma interface alternativa para uso das funcionalidades do Zéfiro ([AMAZON ALEXA, 2020](#)).

5.6.5.5 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](#)).

5.6.6 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 terá uma versão mobile e uma versão por comando de voz que usarão dados recebidos do Zéfiro API. Este será 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.

5.6.7 Pacotes de Design Significativos do Ponto de Vista da Arquitetura

5.6.7.1 Diagrama de pacotes Zéfiro-APP

A Figura 67 demonstra o diagrama de pacotes do Zéfiro-APP.

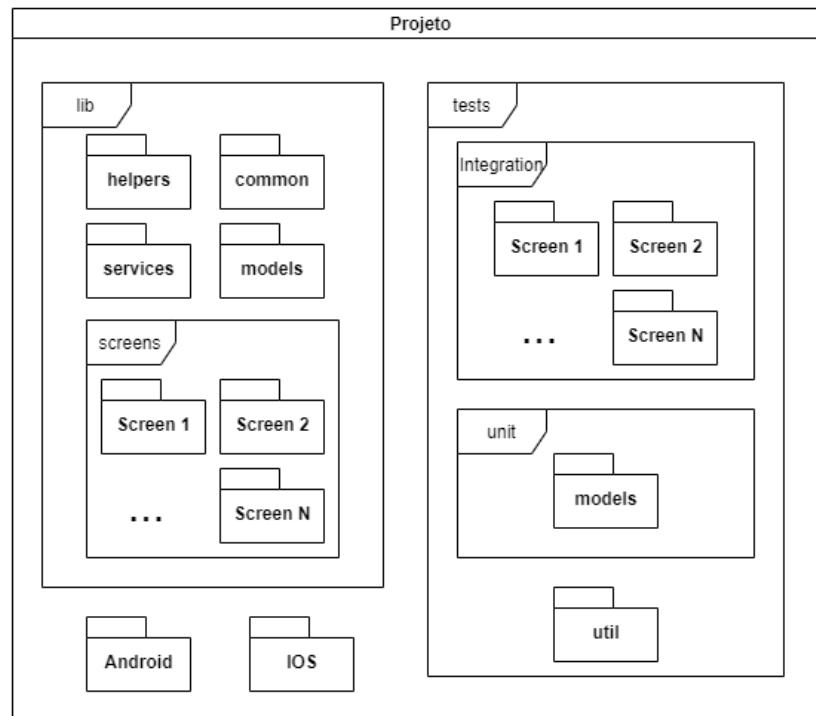


Figura 67 – Diagrama de Pacotes do Zéfiro-APP.

Analizando a figura acima, nota-se, que a organização interna do serviço de front-end será 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.

5.6.8 Diagrama de pacotes Zéfiro-API

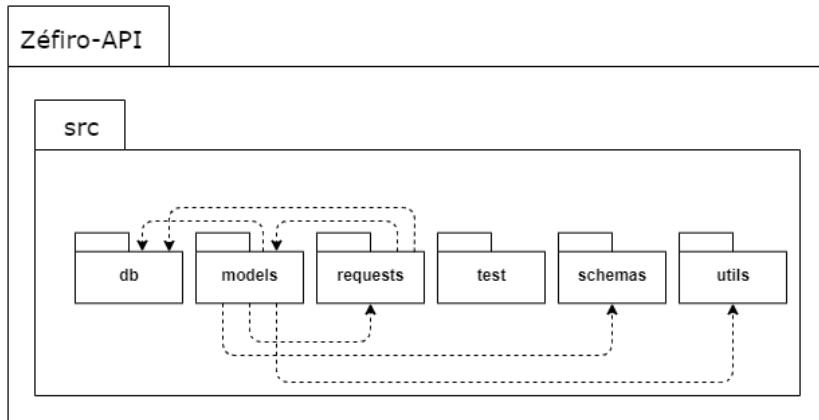


Figura 68 – Diagrama de Pacotes do Zéfiro API.

O serviço de backend Zéfiro-API, Figura 68, será organizado com uma pasta principal, chamada de *src* e outras seis pastas para melhor divisão do código-fonte. O pacote *db* é onde ficarão as conexões com o banco de dados MongoDB; o *models* guardará as classes com seus respectivos métodos; o *requests* terá todas as requisições que o Zéfiro-API precisará fazer para sistemas externos; o *tests* terá os testes unitários feitos no sistema; o *schemas* guardará as tabelas do banco de dados; e, por fim, o *utils* terá todo e qualquer código que auxilie no funcionamento do Zéfiro-API.

5.6.8.1 Diagrama de classes

Para o desenvolvimento do software Zéfiro, será necessário a criação de duas classes, *Station* e *Notification*, diagrama de classes presente na Figura 69. 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*, será responsável por lidar com os três tipos de notificações existentes no software. Ela não terá atributos, pois as informações necessárias para seus métodos serão recebidos tanto da classe *Station* quanto da requisição do Zéfiro-APP.

