



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
IFCE *campus* FORTALEZA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
TELECOMUNICAÇÕES

FRANCISCO WELLINGTON RODRIGUES DE MELO JÚNIOR

SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO DE PARÂMETROS EM
AMBIENTE DE CARCINICULTURA

FORTALEZA
2022

FRANCISCO WELLINGTON RODRIGUES DE MELO JÚNIOR

SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO DE PARÂMETROS EM
AMBIENTE DE CARCINICULTURA

Dissertação submetida à Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – Campus Fortaleza, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Telecomunicações.

Área de concentração: Sistemas de Comunicações

Orientador: Prof. Dr. José Wally
Mendonça Menezes

FORTALEZA

2022



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
IFCE *campus* FORTALEZA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
TELECOMUNICAÇÕES

FRANCISCO WELLINGTON RODRIGUES DE MELO JÚNIOR

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Telecomunicações, sendo aprovada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará e pela banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. José Wally Mendonça
Menezes
Instituto Federal do Ceará - IFCE

Prof. Dr. Daniel Xavier Gouveia
Instituto Federal do Ceará - IFCE

Prof. Dr. Joel José Puga Coelho Rodrigues
Faculdade Senac Ceará

Fortaleza, 21 de Setembro de 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M528s Melo Junior, Francisco Wellington Rodrigues de.
 Sistema Automatizado para Monitoramento De Parâmetros em Ambiente de Carcinicultura /
FranciscoWellington Rodrigues De Melo Junior. - 2022.
 129 f. : il.
- Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Engenharia de Telecomunicações,
Campus Fortaleza, 2022.
 Orientação: Prof. Dr. José Wally Mendonça Menezes.
1. GSM. 2. Automação. 3. Microcontrolador. 4. Sensores. 5. Carnicicultura. I. Título.
- CDD 621.382
-



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
Av. 13 de maio, 2081 , - Bairro Benfica - CEP 60040-531 - Fortaleza - CE - www.ifce.edu.br

ATA

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

Ata de defesa do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Telecomunicações, do Curso de Mestrado Acadêmico em Engenharia de Telecomunicações (PPGET), ofertado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE, apresentado e defendido pelo mestrando **FRANCISCO WELLINGTON RODRIGUES DE MELO JÚNIOR**.

No dia 21 de setembro de 2022, às 19 horas, na Reitoria do IFCE, foi realizada a defesa de dissertação do mestrando **FRANCISCO WELLINGTON RODRIGUES DE MELO JÚNIOR** sob o título: "SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO DE PARÂMETROS EM AMBIENTE DE CARCINICULTURA". Obedecendo ao disposto no Regulamento do PPGET, a Banca Examinadora foi constituída pelos seguintes professores: **Prof. Dr. José Wally Mendonça Menezes** - Orientador (PPGET/IFCE), **Prof. Dr. Daniel Xavier Gouveia** (PPGET/IFCE), **Prof. Dr. Joel José Puga Coelho Rodrigues** (Faculdade Senac Ceará).

O professor orientador apresentou o mestrando e os membros da Banca Examinadora bem como explicitou a dinâmica da defesa. Em continuidade, o presidente cedeu a palavra ao mestrando para expor seu trabalho de pesquisa. Uma vez concluída a exposição pelo mestrando, a Banca Examinadora procedeu às avaliações, sendo assegurado ao mestrando o direito de resposta ou de esclarecimento. Continuando o processo, a Banca Examinadora reuniu-se privativamente para emitir o parecer e, sequencialmente, informou ao mestrando que a sua dissertação foi considerada:

(x) aprovada

() reprovada

A Banca Examinadora indicou, ainda, ajustes e procedimentos necessários para a consolidação da pesquisa. Seguir as recomendações dos membros da banca.

Nada mais havendo a tratar, o presidente da Banca Examinadora lavrou esta Ata de Exame de defesa que, após assinada pelos seus membros, será encaminhada à Coordenação do PPGET/IFCE para registro acadêmico na documentação do mestrando.

Orientador **Prof. Dr. José Wally Mendonça Menezes**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Prof. Dr. Daniel Xavier Gouveia

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Prof. Dr. Joel José Puga Coelho Rodrigues

Faculdade Senac Ceará

Mestrando Francisco Wellington Rodrigues de Melo Júnior

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE



Documento assinado eletronicamente por **Joel José Puga Coelho Rodrigues, Usuário Externo**, em 06/11/2022, às 10:41, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jose Wally Mendonca Menezes, Reitor**, em 28/11/2022, às 13:06, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Xavier Gouveia, Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 12/12/2022, às 10:00, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade do documento pode ser conferida no site https://sei.ifce.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 informando o código verificador **4285838** e o código CRC **F96A9D10**.

À Deus, que nos criou e foi criativo nessa tarefa. Seu fôlego de vida em mim me foi sustento e me deu coragem para seguir adiante. Aos meus pais Wellington e Suely por todo carinho e apoio incondicionais.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus que iluminou meu caminho durante essa caminhada proporcionando planos sempre maiores que os meus sonhos. Aos meus pais, Wellington e Suely, pelo incentivo e amor incondicional, a minha noiva Thaysa por fazer meus dias mais felizes e completos, por toda alegria e companheirismo, obrigado por tudo, amo você.

Agradeço a minha cunhada Thayane, minha madrinha Ariza e minha amiga Luciana Elen por todo apoio, motivação, encorajamento e torcida. E aos demais familiares por todo carinho, afeto, paciência, conselhos e ensinamentos.

Agradeço a todos os professores e colegas que conviveram comigo durante toda a minha trajetória acadêmica contribuindo com todo conhecimento por mim adquirido, e em especial ao meu orientador, Professor Dr. Wally Mendonça, por aceitar me instruir e colaborar na elaboração deste trabalho.

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, *campus* Fortaleza, por toda infraestrutura oferecida ao longo dos últimos anos. Em específico, sou grato ao Grupo de Desenvolvimento em Sistemas de Telecomunicações e Sistemas Embarcados – GDESTE, por todo o suporte oferecido além das amizades estabelecidas.

“Eu prefiro ter perguntas que não podem ser respondidas a ter respostas que não podem ser questionadas.”

(Richard Feynman)

RESUMO

Os pequenos e médios produtores de carcinicultura enfrentam dificuldades em medir precisamente os principais parâmetros da água, como temperatura, pH e oxigênio dissolvido, além da carência de *feedback* preciso e em tempo real quando ocorre variações na rede elétrica. Pensando em atender á estas necessidades, foi idealizado neste estudo o desenvolvimento de um sistema embarcado para monitoramento de parâmetros da água, como temperatura e pH, além de tensões da rede elétrica. Capaz de promover algumas tecnologias para automação apoiadas pelo uso do módulo GSM SIM800L e do microcontrolador ATMEGA328P, esses componentes desempenham tarefas distintas, interagindo e enviando dados correspondentes aos parâmetros de qualidade da rede elétrica e da água dos viveiros de camarão, que são coletados pelo microcontrolador por intermédio de sensores e posteriormente enviados para a plataforma *ThingSpeak*, além de serem recebidos via mensagem de texto por uma aplicação Android que facilita o uso do sistema para o produtor. No decorrer do processo de validação do protótipo, foram identificados obstáculos acerca de limitações de memória e indisponibilidade do sensor de medição do oxigênio dissolvido. De modo geral, o sistema titulado por SendMS apresentou bons resultados, caracterizando-se como eficiente no monitoramento dos parâmetros desejados, e no envio de informações, utilizando-se da tecnologia GSM.

Palavras-chaves: GSM, Automação, Microcontrolador, Sensores, Carcinicultura.

ABSTRACT

Small and medium shrimp farmers face difficulties in accurately measuring the main parameters of water, such as temperature, pH and dissolved oxygen, in addition to the lack of accurate and real-time feedback when variations in the electrical network occur. Thinking about meeting these needs, it was idealized in this study the development of an embedded system for monitoring water parameters, such as temperature and pH, in addition to voltages from the electrical network. Capable of promoting some technologies for automation supported by the use of the GSM module SIM800L and the microcontroller ATMEGA328P, these components perform different tasks, interacting and sending data corresponding to the quality parameters of the electrical network and water of the shrimp ponds, which are collected by the microcontroller. through sensors and later sent to the ThingSpeak platform, in addition to being received via text message by an Android application that facilitates the use of the system for the producer. During the prototype validation process, obstacles were identified regarding memory limitations and unavailability of the dissolved oxygen measurement sensor. In general, the system called SendMS presented good results, being characterized as efficient in monitoring the desired parameters, and in sending information, using GSM technology.

Keywords: GSM, Automation, Microcontroller, Sensors, Shrimp farming.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - <i>Ranking</i> dos municípios com maior produção de camarões	23
Figura 2 - Anatomia do camarão	27
Figura 3 - Aerador de viveiro	30
Figura 4 - ATMEGA328P	31
Figura 5 - Módulo GSM/GPRS SIM800L	32
Figura 6 - Na sequência: Arduino UNO, DUE, MEGA e NANO	34
Figura 7 - Capacitores	36
Figura 8 - Simulação de resistores no Isis Proteus	38
Figura 9 - Tipos de diodos	39
Figura 10 - Modelos de transistores	40
Figura 11 - Transformador de tensão	41
Figura 12 - Representação esquemática do relé	42
Figura 13 - Sensor de temperatura	43
Figura 14 - Sensor PH-4502C e sonda	44
Figura 15 - Plataforma EasyEDA	44
Figura 16 - Plataforma <i>online ThingSpeak</i>	45
Figura 17 - Plataforma Kodular	46
Figura 18 - Processo de busca, filtragem e seleção de trabalhos	47
Figura 19 - Processo metodológico	55
Figura 20 - Diagrama de blocos do protótipo SendMS	56
Figura 21 - <i>Layout</i> conceitual do sistema	57
Figura 22 - Esquema elétrico da placa principal do SendMS	58
Figura 23 - Fonte chaveada	59
Figura 24 - Microcontrolador ATMEGA328P	60
Figura 25 - Módulo AMP OP	61
Figura 26 - Sonda pH	62
Figura 27 - Sensor de temperatura NTC 10K	63
Figura 28 - Circuito elétrico no módulo AC	64

Figura 29 – Divisor de tensão.....	65
Figura 30 – Circuito de proteção	66
Figura 31 – Representação geral do regulador de diodo zener.....	66
Figura 32 – Relé	68
Figura 33 – Esquema elétrico do MA.....	69
Figura 34 – Módulo SIM800L	70
Figura 35 – Especificações do SIM800L.....	70
Figura 36 – Bancada de teste.....	71
Figura 37 – Simulação do sistema em <i>protoboard</i>	72
Figura 38 – Placa PCI não roteada.....	73
Figura 39 – Roteamento da placa PCI/PCB.....	74
Figura 40 – Geração do Gerber.....	75
Figura 41 – Placa de circuito impresso (PCI)	76
Figura 42 – Representação do sistema com seus respectivos acessórios	77
Figura 43 – Ferramentas utilizadas na montagem.....	80
Figura 44 – Placa principal pós-montagem.....	81
Figura 45 – Caixa patola PB170.....	82
Figura 46 – Protótipo final	83
Figura 47 – IDE Arduino.....	84
Figura 48 – Tela inicial Kodular	85
Figura 49 – Blocos lógicos da aplicação SendMS.....	86
Figura 50 – Verificação do protótipo	87
Figura 51 – Localização do viveiro utilizado para testes em campo	88
Figura 52 – Detalhes da placa principal.....	90
Figura 53 – Comparação de resultados da tensão entre aplicação e multímetro	91
Figura 54 – Resolução do problema encontrado nos trimpots.....	92
Figura 55 – Placa <i>touch screen</i>	95
Figura 56 – Tela inicial do protótipo.....	95
Figura 57 – Fluxograma de menus do <i>firmware</i> versão 1.0.....	96
Figura 58 – Percentuais de memória RAM e ROM.....	97
Figura 59 – Percentuais de memória RAM e ROM após refatoração de funções.....	98
Figura 60 – Diagrama de blocos do <i>firmware</i>	99
Figura 61 – Fluxograma de funcionamento do aplicativo.....	101
Figura 62 – Telas do aplicativo SendMS	102