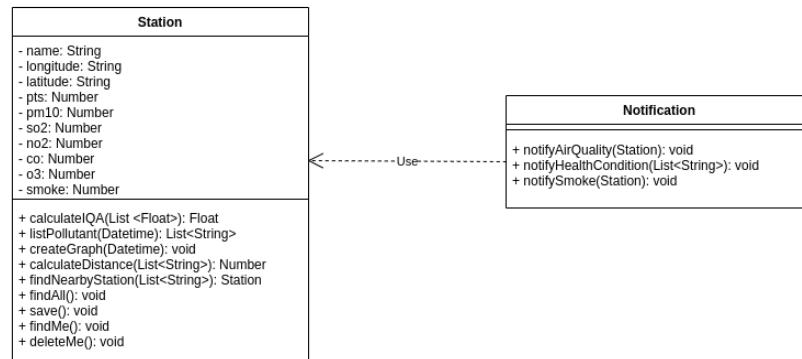


Figura 69 – Diagrama de classes Zéfiro.

5.6.8.2 Diagrama de Sequência

O diagrama da Figura 70 descreve tanto a interação do usuário com o sistema como a interação entre serviços internos e externos. Todas as atividades que deverão 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.

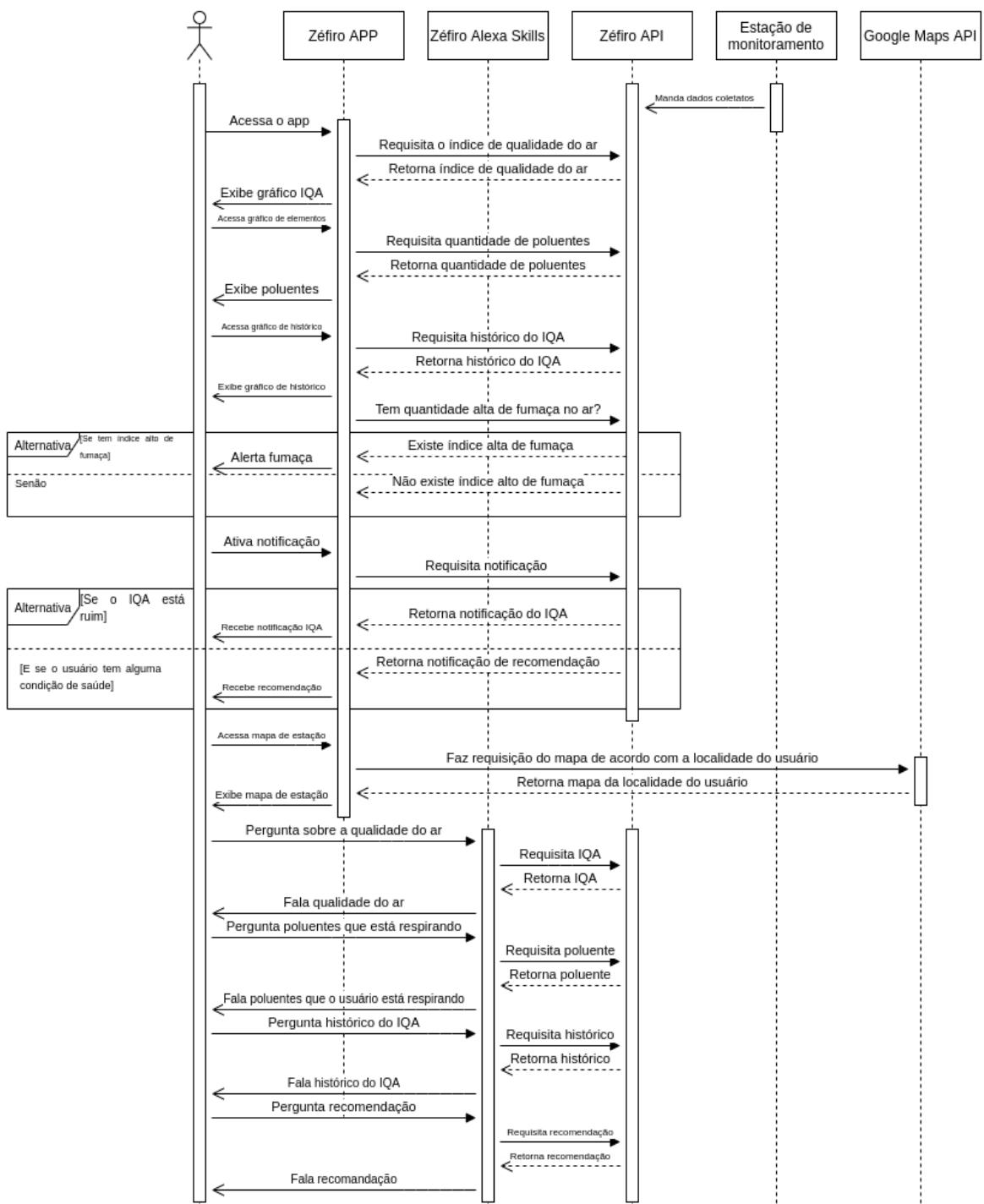


Figura 70 – Diagrama de Sequência.

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 5, resume os benefícios para o cliente e descreve as características que possibilitam o benefício.

Benefício para o Cliente	Recursos de suporte
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 5 – 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

A tabela 6, descreve os custos básicos para o desenvolvimento do produto. Vale ressaltar que os sensores dos gases poluentes são muito específicos e são sujeitos a frete e valor do dólar comercial. O custo básico calculado foi aproximadamente R\$6109.123.

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.

Material	Quantidade	Preço por Unidade
Sensor de umidade, pressão e temperatura	1	R\$ 13.50
Sensor de Material Particulado MP2,5 e MP10	1	R\$ 2144.67
Sensor de fumaça	1	R\$ 15.90
Sensor de Dióxido de Enxofre	1	R\$315.07
Sensor de Monóxido de Nitrogênio	1	R\$315.07
Sensor de Dióxido de Nitrogênio	1	R\$315.07
Sensor de Monóxido de Carbono	1	R\$315.07
Sensor de Ozônio	1	R\$342.70
Painel solas com controlador de carga	1	R\$475.00
Bateria 12V/7Ah	1	R\$ 85.70
Acrílico PPMA para impressora 3D	1,1Kg	R\$ 581/Kg
Poste para tela alambrado Aço Verde 180cm	1	R\$ 224.00
Servomotor MG995 17hs4401	3	R\$ 59.90
Chamada skill da Alexa	1	R\$ 0.053
Digital Ocean	1	R\$ 26.59
Play Store	1	R\$ 132.94
App Store	1	R\$ 531.77
Google Maps	1	R\$ 37.22

Tabela 6 – Tabela de custos básica

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 7 e 8 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 7 – 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 8 – 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 9 – Definição de Grau de Risco

Sendo que:

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

8.1.1 Riscos e suas consequências

8.1.1.1 Riscos de Projeto

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

Figura 71 – Tabela de Riscos de Projeto

8.1.1.2 Riscos de Técnicos

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

Figura 72 – Tabela de Riscos de Técnicos

8.1.1.3 Riscos de Externos

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

Figura 73 – Tabela de Riscos Externos

8.1.1.4 Riscos de Produto

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

Figura 74 – Tabela de Riscos de Produto

8.2 Planejamento de Respostas aos Riscos

Id	Risco(val.)	Ação	Descrição da Ação	Responsável
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	Prevenir	Realizando sempre todos os rituais e incentivando a comunicação por issue	Diretores e Gerente geral
4	15	Prevenir	Validando constantemente com os stakeholders	Diretores e Gerente geral
5	25	Prevenir	Mostrar o propósito de suas ações, trazendo a sensação de responsabilidade.	Equipe toda
6	12	Prevenir	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	Prevenir	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	Prevenir	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	Prevenir	Fazendo uma pesquisa de mercado e avaliando se a solução atende ao problema	Diretores e Gerente geral
16	15	Prevenir	Escrita de manual e guia de instalação	Diretores

Figura 75 – Tabela de 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 11) 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 76 – Cronograma de atividades para o PC1

9.2 Ponto de Controle 2

Sprint		Ponto de Controle 2		
Inicio	Término		Tarefa	Equipe
Sprint 1	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 2	25/09		Esquemático de Condicionamento de Sinais	Elétrica
			Desenvolvimento da Recepção de Dados	Elétrica
			Esquemático da fonte	Elétrica
			Modelagem do banco de dados	Software/Elétrica
			Pré-processamento de Dados Embarcados	Elétrica
			Cálculo Irradiação Solar	Elétrica
			Design Estrutural Avançado	Estrutura
			Protótipo de alta fidelidade	Software
			Manual de identidade Visual	Software
			Definir qualidade do ar	Software
Sprint 3	02/10		Lista de poluentes no ar	Software
			Alexa deve responder questões sobre a qualidade do ar atualmente	Software
			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 4	09/10		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 77 – Cronograma de atividades para o PC2

9.3 Ponto de Controle 3

Sprint		Ponto de Controle 3		
Inicio	Término		Tarefa	Equipe
Sprint 5	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 6	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 7	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 8	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 78 – Cronograma de atividades para o PC3

Referências

ABNT. *NBR 5410 e NBR70c*. 2005. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/jeangaldino/disciplinas/2015.1/instalacoes-eletricas/nbr-5410>>. Acesso em: 06 out. 2020. Citado 3 vezes nas páginas 6, 57 e 59.

ALMEIDA, R. . Energia solar fotovoltaica: Revisão bibliográfica. Fumec, 2016. Citado na página 48.

ALPHASENSE. Alphasense user manual opc-n3 optical particle counter. 2019. Citado na página 39.

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 38.

ALPHASENSE. *AAN 104 - How Electrochemical Gas Sensors Work*. 2020. Disponível em: <http://www.alphasense.com/WEB1213/wp-content/uploads/2013/07/AAN_104.pdf>. Acesso em: 18 set. 2020. Citado na página 34.

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 36.

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 9 e 128.

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 35.

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 9 e 130.

ALPHASENSE. *Technical Specification - NO2-B43F Nitrogen 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 9 e 129.

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 9 e 132.

ALPHASENSE. *Technical Specification - SO2-B4 Sulfur Dioxide Sensor 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 9 e 131.