Figura 63 - Inserção de dados no aplicativo	103
Figura 64 - Exibição da aplicação conforme estados do sistema	104
Figura 65 - Resposta do sistema conforme queda de tensão	106
Figura 66 - Resposta do sistema conforme alteração nos parâmetros	107
Figura 67 - Viveiro utilizado nos testes em campo.....	111
Figura 68 - Configurações iniciais para uso do sistema	112
Figura 69 - Bateria CB078.....	112
Figura 70 - Protótipo do sistema instalado em viveiro.....	113
Figura 71 - Alerta exibido no aplicativo	114

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Análise do consumo de corrente do SIM800L.....	93
Gráfico 2 - Análise do consumo de todo sistema SendMS	94
Gráfico 3 - Percentual de consumo de memória das versões do <i>firmware</i>	100
Gráfico 4 - Acompanhamento de variações comuns da fase 1	108
Gráfico 5 - Acompanhamento de variações simuladas da fase 2	108
Gráfico 6 - Acompanhamento de variações simuladas da fase 3	109
Gráfico 7 - Acompanhamento de variações simuladas de temperatura.....	109
Gráfico 8 - Acompanhamento de medições em solução de pH	110
Gráfico 9 - Falha na segunda fase registrada pelo <i>ThingSpeak</i>	115
Gráfico 10 - Primeira fase mensurada da rede elétrica.....	115
Gráfico 11 - Terceira fase mensurada da rede elétrica.....	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações de alguns parâmetros da água na carcinicultura.....	28
Tabela 2 - Comandos AT para SIM800L.....	33
Tabela 3 - Critérios de inclusão e exclusão de artigos.....	47
Tabela 4 - Resultado de execução da <i>string</i> de busca nas bases definidas.....	48
Tabela 5 - Comparativo entre trabalhos correlatos	52
Tabela 6 - Dados do ATMEGA328P	60
Tabela 7 - Dados do sensor de pH	62
Tabela 8 - Características do sensor de temperatura	63
Tabela 9 - Custo da placa principal.....	77
Tabela 10 - Custo dos componentes externos	78
Tabela 11 - Consumo de corrente do SIM800L conforme manual	93
Tabela 12 - Informações acerca das funções refatoradas do sistema	98
Tabela 13 - <i>Strings</i> utilizadas na aplicação	101
Tabela 14 - Resultado da aplicação dos critérios de seleção nos artigos	127

LISTA DE ACRÔNIMOS

AC - *Alternating Current.*

ADC - *Digital Analog Converter.*

AMP - Amplificador.

APN - *Access Point Name.*

ARM - *Advanced RISC Machine.*

CI - Circuito integrado.

CMOS - *Complementary metal oxide semiconductor.*

DC - *Direct Current.*

DDP - Diferença de potencial elétrico.

EEPROM - *Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*

ETSI - *European Telecommunications Standards Institute.*

EUA - *United States of America.*

GDESTE – Grupo de Desenvolvimento em Sistemas de Telecomunicações e Sistemas Embarcados.

GPRS - *General Packet Radio Service.*

GSM - *Global System for Mobile.*

HTTP - *Hypertext Transfer Protocol.*

IDE - *Integrated Development Environment.*

IHM - Interação Homem Máquina.

I/O - *Input/Output.*

IFCE - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia.

IoT - *Internet of Things.*

IP - *Internet Protocol.*

I2C - *Inter Integrated Circuit.*

LCD - *Liquid Crystal Display.*

LED - *Light Emitting Diode.*

LDR - *Light Dependent Resistor*

MA - Módulo de Automação.

MAC - Módulo AC.

MATLAB - *Matrix Laboratory.*

MCU - *Micro Controller Unit.*

MG - Módulo GSM.

MIT - *Massachusetts Institute of Technology.*

MP - Módulo de proteção.

NA - Normalmente Aberto.

NF - Normalmente Fechado.

OP - Operacional.

PCB - *Printed Circuit Board.*

PCI - Placa de Circuito Impresso.

pH - Potencial Hidrogeniônico.

PPGET - Programa de Pós Graduação em Engenharia de Telecomunicações.

PWM - *Pulse Width Modulation.*

QFP - *Quad Flat Package.*

RAM - *Random access memory.*

RISC - *Reduced Instruction Set Computer.*

SMA - *SubMiniature version A.*

SMS - *Short Message Service.*

SPI - *Serial Peripheral Interface.*

TBJ - Transistor Bipolar de Junção.

TC - Transformadores de Corrente.

TCP - *Transmission Control Protocol.*

TP - Transformadores de Potência.

USART - *Universal Synchronous and Assynchronous Recive Transmitter.*

Wi-Fi - *Wireless Fidelity.*

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	22
1.1 – Motivação e objetivos	24
1.1.1 – Objetivo Geral	24
1.1.2 – Objetivos Específicos	25
1.2 – Organização da Dissertação	25
2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	26
2.1 - Carcinicultura	26
2.1.1 – Camarão	26
2.1.2 – Parâmetros da qualidade da água	28
Temperatura	28
pH	29
Oxigênio dissolvido	29
2.1.3 – Aeradores	29
2.2 - Tecnologias	30
2.2.1 – ATMEGA328P	30
2.2.2 – Módulo GSM/GPRS (SIM800L)	31
2.2.3 – Comandos AT	32
2.2.4 – Arduino	33
2.3 – Componentes	34
2.3.1 – Capacitores	35
2.3.2 – Resistores	36
2.3.3 – Diodos	38
2.3.4 – Transistores	39
2.3.5 – Transformadores	41
2.3.6 – Relés	42
2.3.7 – Sensor de temperatura NTC 10K	42
2.3.8 – Sensor de pH modelo PH-4502C	43
2.4 – Plataforma de desenvolvimento EasyEDA	44

2.5 – Plataforma de <i>ThingSpeak</i>	45
2.6 – Plataforma Kodular	45
2.7 – Revisão bibliográfica da literatura.....	46
2.7.1 - Metodologia de busca, filtragem e seleção de trabalhos	46
2.7.2 – Trabalhos relacionados.....	49
2.7.3 - Comparação entre os trabalhos correlatos	52
3 – MATERIAS E MÉTODOS	55
3.1 – Planejamento	55
3.1.1 – Arquitetura do protótipo.....	56
3.1.2 – Arquitetura do sistema.....	57
3.1.3 – Esquema elétrico	58
3.1.4 – Módulos do sistema	59
Fonte DC	59
MCU	59
Sensores	61
Módulo AC (MAC)	63
Módulo de proteção (MP)	65
Módulo de automação (MA)	68
Módulo GSM (SIM800L).....	69
3.2 – Experimentação	71
3.2.1 – Local de prototipação.....	71
3.2.2 – Simulação do sistema.....	72
3.3 – Construção	73
3.3.1 - Desenvolvimento da placa de circuito impresso (PCI).....	73
3.3.2 – Montagem dos componentes eletrônicos.....	79
3.3.3 – Desenvolvimento do <i>firmware</i>	83
3.3.4 – Desenvolvimento do aplicativo	84
3.4 – Validação	86
3.4.1 – Verificação do protótipo	86
3.4.2 – Testes em laboratório e campo	87
4 – RESULTADOS.....	89
4.1 – O <i>Hardware</i>	89
4.2 – O <i>Firmware</i>	94
4.3 – O Aplicativo SendMS	100

4.4 - Testes realizados em laboratório.....	104
4.5 - Testes realizados em campo.....	110
5 - CONCLUSÃO	117
5.1 - Considerações finais.....	117
5.2 - Trabalhos futuros	118
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
APÊNDICE A- APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO	127

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Constantemente surgem pelos meios de comunicação e mídia sociais notícias acerca dos avanços tecnológicos em uma variedade de áreas, que abrangem atividades cotidianas das pessoas até o âmbito profissional. Tais tecnologias passaram a ganhar notoriedade desde que a automação residencial e empresarial se consolidou. Já nas esferas rurais o objetivo é o mesmo: atuar como facilitadoras das rotinas e tarefas graças à automatização dos processos destes agronegócios, tendo como destaque os meios agropecuários e da carcinicultura.

Segundo Gruber (2010), várias tecnologias vêm recentemente fornecendo mecanismos iniciantes que são capazes de integrar os sistemas tecnológicos ao monitoramento e obtenção de dados de forma remota, além de fornecerem respaldo para o aprendizado e aprimoramento de experimentações à distância. Dong *et al.* (2015), reforça que há um verdadeiro manifesto de novas tecnologias voltadas ao monitoramento da qualidade da água, sendo necessário, de acordo com Banna *et al.* (2014), investir em pesquisas e na concepção de soluções remotas de custo acessível empregadas a sensores voltados a aferir parâmetros de qualidade da água.

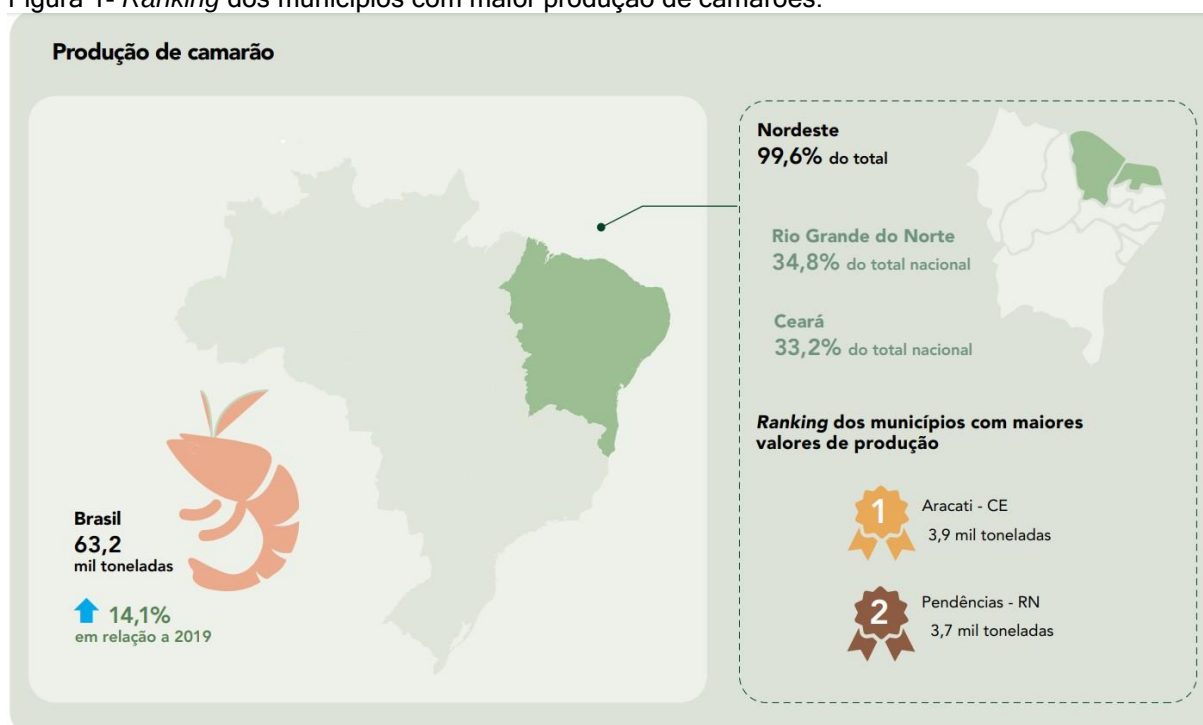
Carcinicultura ou carcinocultura são termos designados à arte produtiva de criar camarões, considerado uma das modalidades presentes na aquicultura que por sua vez envolve toda criação de organismos que residem em ambiente aquático. Como em todo processo de produção, para criação de camarões recomenda-se o controle de qualidade desde aspectos ambientais até a qualidade da concepção desses crustáceos, também se inclui nesse controle o monitoramento da qualidade da água que geralmente se dá por meio de coleta manual de amostras e medição direta é um deles (SEBRAE, 2018).

A automação do monitoramento da água, de acordo com De Brito *et al.* (2017) é uma tecnologia extremamente considerável para uma produção mais proveitosa e lucrativa. Na aquicultura (aquicultura) tais evoluções proporcionam a supervisão de aspectos físico-químicos relevantes ao desenvolvimento eficaz de camarões, como,

por exemplo, o monitoramento de parâmetros presentes na água como níveis de pH, temperatura e oxigênio. Com este controle automatizado é possível o alcance e a melhoria da qualidade deste sistema de cultivo à carcinicultura (DE ÁVILA *et al.*, 2021).

Segundo o IBGE (2020) os cenários regionais que concentram maior crescimento na arte de criação de camarões onde origina o termo carcinicultura se localizam na região nordeste, resultando na liderança desta atividade os estados do Rio Grande do Norte e Ceará que totalizam um percentual de 34,8% e 33,2 % do volume total nacional, respectivamente. Os municípios de Aracati (Ceará) e Pendências (Rio Grande do Norte) são destaque no *ranking* de produção, como mostrado na Figura 1 abaixo.

Figura 1- *Ranking* dos municípios com maior produção de camarões.



Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Pesquisa da Pecuária Municipal (2020).

Dentre os ramos agropecuário e agrícola, certamente a carcinicultura se destaca como o ofício de maior nível de complexidade, tanto em caráter de produção: qualidade, controle de perdas, nutrição dentre outros, até condições externas como regularização e mercado (ROCHA *et al.*, 2020).

Os pequenos e médios produtores de carcinicultura enfrentam dificuldades em medir precisamente os principais parâmetros da água, como temperatura, pH e

oxigênio dissolvido, além da carência de *feedback* preciso e em tempo real quando ocorre variações na rede elétrica trifásica, que podem ocasionar falhas no funcionamento dos aeradores, que são dispositivos necessários para prover a oxigenação da água, podendo ocasionar perdas na produção do crustáceo caso ocorra a falta de energia. Pensando em atender á estas necessidades, foi idealizado neste estudo um sistema para monitoramento destes fatores, levando em consideração que o ambiente onde estes viveiros se localizam, longe de cidades e com escassez de redes Wi-Fi, foi optado pelo uso da tecnologia *Global System for Mobile* (GSM).

Através de pesquisas conduzidas pela literatura (ver seção 2.7) foi possível observar a existência de poucos estudos relacionados à automação na aquicultura, principalmente considerando a área da carcinicultura. Deste modo, é reforçada a necessidade e relevância desta pesquisa, a fim de contribuir, não somente com a literatura, mas diretamente para com o pequeno e médio produtor, proporcionando-lhe um estudo e projeto que otimizem a demanda de criação desses crustáceos, através do monitoramento de alguns parâmetros relevantes a qualidade da água e variações da rede elétrica, obtido por meio da tecnologia e automação.

Neste trabalho o foco é aplicar os conceitos de internet das coisas (IoT) em um determinado contexto. A aplicação, inicialmente simulada em *protoboard*, compõe um sistema que é idealizado em uma placa PCI, com o propósito de estabelecer uma comunicação mútua sem fio com *hardware* e *software*.

1.1 Motivação e objetivos

A possibilidade de proporcionar aos pequenos e médios produtores de camarão o acesso à tecnologia de monitoramento, proporcionando a melhoria do trato e produção de camarões em viveiros, automatizando o processo de medição de parâmetros da água e rede elétrica, a fim de evitar erros humanos que podem contribuir para a incidência de morte dos crustáceos.

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema embarcado capaz de promover algumas tecnologias

para automação apoiadas pelo uso do módulo GSM SIM800L e do microcontrolador ATMEGA328P. Estes componentes desempenham tarefas distintas, o primeiro, por sua vez, é responsável por interagir com a rede GSM enviando os dados correspondentes aos parâmetros de qualidade da rede elétrica e da água dos viveiros de camarão, tais parâmetros são coletados pelo microcontrolador ATMEGA328P por intermédio de sensores e posteriormente enviados para a plataforma *ThingSpeak*.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver aplicativo Android para facilitar o envio de mensagens;
- Desenvolver *hardware* capaz de monitorar por meio de sensores a qualidade da água, cargas e oscilações na rede elétrica;
- Automatizar chaveamento de circuito para os dispositivos utilizados na carcinicultura;
- Exibir informações dos dispositivos ao usuário por meio de interface WEB e Mobile;
- Ligar e monitorar dispositivos remotamente usando a rede GSM.

1.2 Organização da Dissertação

Capítulo 2: Nesta seção será apresentada a fundamentação teórica e os trabalhos correlatos a partir de artigos e dissertações que abordam sistemas para monitoramento da água que fazem uso de tecnologias, incluindo a GSM nestes projetos.

Capítulo 3: Nesta seção será detalhada a metodologia dos materiais utilizados com a apresentação da arquitetura de *hardware* e *software*, além da descrição dos locais de testes e todo custo de desenvolvimento do protótipo construído.

Capítulo 4: Nesta seção são mostrados os resultados obtidos por meios dos testes realizados, tanto em laboratório quanto em campo.

Capítulo 5: Nesta seção será apresentada a conclusão deste trabalho realizado, além de sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O estudo aborda diversos conceitos chave para o entendimento das tecnologias aqui tratadas, bem como da área em que atuarão. Deste modo, este capítulo fornece uma breve explanação desses conceitos com o objetivo de propiciar uma análise mais concisa do objeto e foco da pesquisa.

2.1 Carcinicultura

A Carcinicultura, que em epítome significa criação de camarões, teve seu início em território brasileiro nos anos de 1972 e 1974, e é considerada uma das mais novas atividades no Brasil desenvolvidas no setor agropecuário, que apesar de seu curto tempo de existência conta com uma maior difusão de tecnologias em relação às demais atividades tradicionais da agropecuária, pouco a pouco a carcinicultura foi alcançando maiores palcos em solo brasileiro, fazendo do Brasil o maior exportador desse crustáceo para EUA e União Européia nos anos de 2003 e 2004 respectivamente (JÚNIOR; NETO, 2020).

Com o passar do tempo houve uma forte tendência de expansão da prática de carcinicultura entre as regiões tropicais do planeta, destacando-se por seu público de micro, pequeno e médio produtor, concedendo palco para geração de conhecimento, além de perspectivas tecnológicas que levam ao paradigma do cultivo do camarão, assim como ao desenvolvimento sustentável desta prática no cenário produtivo brasileiro (TAHIM; DAMACENO; ARAÚJO, 2019).

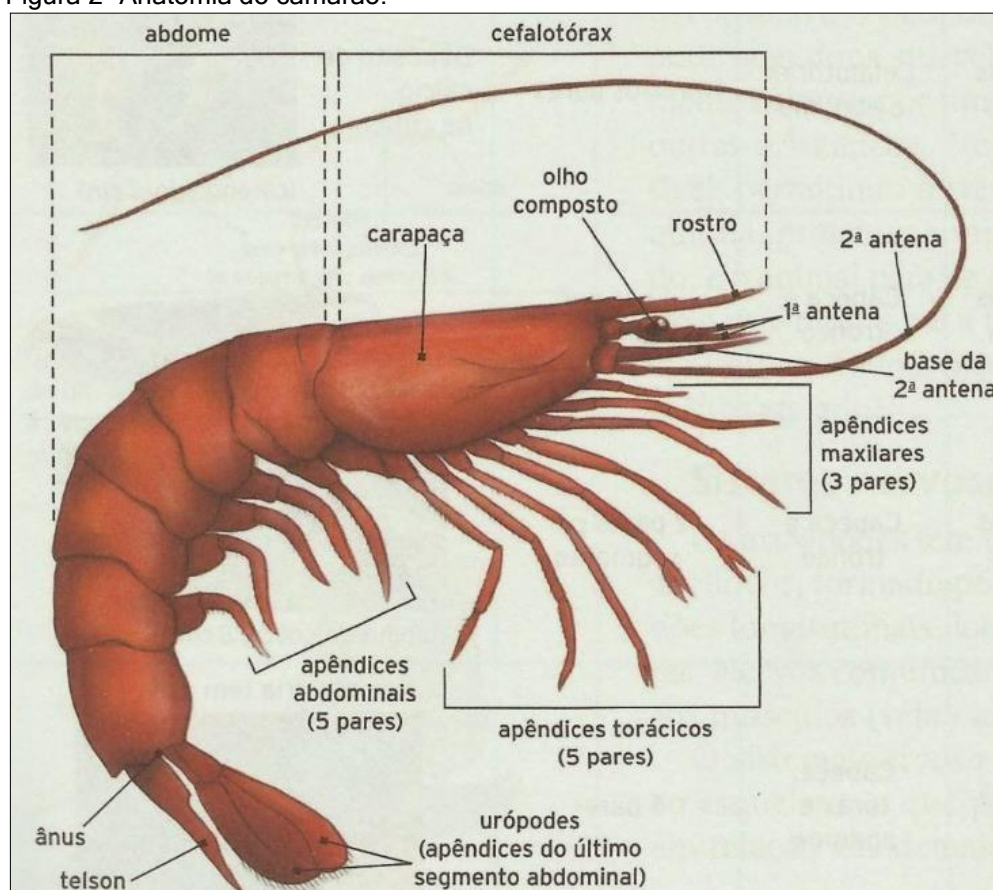
2.1.1 Camarão

Os camarões são considerados animais pertencentes ao filo dos artrópodes. Trata-se de um tipo de crustáceo cujo grupo de organismos é comedido de mais de 2.500 espécies, onde se agrupam não somente linhagens para consumo humano,

como também demais categorias com potencial valor comercial. Esta espécie crustácea utilizada para fins comerciais através da pesca e da carcinicultura se origina de oito famílias divididas entre dois grupos: peneídeos e carídeos, sendo grande parte de origem marinha (OSTRENSKY *et al.*, 2017). No Brasil, o camarão branco do pacífico ou patas brancas como é conhecido, titulado por *Litopenaeus vannamei* ganha destaque por suas características adaptativas à variadas condições de cultivo, além de seu alto índice produtivo (DECAMP *et al.*, 2003).

O exoesqueleto destes artrópodes é constituído por um polissacarídeo de cadeia longa nomeada de quitina e seu corpo é segmentado em duas partes: a primeira é o cefalotórax que contém o rosto, olhos, carapaça, antenas e os apêndices maxilares e torácicos do artrópode, a segunda parte é formada pelo abdômen que é constituído por cinco pares de apêndices abdominais, ânus e o telson que faz parte da estrutura quintinosa onde é situado a dilatação da extremidade do pós-abdômem que contém as glândulas secretoras, como é mostrado na Figura 2 a seguir (RIBEIRO-COSTA; DA ROCHA, 2002).

Figura 2- Anatomia do camarão.



Fonte: Espécies de Camarão Cultivadas no Brasil e no Mundo (2019).

2.1.2 Parâmetros de Qualidade da água

O procedimento para criação deste crustáceo não é uma tarefa simples, sendo necessário um olhar acurado em todos os cenários durante a execução do processo de desenvolvimento, visando garantir resultados propícios tanto na qualidade do produto a ser produzido, quanto nos lucros que essa prática proporciona. Como em todo processo de criação alguns critérios devem ser seguidos com o intuito de aferir a qualidade da água, um meio indispensável para a concepção do camarão, considerando os seguintes parâmetros mais comumente analisados de forma diária pelo produtor: temperatura, pH, oxigênio, transparência, salinidade entre outros (SOARES; EVANGELISTA; PEREIRA, 2021). Na Tabela 1 abaixo é possível identificar alguns dos tipos de parâmetros medidos, além da frequência de monitoramento necessária, aferindo os limites ideais aconselhados para um bom manejo e sucesso da produção.