- AMAZON ALEXA. *O que é Alexa?* 2020. Disponível em: <<https://developer.amazon.com/pt-BR/alexa>>. Acesso em: 10 set. 2020. Citado na página 85.
- 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>. Citado na página 48.
- 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 51 e 53.
- 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 106.
- 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 40.
- CARVALHO. Desenvolvimento de um mecanismo de posicionamento de placas fotovoltaicas para rastreamento solar via raspberry pi. UFPR, 2015. Citado na página 60.
- CDP. *Monitoramento da qualidade do ar*. 2018. Disponível em: <<https://www.cdp.com.br>>. Acesso em: 29 set. 2020. Citado na página 17.
- CELLS, C. P. Gl5528 datasheet, disponível em:< https://img.filipeflop.com/files/download/datasheet_ldr.pdf>. Acesso em, v. 4, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 42.
- CETESB. *Histórico*. 2019. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/historico>>. Acesso em: 1 set. 2020. Citado na página 16.
- CIMM. *Definição - O que é Material particulado*. 2020. Disponível em: <<https://www.cimm.com.br/portal/verbetes/exibir/709-material-particulado>>. Citado na página 17.
- 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 119.
- 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 119.
- CORTEZ, R. J. M. *Sistema de Seguimento Solar em Produção de Energia Fotovoltaica*. 2013. Citado na página 42.
- CRESESB. *Base de Dados de radiação solar incidente (irradiação solar)*. 2020. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 06 out. 2020. Citado na página 52.
- 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 85.

- ECYCLE. *Dióxido de nitrogênio? Conheça o NO₂*. 2020. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/2393-no2-dioxido-de-nitrogenio>>. Acesso em: 27 set. 2020. Citado na página 18.
- ECYCLE. *Os perigos do material particulado*. 2020. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/1379-material-particulado>>. Citado na página 17.
- ECYCLE. *Ozônio: o que é?* 2020. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/2026-ozonio.html>>. Acesso em: 27 set. 2020. Citado na página 18.
- ECYCLE. *Óxidos de nitrogênio: o que são os NO_x e quais seus impactos*. 2020. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/3052-oxidos-de-nitrogenio>>. Acesso em: 27 set. 2020. Citado na página 18.
- 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 18.
- GAZOLI, V. . Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. Érica, São Paulo, 2012. Citado na página 49.
- 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 83.
- 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 33.
- GOOGLE. *APIs de geolocalização. Google Maps Platform*. 2020. Disponível em: <<https://cloud.google.com/maps-platform>>. Acesso em: 10 set. 2020. Citado na página 85.
- JACKSON, C. Micro frontends. Da <https://martinfowler.com/articles/micro-frontends.html>, 2019. Citado na página 82.
- 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 85.
- LEWIS, J.; FOWLER, M. *Microserviços em poucas palavras*. 2016. Disponível em: <<https://www.thoughtworks.com/pt/insights/blog/microservices-nutshell>>. Acesso em: 10 set. 2020. Citado na página 83.
- LIMA, G. B. *Física, 3^a série: ensino médio*. [S.l.]: Editora Educacional, 2012. Citado na página 48.
- 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 118.
- LOPES, T. s. A. e. a. Influência das condições metereológicas da cidade de natal-rn na dispersão de poluentes armósfericos. *IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental e III Fórum Americano de Engenharia e Sustentabilidade*, 2017. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br.s3-us-west-1.amazonaws.com/engineeringproceedings/xveneeamb/111.pdf>>. Citado na página 31.

MDN WEB DOCS. *Introdução Express/Node*. 2020. Disponível em: <https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Learn/Server-side/Express_Nodejs>. Acesso em: 10 set. 2020. Citado na página 85.

MEDEIROS, I. Sistema de controle rastreável para painéis fotovoltaicos: Protótipo. UFRN, 2016. Citado na página 59.

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 50.

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 21.

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 17.

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 19.

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 2 vezes nas páginas 17 e 106.

ONU. *A ONU e o meio ambiente*. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>>. Acesso em: 8 set. 2020. Citado na página 16.

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 17.

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 19.

PEREIRA. Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica. *Publindústria*, Porto, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 49 e 50.

PROGRAMME, U. N. E.; ORGANIZATION, W. H. Envioronmental healt criteria 13 - carbon monoxide. *International Programme on Chemical Safety*, 1979. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc013.html>>. Citado na página 18.

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 95.

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 17.

SAÚDE, S. de Vigilância em. 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 120.

SCRUM GUIDES. *The Scrum Guide.* 2018. Disponível em: <<https://www.scrumguides.org/scrum-guide.html>>. Acesso em: 4 set. 2020. Citado na página 98.

SILVA, B. A. F. da. *Sistema de Monitorização Ambiental Urbana com Redes de Sensores Sem Fios.* 2019. Citado 3 vezes nas páginas 35, 36 e 38.

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 54.

VEJA. *Alexa, da Amazon, deve manter liderança no mercado de assistentes pessoais.* 2020. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/tecnologia/alexanda-amazon-deve-manter-lideranca-no-mercado-de-assistentes-pessoais/>>. Acesso em: 11 set. 2020. Citado na página 119.

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 118.

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 senso-riamento 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 10, 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 10 – 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 11, 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 11 – 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)