Tabela 1- Informações de alguns dos parâmetros da água na carcinicultura.

Parâmetro	Frequência de Medição (Recomendada)	Limite Ideal
Temperatura	Medição diária entre 6h e 18h	26 °C - 32 °C
pH	Medição diária pela manhã e tarde	7,5 - 9,0
Oxigênio dissolvido	Medição diária entre 6h e 18h	> 3,7 mg/L
Transparência	Medição diária entre 10h e 14h	35 cm - 45 cm
Salinidade	Medição diária entre 10h e 14h	12% - 28%

Fonte: Adaptado de Kubitza (2019).

Temperatura

A temperatura da água é um parâmetro relevante aos eventos químicos e biológicos, pois está intrinsecamente ligada aos fatores fisiológicos dos animais aquáticos como a reprodução, alimentação, digestão e respiração. O camarão é uma espécie pecilotérmica, significa que a temperatura em seu organismo varia de acordo com a da água, trazendo consequências sérias ao crustáceo, caso a

variação desta temperatura for abaixo ou ultrapassar os limites impostos, sendo recomendada uma faixa entre 26 °C e 32 °C, proporcionando qualidade ao processo de criação quando monitorada como recomendado (ANGELO *et al.*, 2010).

pH

O pH é um indicador determinante no ciclo de criação, na carcinicultura, pois junto aos demais fatores relevantes garante o desenvolvimento dos camarões quando estando dentro dos limites aconselhados entre 7,5 e 9, sendo necessário sua fiscalização diária, pois quando ocorrem alterações, cuja variação foge desse intervalo, o índice de mortalidade se faz presente (LOPES, 2001).

Oxigênio dissolvido

Tendo sua unidade mensurada em miligramas por litro (mg/L), o oxigênio dissolvido é um parâmetro tão vital ao crescimento e reprodução destas espécies artrópodes quanto os demais insumos utilizados na produção do camarão, necessitando de no mínimo 3,7 mg/L para funcionamento adequado do seu sistema imunológico, causando estresse e levando-o à morte caso o valor medido no viveiro se mostre menor do que o necessário (NUNES, 2001).

2.1.3 Aeradores

Equipamento de extrema importância ao desenvolvimento de peixes e crustáceos, os aeradores são dispositivos mecânicos usados para circulação da água à medida que promovem a incorporação do oxigênio nos viveiros, esses mecanismos são ligados a energia elétrica, sendo geralmente muito utilizados no período da manhã devido a baixa nos níveis de oxigenação (ABRUNHOSA, 2016). Na Figura 3 é exibido este mecanismo.

Figura 3- Aerador de viveiro.



Fonte: Agricotec (2017).

2.2 Tecnologias

Nesta seção estão concentradas as tecnologias como chips, componentes, controladores, atuadores, sensores e demais recursos entre *hardware* e *software* utilizados para efetivação da pesquisa.

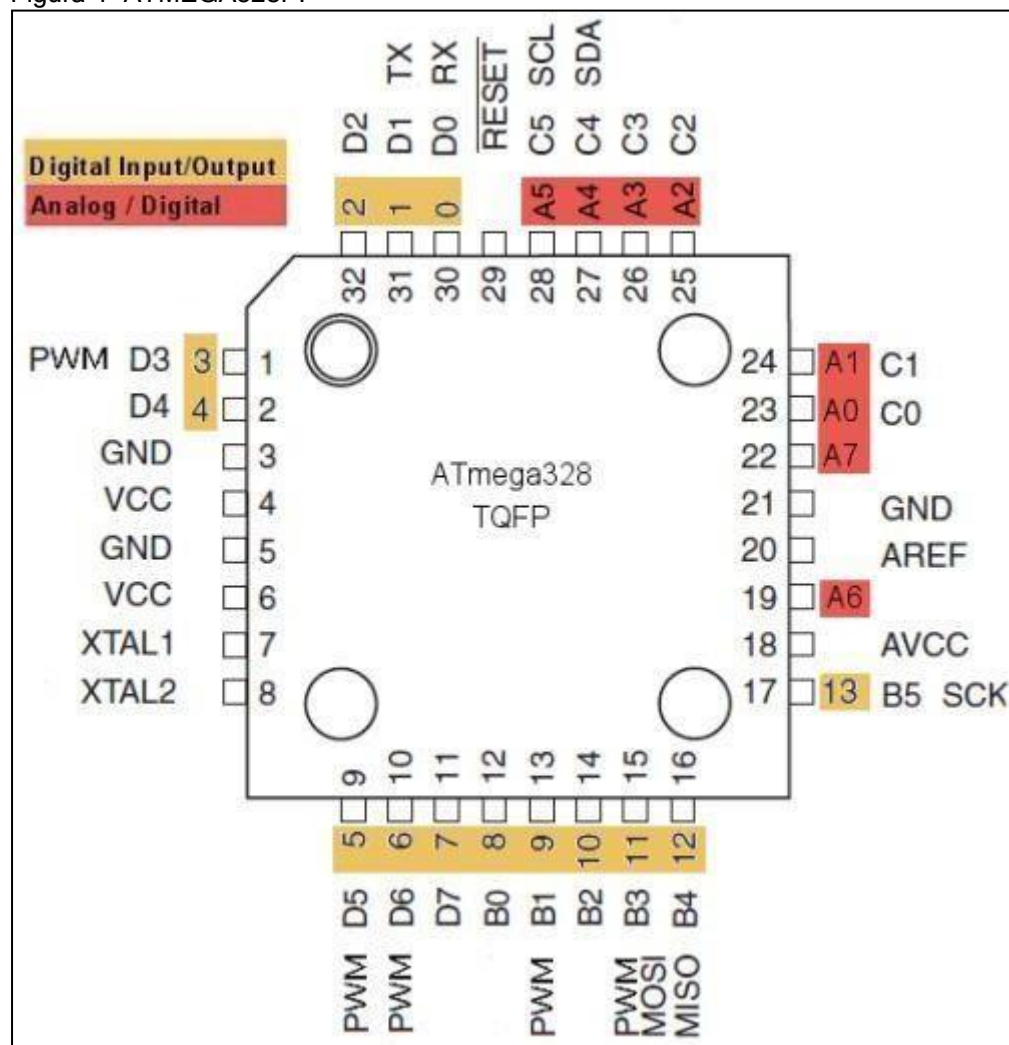
2.2.1 ATMEGA328P

O ATMEGA328P constitui um dos quatro tipos vigentes de microcontroladores ATMEGA, são eles: ATMEGA48P, 88P, 168P e por fim, o 328P. Categoriza-se como um microcontrolador CMOS (*Complementary metal-oxide-semiconductor*), ou seja, utiliza um metal semicondutor em seu processo para a criação de mosfets. Tem sua arquitetura baseada em *RISC AVEhanced* podendo atingir taxas elevadas de transferência executando instruções poderosas em apenas um ciclo de *clock* (ATMEL, 2008).

Em suas características, se comparado com as variações citadas, o ATMEGA328P possui maior poder de armazenamento com seus 32K bytes de

memória *flash*, 1K byte de EEPROM e 2K bytes de memória RAM, além disso, sua velocidade atinge 20 MHz (ATMEL, 2008). Na Figura 4 é possível visualizar com detalhes este componente.

Figura 4- ATMEGA328P.



Fonte: adaptado de Atmel (2008).

2.2.2 Módulo GSM/GPRS (SIM800L)

Global System for Mobile, conhecido pelo acrônimo GSM, é um sistema de comunicação móvel de segunda geração (2G) criada pela *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI), considerada antecessora de tecnologias como a *General Packet Radio Service* (GPRS) e o sistema de comunicação móvel de terceira geração, popularmente conhecido como 3G. O método GPRS foi construído com o intuito de possibilitar o tráfego de dados de

pacote através da rede de telefonia. Com a integração destas tecnologias GSM e GPRS resultou em uma importante evolução para comunicação móvel de dados (LEDESMA, 2015).

Segundo Carniel e Salutes (2021) a rede GSM “{...} foi responsável pela padronização da telefonia móvel.” Se destaca como o primeiro padrão a especificar modulação digital e arquiteturas de nível de rede e serviços. Sendo um dos mais populares sistemas de telecomunicação no mundo. Como principais características, o GSM utiliza bandas de 25MHz, 890-915MHz e 935-960MHz para recepção e transmissão respectivamente.

O módulo GSM/GPRS SIM800L é uma solução Quad-band 850/900/1800/1900MHz, cuja ações podem ser controladas através de variados tipos de microcontroladores. Possui capacidade para transmitir dados, mensagens SMS e informações por voz. É alimentado por uma tensão mínima de 3,4 volts a 4,2 volts, seu consumo podendo chegar a picos de até 2 amperes de corrente. Dispõe de comandos AT incorporados (SOUZA, 2020). Na Figura 5 abaixo é exibido o módulo SIM880L utilizado neste trabalho, com dimensões de 24,0*24,0*3,0 milímetros.

Figura 5- Módulo GSM/GPRS SIM800L.



Fonte: Eletrogate (2022).

2.2.3 Comandos AT

Comandos AT foram originalmente desenvolvidos em 1977 por Dennis Hayes, considerado um protocolo de comunicação para modem GSM, os comandos AT são instruções usadas para controle e configuração de modem. Cada comando se inicia

com os caracteres AT, que significam a abreviação de *attention*, e ficam localizados afrente de uma *string* de controle. Muitos dos comandos utilizados no controle de modem *dial-up*, também são suportados pelo modem GSM/GPRS (EBRAHIN; CATURAN-HINDS, 2002). Alguns destes comandos AT utilizados na configuração do módulo SIM800L estão presentes na Tabela 2 e são conhecidos como comandos AT básicos.

Tabela 2- Comandos AT para SIM800L.

Comando AT	Descrição	Resposta
AT	<i>Reset</i>	OK
AT+SAPBR=3,1,"Contype","GPRS"	Define conexão GPRS	OK
AT+SAPBR=3,1,"APN","claro.com.br"	Conecta APN da operadora	OK
AT+SAPBR=1,1	Ativa o GPRS	OK
AT+SAPBR=2,1	Retorna IP	IP(...) OK
AT+HTTPINIT	Ativa HTTP	OK
AT+HTTTPARA="CID",1	Identificador de perfil	OK
AT+HTTTPARA="URL"...	Define URL	OK

Fonte: Adaptado de Telit (2013).

2.2.4 Arduino

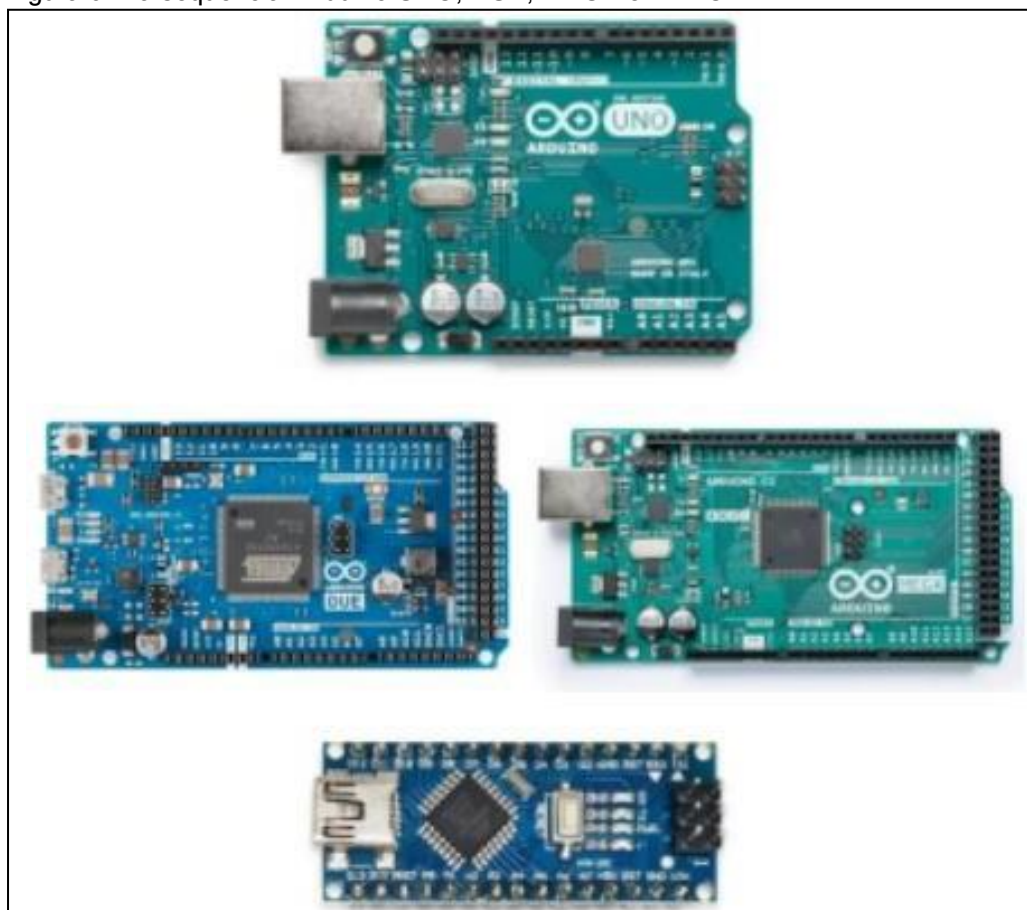
Arduino é o nome dado a uma estrutura que faz uso de microcontroladores de modo a tornar possível o uso desse recurso. Dito isto, pode-se enxergar o Arduino como placas eletrônicas criadas para servirem como módulos que possuem em seu núcleo microcontroladores, que fornecem um ambiente para que desenvolvedores possam programar rotinas voltadas para sistemas de cunho embarcado (KONDAVEETI *et. al.*, 2021).

Existe no mercado uma variedade de modelos de placas Arduino utilizadas em diversas aplicações, sendo que as mais frequentemente utilizadas se resumem nas variações: UNO, DUE, MEGA e NANO, apresentadas na Figura 6 abaixo (KONDAVEETI *et. al.*, 2021).

O Arduino UNO é provavelmente um dos mais utilizados no mercado e na indústria. Possui um conjunto de pinos consistentes com o padrão industrial para placas de desenvolvimento, fazendo com que seja altamente acoplável com a

maioria das *shields* vigentes nessas placas de desenvolvimento, operando com uma voltagem entre um máximo de 5 volts e um mínimo de 3,3 volts. O Arduino DUE e o MEGA têm a placa com as maiores dimensões entre os quatro modelos citados. O modelo DUE é o único alimentado por um processador ARM e isso torna-o capaz de operar com menos de 3,3 volts. Já a versão MEGA, em comparação com a DUE, tem sua alimentação com base em um ATMEGA2560 funcionando com voltagem de 5 volts, possuindo estrutura de pinos semelhante ao Arduino DUE. Com o custo menor entre as opções citadas, a NANO tem sua vantagem explorada, dentre outros aspectos, no seu tamanho. Devido sua compactação e peso reduzido é uma boa alternativa para projetos que carecem de espaço tendo-o disputado por outros componentes (KONDAVEETI *et. al.*, 2021).

Figura 6- Na sequência: Arduino UNO, DUE, MEGA e NANO.



Fonte: Adaptado de Mitchell (2018).

2.3 Componentes

Nesta seção será apresentada a teoria acerca dos componentes utilizados no

decorrer deste projeto, que fazem parte de qualquer circuito elétrico e eletrônico.

2.3.1 Capacitores

A finalidade básica do capacitor é atribuir a capacitância ao circuito eletrônico, sendo possível armazenar temporariamente cargas elétricas. Na literatura podem-se encontrar tipos de capacitores como: fixos e variáveis, os que possuem capacitância definida desde sua formação são denominados fixos, e aqueles cuja capacitância varia por meio de ações externas são conhecidos como variáveis (BOYLESTAD, 2012).

Estes componentes reativos são construídos por meio de eletrodos metálicos chamados de armaduras, que são separadas por um material isolante conhecido como dielétrico, que em síntese, se trata de um isolante elétrico constituído de diversos materiais, como: cerâmica, poliéster styroflex, papel, vidro, mica e até mesmo o ar (BOYLESTAD; NASHELSKY, 2012).

A quantidade de cargas elétricas que um capacitor pode guardar é intitulada pela grandeza física capacitância, e sua unidade de medida é dada por farads (F), através da formula:

$$C = \frac{Q}{V}$$

C- capacitância (F - Farad)

Q- carga elétrica armazenada (C- Coulomb)

V- tensão elétrica (V - volts)

Os capacitores são frequentemente encontrados em placas eletrônicas, tendo sua aplicabilidade utilizada em inúmeros circuitos, como: circuitos retificadores, conversores de corrente, acoplamentos de áudio, proteção de circuitos contra ruídos e correção de fator de potência. Geralmente a grande maioria destes componentes não dispõe de polaridade, com exceção do capacitor eletrolítico, onde sua principal vantagem é de possuir grande capacitância utilizando área menor se comparado ao poliéster ou cerâmicos (MEHL, 2000). Na Figura 7 são exibidos os tipos mais comuns de capacitores existentes.

Figura 7- Capacitores.



Fonte: Helerbrock (2022).

2.3.2 Resistores

Destacados como elementos básicos da eletrônica, os resistores são considerados componentes mais simples e comuns entre os circuitos eletrônicos, eles também são dispositivos passivos que em síntese não amplificam a intensidade de uma corrente elétrica ou tensão, ou seja, não originam energia, apenas interagem com os demais componentes, sendo a finalidade básica da resistência à conversão de energia elétrica em térmica, conhecida popularmente como efeito Joule (ALEXANDER; SADIKU, 2013).

A resistência é a propriedade que os materiais dispõem, enquanto o resistor é o dispositivo que emprega esta particularidade, sendo a principal utilidade deste dispositivo na eletrônica a alteração da diferença de potencial (DDP) que ocorre devido à diminuição da corrente elétrica, funcionando como um limitador de corrente (GARCIA, 2014).

Existem diversas aplicações de resistência e estas são utilizadas basicamente em todos os dispositivos eletrônicos, os resistores que compõem circuitos elétricos geralmente possuem em seu corpo: 4 a 6 faixas coloridas, a função das cores é principalmente determinar o valor da resistência sem a necessidade de aferir através de aparelhos de medição (GARCIA, 2014).

Há dois tipos de resistores, fixo e variáveis, o primeiro é disponível em uma

grande quantidade de valores ôhmicos que são definidos em sua fabricação e não podem ser alterados. O segundo são projetados de modo que sua resistência pode ser alterada com ajuste manual, automático ou com a influência de luz ou calor, são exemplos os potenciômetros, reostatos, trimpot, LDR e varistores (HAYT JR; KEMMERLY; DURBIN, 2014).

A primeira lei de Ohm define que a diferença de potencial (DDP) entre dois pontos de um resistor é proporcional à corrente elétrica que é instituída nele. Ademais, em conformidade com a lei, a razão entre o potencial elétrico e a corrente elétrica é sempre constante para resistores ôhmicos (MALVINO; BATES, 2016). A fórmula que define a primeira lei de Ohm é considerada a seguir.

$$U = (r * i)$$

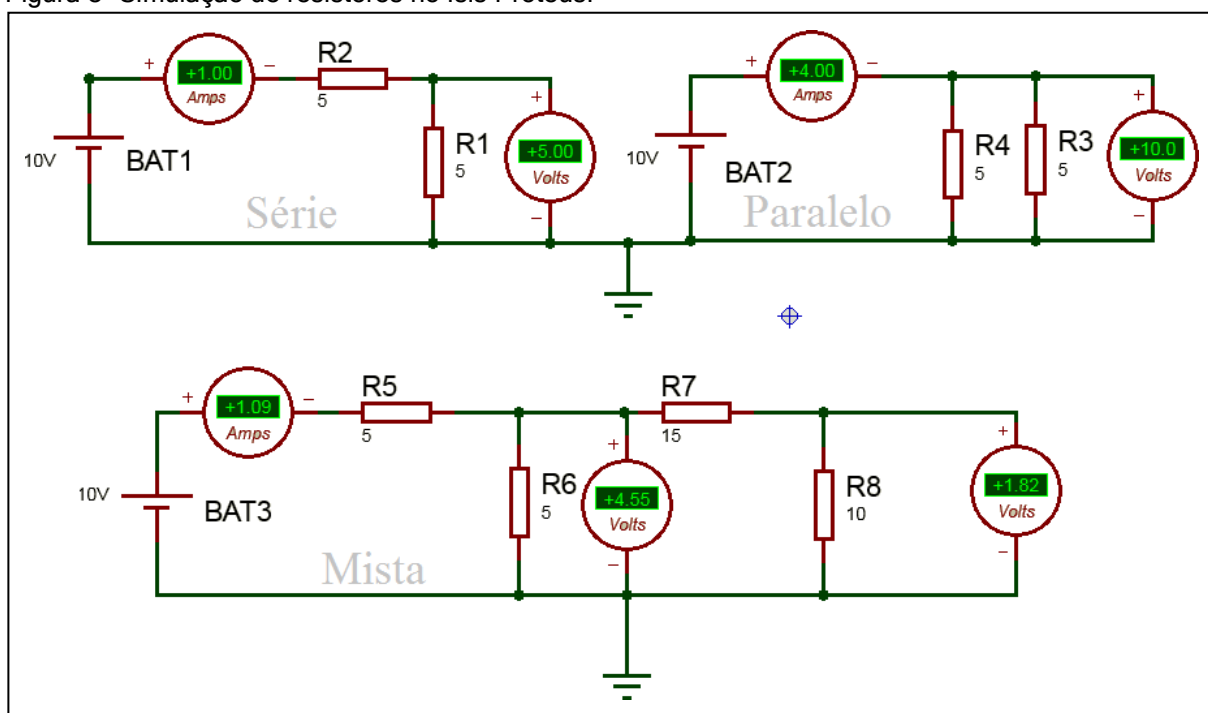
U- Tensão elétrica

r- Resistência elétrica

i- Corrente elétrica

Na Figura 8 abaixo é simulada em ambiente virtual uma aplicação direta dos efeitos da resistência em um circuito eletrônico. Aplicando a fórmula da primeira lei de ohm no primeiro circuito à esquerda, temos que $U = 10$ volts, $R_2 + R_1$ considerado uma serie de resistências, resulta no valor de 10 Ohms, e a corrente elétrica (i) corresponde ao valor de 1 Ampere, sendo por meio da primeira lei o resultado da equação para se encontrar a tensão ou DDP, a multiplicação da resistência pela corrente, resultando no valor da primeira bateria (BAT1).

Figura 8- Simulação de resistores no Isis Proteus.



Fonte: Autoria própria.