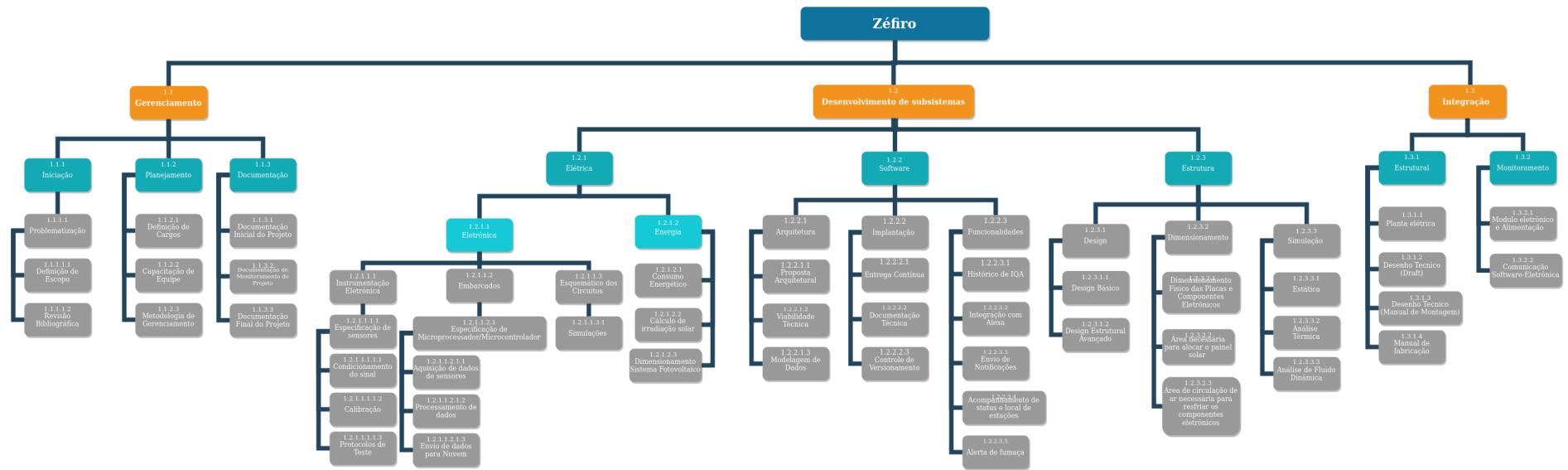


Figura 79 – Organograma da EAP.

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 12 – 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 80 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.

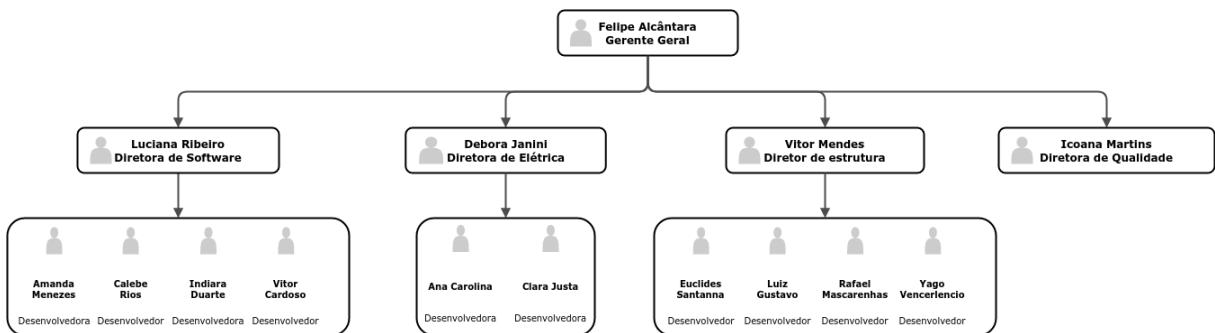


Figura 80 – Organograma da Distribuição de papéis da equipe.

D.2 Práticas Ágeis

Essas práticas são formas de conduzir a equipe para alcançar melhores resultados, dentre 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 13, 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.

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

Tabela 13 – 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 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.

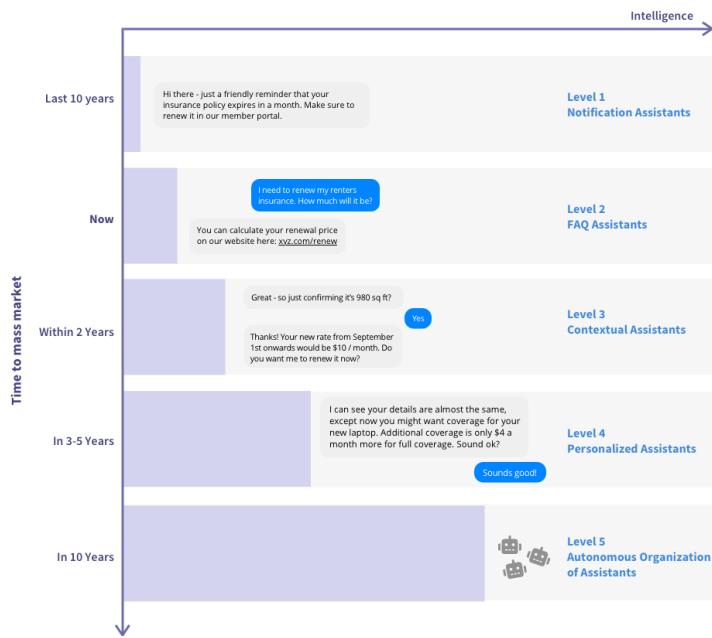


Figura 81 – Imagem de Weidauer (2018)

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 ([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.

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

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

2. Histórias de Usuário - Zéfiro APP (frontend)

- 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.