2.3.3 Diodos

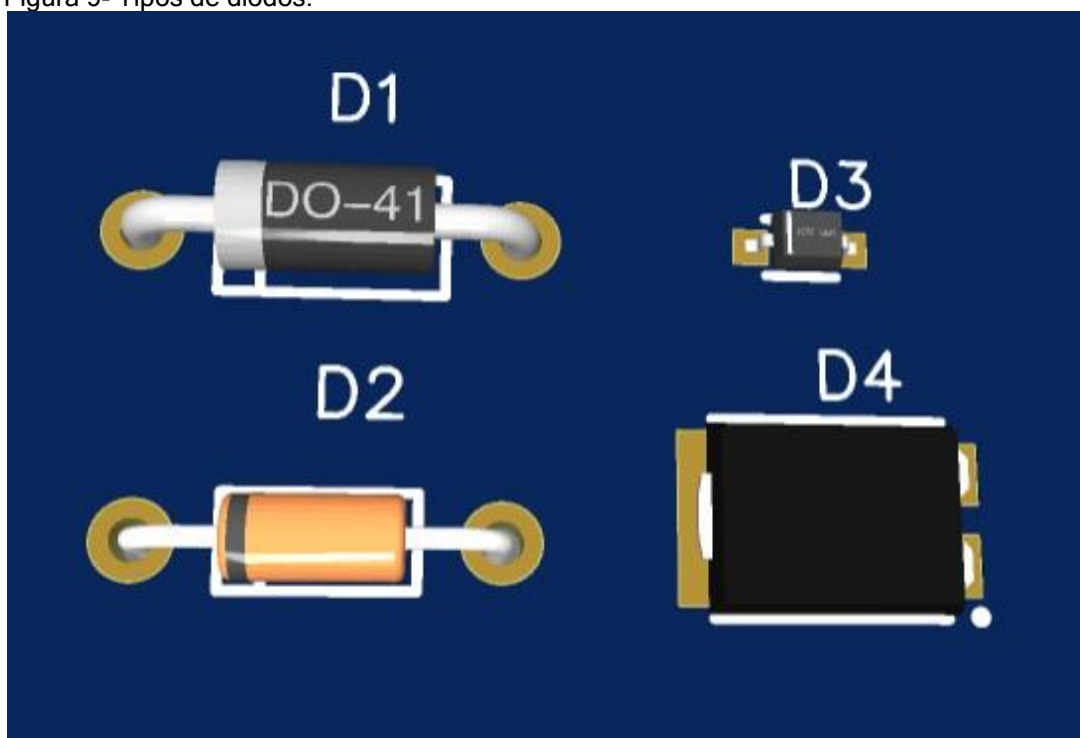
Em eletrônica, o diodo é um componente eletrônico de dois terminais responsáveis pelo transporte de corrente elétrica em apenas um sentido. Inventado em 1904, pelo físico inglês John Ambrose Fleming. Este componente basicamente é constituído por materiais semicondutores, silício e germânio, que são fundidos, de modo a criar uma junção PN, esta junção fisicamente representa a polaridade positiva P, também conhecida por anodo e a polaridade negativa N, titulada de catodo (MARQUES, 1997).

O diodo de modo generalizado é um componente eletrônico que quando polarizado diretamente, de modo a ser aplicada uma tensão positiva em seu anodo permite a passagem de corrente, para o uso no caso de polarização reversa o diodo bloqueia esta passagem de corrente (CRUZ; JÚNIOR, 2015).

Existem diversos tipos de diodos para inúmeras aplicações, como ilustrado na Figura 9, sendo em síntese, os mais utilizados para retificação de sinais elétricos, conhecidos popularmente como diodo retificador. Para chaveamento de circuito rápido existem diodos específicos, um deles é o diodo Schottky, que atua mais rapidamente em relação aos demais, podendo ainda realizar polarização direta, mesmo que em níveis muito baixos de tensão. O LED também é considerado um

diodo, bastante utilizado na maioria dos dispositivos, tendo maior foco sua utilização em TV, telas e monitores. Outro tipo muito conhecido deste componente é o diodo zener, também titulado por diodo de condução reversa, seu funcionamento se dar pela polarização reversa. Por último, temos o diodo túnel, indicado para atuar com altas frequências, podendo chegar a frequências de 1Ghz e fotodiodo capaz de fazer conversão de fótons em eletricidade (HART, 2016).

Figura 9- Tipos de diodos.



Fonte: Autoria própria/ EasyEDA

2.3.4 Transistores

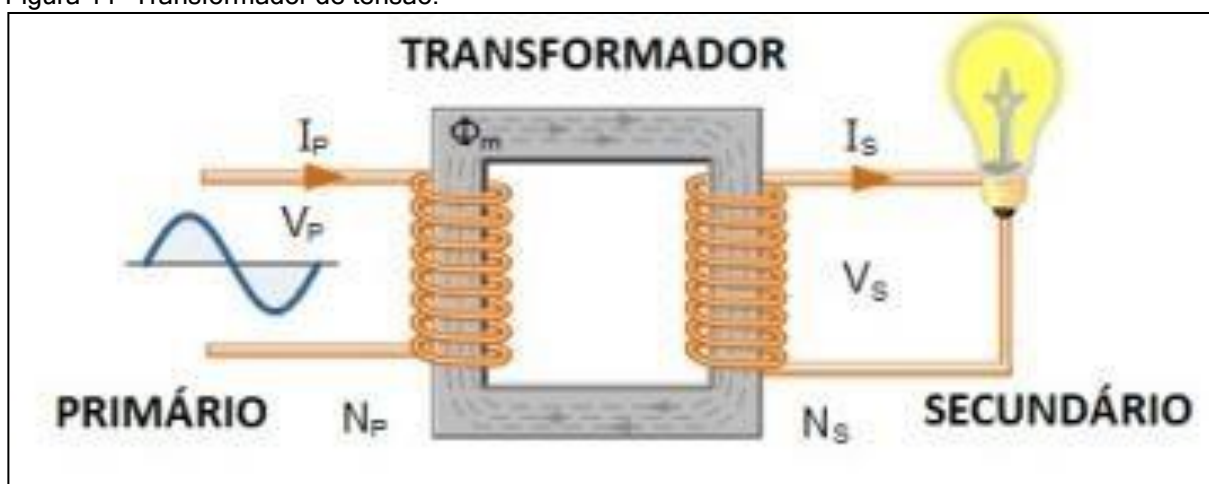
Criado em 1947 pelos físicos John Bardeen e Walter Houser Brattain no laboratório da Bell Telephone, os transistores são componentes constituídos de materiais semicondutores, que geralmente são silício ou germânio. Estes dispositivos tem capacidade de conectar e amplificar o sinal de uma corrente elétrica. Os semicondutores são geralmente dopados com materiais que podem oferecer-lhes cargas elétricas extras, facilitando a sua condução de eletricidade (MARKUS, 2011).

O transistor é apontado por muitos, como sendo uma das maiores invenções da historia moderna, tornando possível a revolução da tecnologia de equipamentos

2.3.5 Transformadores

Os transformadores de tensão são equipamentos utilizados com o propósito de alterar valores de tensão e corrente necessários para o funcionamento de relés e outros dispositivos em sistemas elétricos. Sua estrutura básica envolve um cilindro com camadas de enrolamento denominadas: primário e secundário, feitos de fio de cobre envernizado, tendo um material de poliéster como uma camada de cobertura externa (LI, 2022). Na Figura 11 é demonstrado este dispositivo.

Figura 11- Transformador de tensão.



Fonte: MERLIN, 2019.

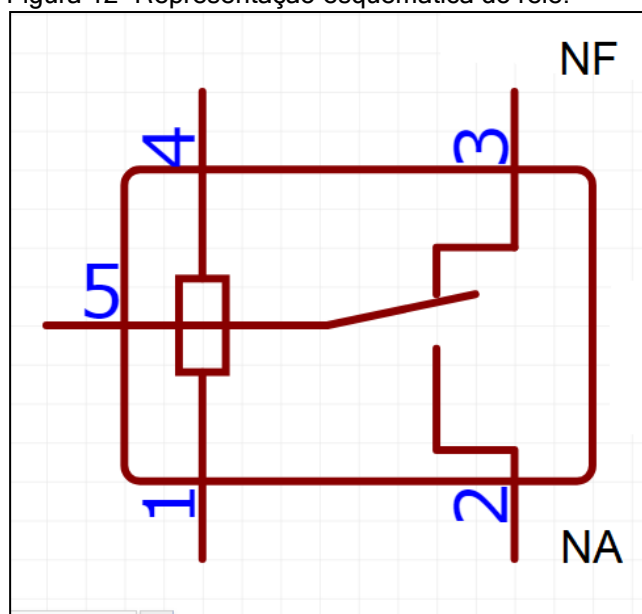
Diferentes tipos de transformadores são usados para diversas aplicações no ramo da eletricidade. Dentre os principais têm-se os transformadores de: força, distribuição, medição, pulso e saída de áudio. Transformadores de força são aplicados em circuitos de rede trifásica, sendo usados em subestações de energia, já os de distribuição são responsáveis pela distribuição em escala residencial, estando acoplados em postes. Os que são utilizados para medição podem ser divididos entre potencial (TP) e corrente (TC), sendo aplicáveis para nivelar a tensão e corrente de circuitos elétricos. Por fim, transformadores de pulso são usados em diversos circuitos digitais e fazem uso de pulsos em uma amplitude constante. Ademais, os de saída de áudio são particularmente utilizados em caixas e componentes de áudio equilibrando as cargas e relacionando as impedâncias (ABNT. NBR 5356, 2014).

2.3.6 Relés

De acordo com Braga (2017) o relé é um equipamento eletromecânico que viabiliza a abertura ou fechamento de um circuito elétrico, ou seja, tem a capacidade de bloquear ou não o fluxo de corrente elétrica. O princípio de funcionamento é simples, a bobina do relé é formada por um fio de cobre em torno de um núcleo de aço que oferece baixa resistência para o fluxo magnético, uma armadura móvel de metal com contatos preso a molas permanece em torno desse núcleo, enquanto não há energia na bobina as molas mantêm os contatos em repouso, ou como são conhecidos: normalmente aberto (NA) ou normalmente fechado (NF).

Quando a bobina do relé é energizada gera-se um campo elétrico em torno do núcleo de metal que resulta em um eletroímã, tal força magnética gerada por ele vence a força mecânica das molas, proporcionando o movimento da armadura móvel que conseqüentemente muda o ponto de contato normalmente aberto (NA) para normalmente fechado (NF) e vice versa (BRAGA, 2017). Na Figura 12 podemos visualizar a esquematização deste componente.

Figura 12- Representação esquemática do relé.



Fonte: Autoria própria/ EasyEDA

2.3.7 Sensor de temperatura NTC 10K

A interação entre sensores e microcontroladores permite que um sistema

tenha ciência do que está acontecendo no mundo real. Termistores ou sensores de temperatura possuem sensibilidade de modo que a resistência aumenta à medida que a temperatura diminui. As características dos sensores de temperatura dependem do processo de fabricação e dos materiais usados, sendo que a resistência pode variar de 10:1 ou 100:1 (BALL, 2003). Na Figura 13 é exibido o sensor NTC 10K utilizado para medição de temperatura da água.

Figura 13- Sensor de temperatura.



Fonte: Microwat (2022).

2.3.8 Sensor de pH modelo PH-4502C

O pH é uma medida de acidez ou alcalinidade de uma solução, tendo uma escala variante entre 0 e 14. Este parâmetro indica concentração de ions de hidrogênio (H^+) presentes em composições liquidas, podendo ser monitorado por sensores que medem a diferença de potencial entre dois eletrodos, que é o caso da sonda de nome PH Eletrodo, que juntamente com o circuito eletrônico do sensor de pH modelo PH-4502C são capazes de medir os níveis de pH presentes nas soluções, e condicionar adequadamente o sinal enviando-o ao microcontrolador (PAVITHRA, *et al.*, 2021). Na Figura 14 é exibido o sensor de pH e a sonda.

Figura 14- Sensor PH-4502C e sonda.



Fonte: Nexatronics (2022).