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 – Avaliação Interna

Estação de Monitoramento de Qualidade do Ar					
Ponto de Controle 2					
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	7,5	9	6,825	Faltei 4 reuniões e não participei da confecção do diagrama unifilar do sistema energético
Clara Fonseca da Justa	14/0018409	8	9	7,28	Atraso em entrega e atraso em uma reunião
Débora Janini Campos Guedes	15/0008619	7,5	9	6,825	Atrasei entrega e parte do texto devido a situação pessoal ruim
Felipe Lima Alcântara (diretor geral)	16/0027918	8	10	8	Atraso em 3 entregas
Icoana Laís Leitão Mascarenhas Martins (diretora de qualidade)	12/0120518	8	9	7,28	Atraso na entrega do dimensionamento da bateria
/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	9	10	9	Atraso na entrega
Luiz Gustavo Santos Alberto	16/0153239	10	9	9,1	Tive uns problemas no ansys e não consegui entregar tudo que eu queria
Rafael Mascarenhas dos Santos	15/0020589	9,5	10	9,5	Fiquei de luto na última sprint.
Yago Vencerlêncio de Oliveira	13/0138100	9	9,5	8,595	Atraso na entrega - análise térmica
Euclides Santanna	15/0034270	9,5	10	9,5	
Grupo Técnico de Software (Eng. Software)					
Nome Completo	Matrícula	Pontualidade Entregas	Avaliação de Entregas	Desempenho	Observações
Amanda Emilly Muniz de Menezes	15/0116136	9	10	9	Fui improdutiva em uma das sprints por causa de problemas pessoais
Calebe Rios de Sousa Mendes	15/0120702	9	10	9	
Indiara Duarte da Silva	14/0022325	9	10	9	
Luciana Ribeiro Lins de Albuquerque	15/0016131	9	10	9	
Vitor Cardoso Xoteslem	15/0023375	9	9	8,19	

Figura 82 – Autoavaliação da equipe PC1.

APÊNDICE H – Diagrama Geral do Sistema Elétrico

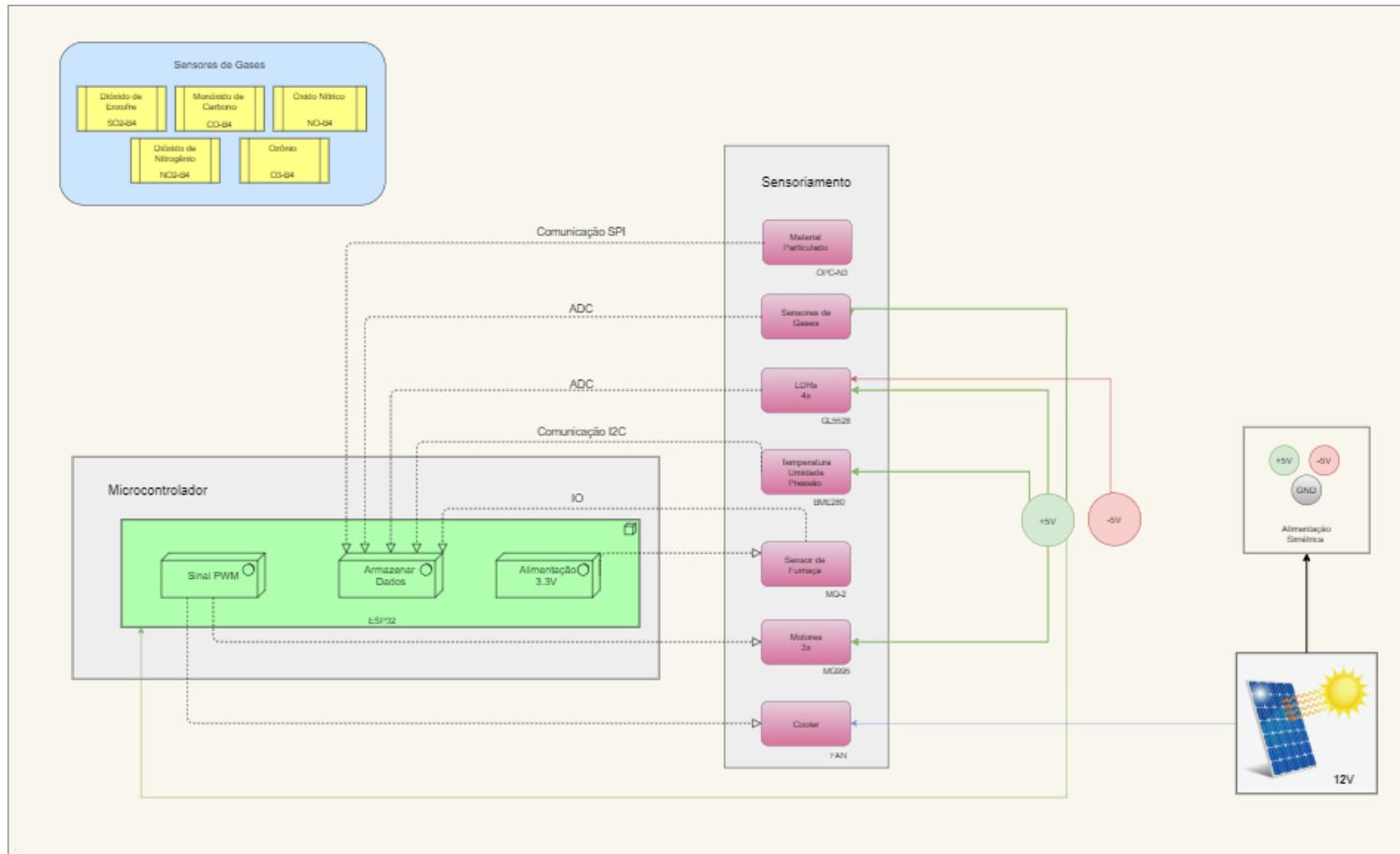


Figura 83 – Diagrama Geral do Sistema Elétrico.

APÊNDICE I – Esquemático Geral do Sistema Elétrico

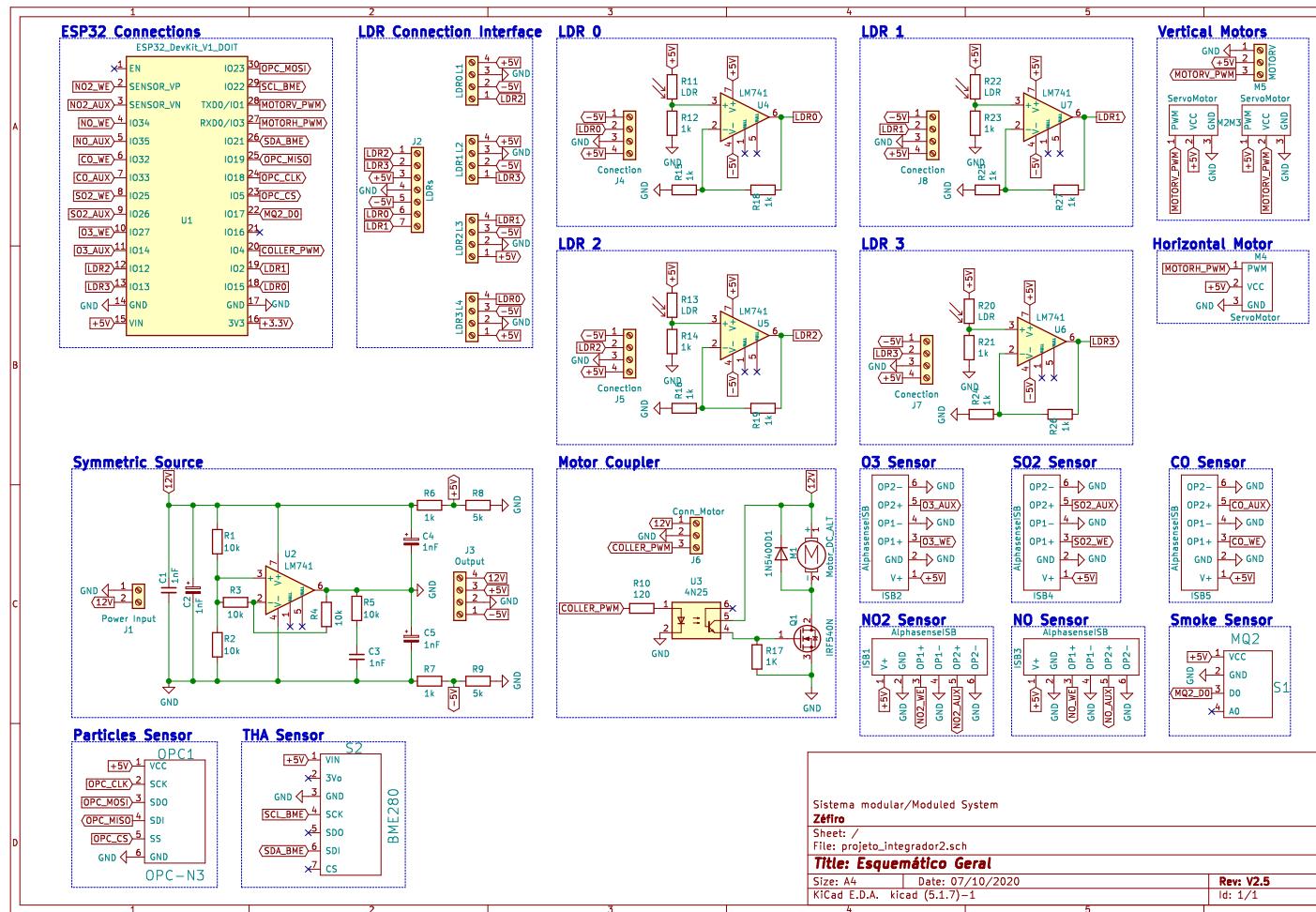


Figura 84 – Esquemático Geral do Sistema Elétrico.

Anexos

ANEXO A – Características técnicas dos sensores da Alphasense

Sensibilidade Cruzada		
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
Especificações Chave		
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 14 – Tabela das características técnicas do sensor CO-B4([ALPHASENSE, 2020c](#))

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

Sensibilidade Cruzada		
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
Especificações Chave		
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 16 – Tabela das características técnicas do sensor NO-B4([ALPHASENSE, 2020e](#))

Sensibilidade Cruzada		
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
Especificações Chave		
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 17 – Tabela das características técnicas do sensor SO2-B4([ALPHASENSE, 2020h](#))