2.4 Plataforma de desenvolvimento EasyEDA

EasyEDA como é conhecido, é um *software online* muito utilizado para desenvolvimento e projeto de circuitos e *layouts* PCB. Esta ferramenta basicamente gera sistemas eletrônicos sem a necessidade de instalar aplicações, bastando apenas realizar inscrição e efetuação do acesso à plataforma. Uma grande vantagem desta ferramenta é sua facilidade de uso, além de ser gratuita, contribuindo com qualidade ao desenvolvimento de projetos (ASADI, 2022). Na Figura 15 é possível visualizar a página principal desta ferramenta *online*.

Figura 15- Plataforma EasyEDA.

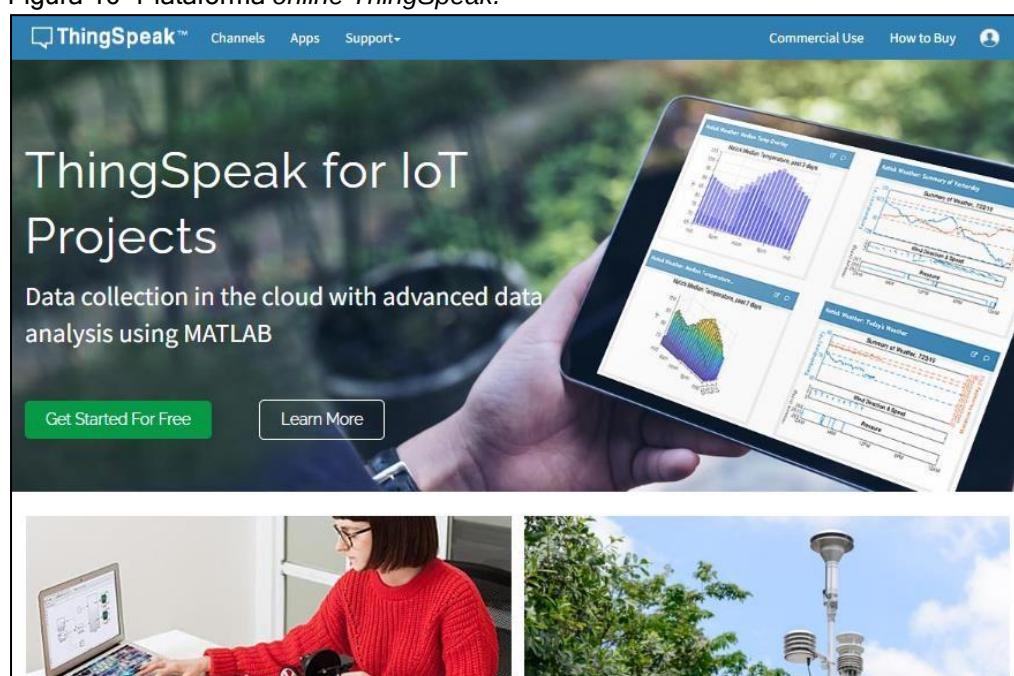


Fonte: EasyEDA (2022).

2.5 Plataforma *ThingSpeak*

Originada pela fabricante ioBridge no ano de 2010, a *ThingSpeak* é uma plataforma *online* que oferece variados serviços focados no desenvolvimento de aplicações IoT, frequentemente utilizada para prototipagem e prova de conceito, possibilitando aos usuários uma coleta de dados em tempo real, além de permitir a visualização e análise de fluxos de dados, com a flexibilidade de executar códigos MATLAB sem impor a utilização de licenças (PASHA, 2016). Na Figura 16 é apresentada a plataforma *ThingSpeak*.

Figura 16- Plataforma *online* *ThingSpeak*.

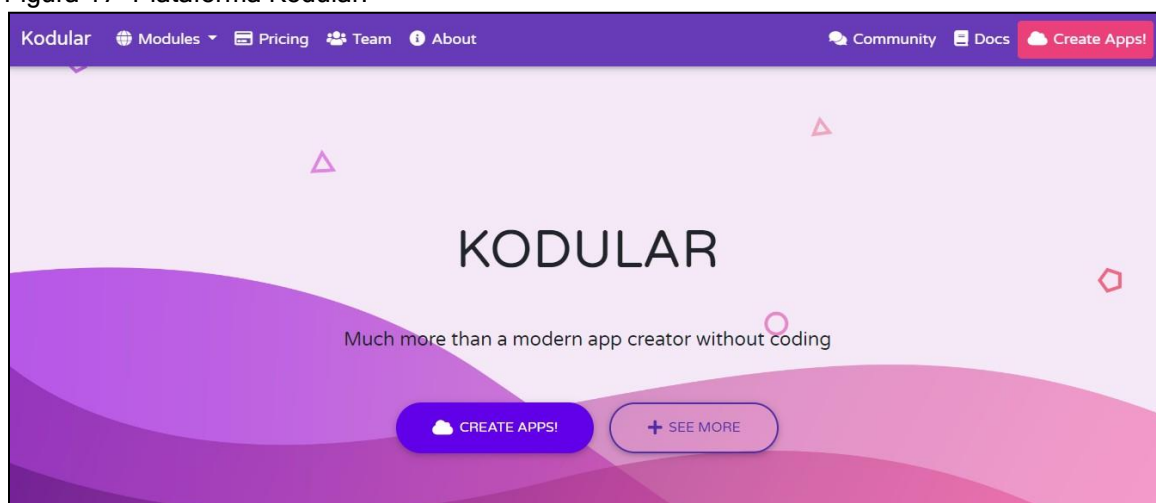


Fonte: *ThingSpeak* (2022).

2.6 Plataforma Kodular

A Kodular é uma plataforma *online* gratuita que permite a criação de aplicativos Android de forma simples, não necessitando o usuário possuir conhecimentos avançados acerca de programação. O site se baseia na plataforma *MIT app Inventor*, que se utiliza de blocos, que ao serem arrastados como quebra cabeça constroem comandos e lógicas de programação, fazendo com que sejam concebidos aplicações do zero (ALDA *et al.*, 2020). Na Figura 17 é possível visualizar a plataforma Kodular.

Figura 17- Plataforma Kodular.



Fonte: Kodular (2022).

2.7 Revisão bibliográfica da literatura

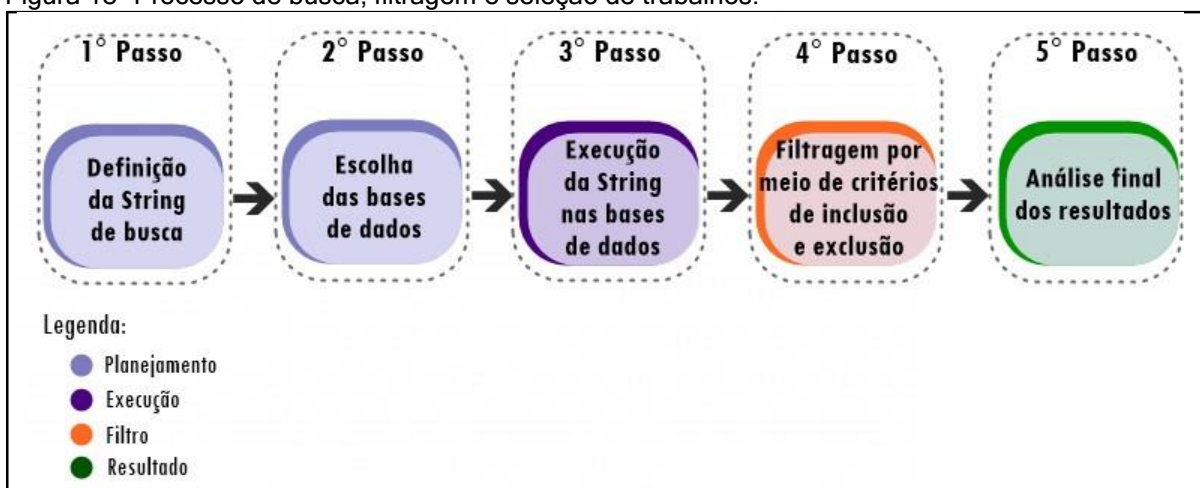
Nesta seção será apresentada uma das partes importantes desta pesquisa, a revisão bibliográfica da literatura, fornecendo embasamento teórico, além de respaldo quanto aos estudos presentes no meio acadêmico e literário acerca do tema proposto.

2.7.1 Metodologia de busca, filtragem e seleção de trabalhos

Para considerar, a partir da perspectiva científica, possíveis obras que se assemelham ao tema proposto neste trabalho, foi realizado um estudo bibliográfico da literatura seguindo um processo de busca e seleção de artigos que se divide em cinco passos, organizados nas fases de planejamento, execução, filtro e resultado.

Na etapa de planejamento uma *string* de busca foi definida. Formada com palavras chaves relacionadas ao assunto foco desta pesquisa, a *string* é pensada para ser executada em bases de artigos e revistas científicas. Com o retorno desta execução segue-se para a filtragem dos trabalhos obtidos e, para isso, é realizada uma leitura diagonal que envolve a análise do resumo, resultados e considerações finais de cada trabalho aplicando critérios pré-estabelecidos de inclusão e exclusão dessas publicações. Por fim, é finalizado o processo com a análise detalhada dos resultados que compreendem os artigos aceitos. Na Figura 18 abaixo é ilustrado este passo a passo:

Figura 18- Processo de busca, filtragem e seleção de trabalhos.



Fonte: Autoria própria.

Como mencionado, os artigos encontrados passam pela etapa de análise, na qual, os critérios de seleção têm papel importante e seu objetivo é de que esses trabalhos sejam selecionados, de modo que possam ser agrupados e possuam algum nível de semelhança com o tema levantado nesta dissertação. Segundo Kitchenham e Charters (2007) devem ser definidos critérios para inclusão e exclusão que justifiquem a escolha dos trabalhos adquiridos com a execução da *string* de busca definida. Na Tabela 3 abaixo é possível visualizar os critérios estabelecidos e aplicados nos artigos.

Tabela 3- Critérios de inclusão e exclusão de artigos.

Critérios de Inclusão	
Identificação	Justificativa
Inc1	O artigo deve utilizar tecnologias como GSM para automação e/ou monitoramento de parâmetros da água.
Inc2	O artigo deve ter foco em áreas da aquicultura que incluem a carcinicultura, piscicultura, entre outros.
Inc3	O artigo deve conter resumo.
Critérios de Exclusão	
Identificação	Justificativa

Exc1	O artigo não atende aos critérios definidos de inclusão: Inc1, Inc2 ou Inc3.
Exc2	O idioma utilizado no artigo é diferente do inglês/português.
Exc3	O artigo possui data de publicação inferior a 2014.

Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 4 é exibida a *string* gerada, assim como os resultados após execução nas bases de dados destacadas, que foram escolhidas por serem bibliotecas conhecidas e muito utilizadas no âmbito acadêmico. Foram totalizados cerca de 34 títulos distribuídos entre as bibliotecas listadas, dos quais 8 artigos desse total se tratavam de duplicações, participando do processo de seleção 26 trabalhos científicos (ver apêndice A) e ao fim do processo ficaram elegíveis apenas 8, sendo os demais rejeitados por não atenderem a algum dos critérios de exclusão citados anteriormente.

Tabela 4- Resultado da execução da *string* de busca nas bases definidas.

String	Bases	Total de artigos
("shrimp farming" OR "shrimp production" OR "aquaculture") AND ("system" OR "automation" OR "monitoring" OR "automatic monitoring" OR "automatic water monitoring") AND ("GSM" OR "SIM 800L") AND ("water" OR "water parameters")	Aquaculture Compendium (CABI publishing)	14
	ACM	5
	IEEE	10
	ScienceDirect	5
Total de resultados:	34	
Quantidade de artigos duplicados:	8	
Total de artigos analisados:	26	

Quantidade de artigos rejeitados:	18
Quantidade de artigos considerados:	8

Fonte: Autoria própria

2.7.2 Trabalhos relacionados

Rostam, Hassain Malim e Abdullah (2020) abordam em sua pesquisa um sistema de baixo custo que inspeciona a água em tempo real, cujo objetivo é propor um mecanismo de monitoramento para medição de parâmetros como temperatura, nível de pH, turbidez, salinidade e oxigênio dissolvido controlando a proliferação de algas nocivas. A arquitetura deste sistema é dividida em duas seções: *hardware* e *software*, compostos por sensores que atuam na medição destes parâmetros, além do microcontrolador Arduíno Bluno que conta com um chip *Bluetooth* integrado que controla a transferência de dados para todos os sensores conectados a ele, utilizando-se de um painel solar como fonte geradora.