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

ANEXO B – Circuito ISB

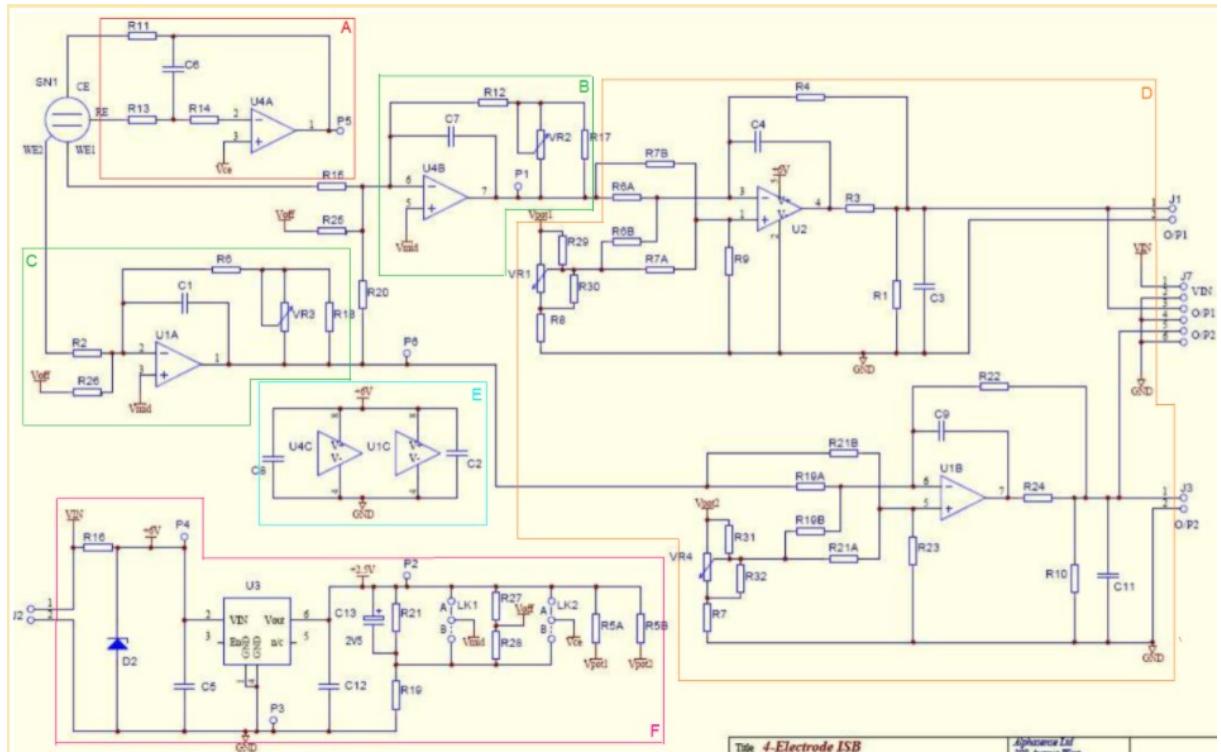


Figura 85 – Circuito Placa ISB

ANEXO C – ESP32 Pinout

DOIT ESP32 DEVKIT V1 PINOUT

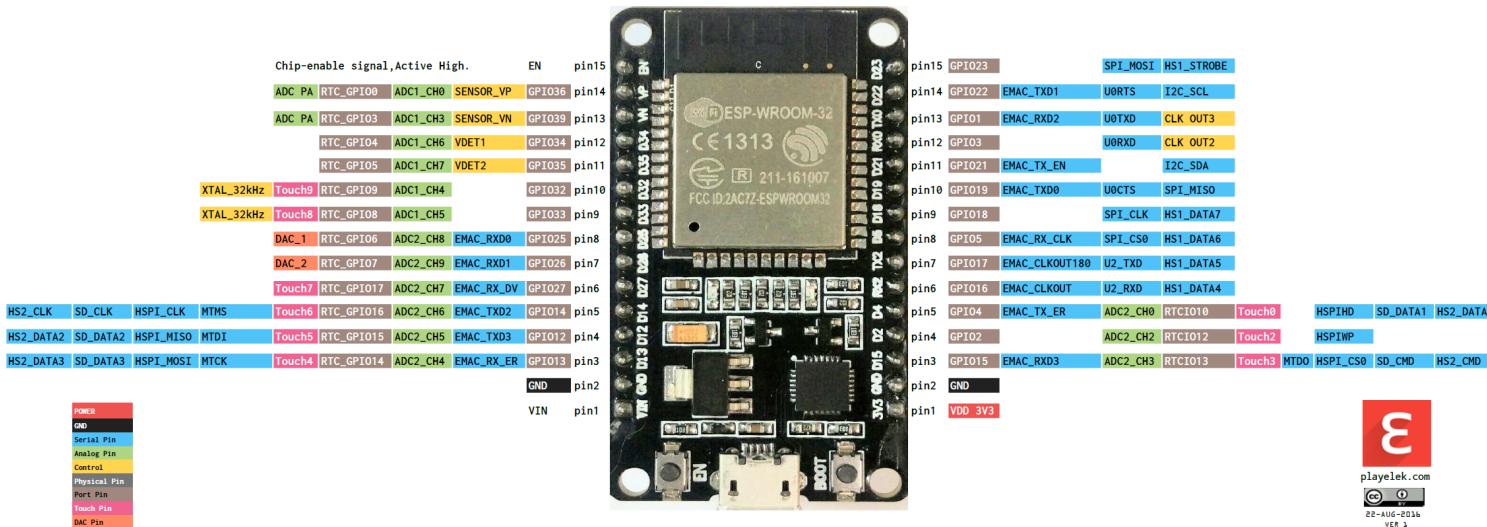


Figura 86 – Disposição de Pinos ESP32 DevKit V1.