Chandanapalli *et al.* (2014) defendem em seus estudos que para obtenção de bons rendimentos na prática de criação de peixes, camarões, entre outras espécies, é preciso controlar e manter os parâmetros da água referentes à temperatura, pH, alcalinidade, turbidez, amônia, dentre outros níveis conhecidos e adequados à difusão da vida. Viabilizando automatizar este processo de controle, os autores desenvolveram um sistema de informação em tempo real dividido em dois módulos, denominados: estação transmissora e estação receptora. Sendo o primeiro módulo (estação transmissora) composto por nós sensores responsáveis por esta monitoração, além do microcontrolador e o conversor analógico/digital. O segundo módulo (estação receptora) recebe os dados transmitidos através da rede GSM. O sistema também conta com uma interface que transmite os dados em forma de mensagens para os celulares dos produtores possibilitando a interação e a tomada de decisão de acordo com as condições dos parâmetros medidos e informados.

Para Abinaya, Ishwarya e Maheswari (2019) a ascensão da tecnologia dos sensores, comunicação e automatização de rotinas, por meio da internet das

coisas, estabeleceu o aprimoramento constante do controle e monitoramento de parâmetros inerentes ao desenvolvimento de espécies na aquicultura, que devem ser rotineiramente observados e controlados. Para consolidação desta prática os autores fizeram uso de um microcontrolador Arduino responsável pela recepção dos dados e a tomada de decisão quando os valores dos parâmetros recepcionados excedem o limite prescrito, esta mensuração é feita por meio de sensores de temperatura, oxigenação e pH da água, esses dados são enviados para um módulo de controle através da comunicação com Zigbee, que é um protocolo de comunicação sem fio, com a finalidade do produtor ter acesso a mensagens curtas que informem a situação atual da água.

De acordo com Kumar e Aravindh (2020) a qualidade da água é uma propriedade que deve ser estritamente mantida a fim de garantir a sobrevivência e crescimento da vida aquática. Dando continuidade a este pensamento, os autores propuseram um sistema de monitoramento em tempo real composto de sensores de temperatura, pH e nível da água que geram ações como ligar o motor no caso do nível da água exceder o esperado, além do envio de notificações ao usuário. A arquitetura do sistema faz uso de um microcontrolador responsável pela execução de todas as operações programadas e um transceptor Zigbee utilizado para transferência dos dados. Se encontrada quaisquer anomalias nos parâmetros medidos, o envio de mensagens ao dispositivo móvel se faz por meio do Sistema Global para Comunicação Móvel (GSM) tornando esta solução um meio eficaz e econômico para inspeção de atividades intrinsecamente relacionadas à aquicultura.

Joseph *et al.* (2019) relatam as dificuldades que o agricultor enfrenta para medição e acompanhamento dos fatores da água no que se refere ao desenvolvimento da espécie criada, entre essas dificuldades destacam-se a individualidade dos dispositivos existentes no mercado de medirem apenas parâmetros específicos, além do custo ser alto para aquisição destas ferramentas. Deste modo, os autores projetaram um sistema para monitorar a água no âmbito da piscicultura, o projeto consiste em proporcionar ao agricultor atualizações constantes acerca dos indicadores de água utilizados e alertas imediatos em caso de problemas. Para o desenvolvimento desta solução foram utilizados quatro sensores para mensuração do oxigênio dissolvido, turbidez, pH e temperatura, assim como circuitos ADC e microcontrolador MSP432 que processa os dados dos sensores,

executando instruções, para o envio de mensagens de texto e conexão de internet sem fio foi usada a placa GSM SIM900A, além de indicadores LED e um sistema de *backup* de bateria, caracterizando-se como uma solução eficiente e de baixo custo.

Tahir *et al.* (2018) propõe um sistema de baixo custo para medição de fatores da água potável, como: pH, turbidez e temperatura, baseado em energia solar fotovoltaica que faz uso de rede de sensores sem fio alinhados ao *hardware* do sistema. Os sensores são vinculados a um microcontrolador Arduino UNO que se constitui em um núcleo no projeto que é responsável por gerenciar os sensores, módulo LCD que exhibe as informações transmitidas e a comunicação realizada por meio da tecnologia GSM, no qual os resultados da medição são enviados ao produtor. Os autores reforçam em seu estudo que o uso do GSM favorece a coleta dos dados em áreas geográficas mais remotas com mais eficiência e o fato da alimentação das baterias ser feita por meio de energia solar faz com que o sistema seja considerado portátil e independente, podendo ser utilizado em qualquer lugar e para diversos fins agrícolas, de aquicultura, doméstico ou industrial.

Devido à modernidade e ao crescimento constante de diversos setores agrícolas e aquícolas, a necessidade de automatizar cada vez mais tarefas presentes nessas áreas de atuação aumentou e, pensando nisto os autores produziram um sistema com base em internet das coisas com o objetivo de monitorar aspectos relacionados à qualidade da água, modernizando a forma como estes aspectos são coletados. Desenvolvido com a finalidade de auxiliar o pequeno e médio produtor na automatização de baixo custo de processos e métodos individualistas e convencionais, este projeto conta com o uso de um microcontrolador ATMEGA328 juntamente com a placa de desenvolvimento Arduino, sensores responsáveis pela medição dos aspectos da água inerentes à vida em uma lagoa, fazendo uso de um serviço de mensagens curtas (SMS) que notificam o produtor acerca de informações dos parâmetros colhidos, além de alertas à níveis excedentes desses parâmetros, utilizando-se de GPS para localização exata das análises. A alimentação do sistema é fornecida através de energia solar e a comunicação é feita por meio de tecnologia GSM, principalmente pela indisponibilidade de serviços rápidos, eficientes e ao déficit de acesso à rede Wi-Fi facilmente encontrado em regiões remotas e rurais (MENON; PRABHAKAR, 2021).

Segundo La Madrid, Cruz e Balisi (2018) grande parte da mortalidade dos peixes, surgimento de doenças e baixa taxa de crescimento está relacionada à falta de qualidade da água, que faz com que a preocupação em manter com acuracidade os fatores característicos desta fonte de vida seja algo tão importante. Desta forma, pensando em soluções que ajudem a manter e controlar em tempo real parâmetros da água como nível de pH, temperatura e oxigênio dissolvido em tanques para criação de tilápias, os autores elaboraram um sistema de monitoramento capaz de medir e comunicar os resultados ao piscicultor por meio de SMS fazendo uso do sistema global para comunicação (GSM), utilizando-se em sua arquitetura microcontrolador arduíno, sensores e energia solar como fonte de energia.

2.7.3 Comparação entre os trabalhos correlatos

Nesta seção são realizadas comparações entre os trabalhos correlatos analisados durante este estudo bibliográfico, com foco em destacar suas semelhanças e diferenças, como exemplificado na Tabela 5.

Tabela 5 - Comparativo entre trabalhos correlatos.

Autores	Área onde a solução foi destinada	Parâmetros monitorados	Tecnologias utilizadas
Rostam, HassaiN. Malim e Abdullah, (2020).	Aquicultura marinha	Temperatura, pH, turbidez, salinidade e oxigênio dissolvido	Microcontrolador Arduino Bluno, sensores e painel solar.
Chandanapalli et al., (2014).	Aquicultura	Temperatura, pH, alcalinidade, turbidez, amônia, etc.	Sensores, microcontrolador, conversor analógico/digital e tecnologia GSM.
Abinaya, Ishwarya	Aquicultura	Temperatura,	Sensores, IoT,

e Maheswari, (2019).		oxigenação e pH.	Arduino e Zigbee
Kumar e Aravindh, (2020).	Aquicultura	Temperatura, pH e nível da água	Sensores, microcontrolador, Zigbee e tecnologia GSM.
Joseph <i>et al.</i> , (2019).	Piscicultura	Temperatura, pH, oxigênio dissolvido e turbidez.	Sensores, circuitos ADC, microcontrolador MSP432, placa GSM SIM900A e LEDs.
Tahir <i>et al.</i> , (2018).	Finalidade agrícola, aquicultura, doméstica ou industrial.	Temperatura, pH e turbidez.	Sensores, Arduino, módulo LCD, tecnologia GSM e energia solar fotovoltaica.
Menon e Prabhakar, (2021).	Agrícola e aquicultura	Temperatura, pH, turbidez e nível da água.	Sensores, Arduino, microcontrolador ATMEGA328, tecnologia GSM e GPS, SMS e energia solar.
La Madrid, Cruz e Balisi, (2018).	Piscicultura (criação de tilápias)	Temperatura, pH e oxigênio dissolvido	Sensores, Arduino, tecnologia GSM, SMS e energia solar.

Fonte: Autoria própria.

Através deste comparativo foi possível identificar que existem poucos trabalhos na literatura que se concentram no estudo de tecnologias que

automatizam processos inerentes à carcinicultura como o monitoramento da água, buscando inovações neste meio para auxílio do pequeno e médio produtor. A maioria dos estudos analisados desenvolveram suas soluções voltadas para o monitoramento dos seguintes parâmetros: temperatura, pH e oxigênio dissolvido. Grande parte dos trabalhos analisados utiliza-se de energia solar como fonte geradora, além de tecnologia de sensores, microcontroladores e comunicação GSM. Nenhum dos estudos encontrados monitora oscilações da rede elétrica gerando alertas ao usuário, fazendo desse ponto um diferencial nesta pesquisa, tornando-a relevante à comunidade acadêmica.

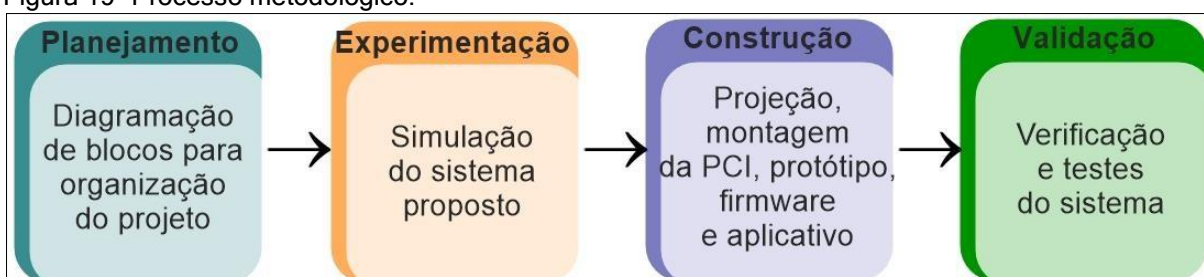
CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será explorado o processo para elaboração do sistema, que foi desenvolvido e executado por etapas que compreendem as seguintes fases: Planejamento, Experimentação, Construção e Validação, como mostrado na Figura 19.

A fase de planejamento se caracteriza por meio da idealização esquemática do sistema, assim como a organização dos módulos e dispositivos utilizados. Em seguida é efetuada a fase de experimentação, na qual sucede a simulação do sistema e os testes em laboratório com o propósito de averiguar se a solução proposta, de fato, atenderá as expectativas que em suma se tratam dos objetivos destacados neste estudo. Na terceira fase deste modelo, nomeada por construção, realiza-se a concepção do projeto através da projeção do diagrama elétrico, desenvolvimento do *firmware*, *software* e placa de circuito impresso (PCI). Por último, e não menos importante, tem-se a fase de validação que sucederá aos testes finais do protótipo desenvolvido.

Figura 19- Processo metodológico.



Fonte: Autoria própria.

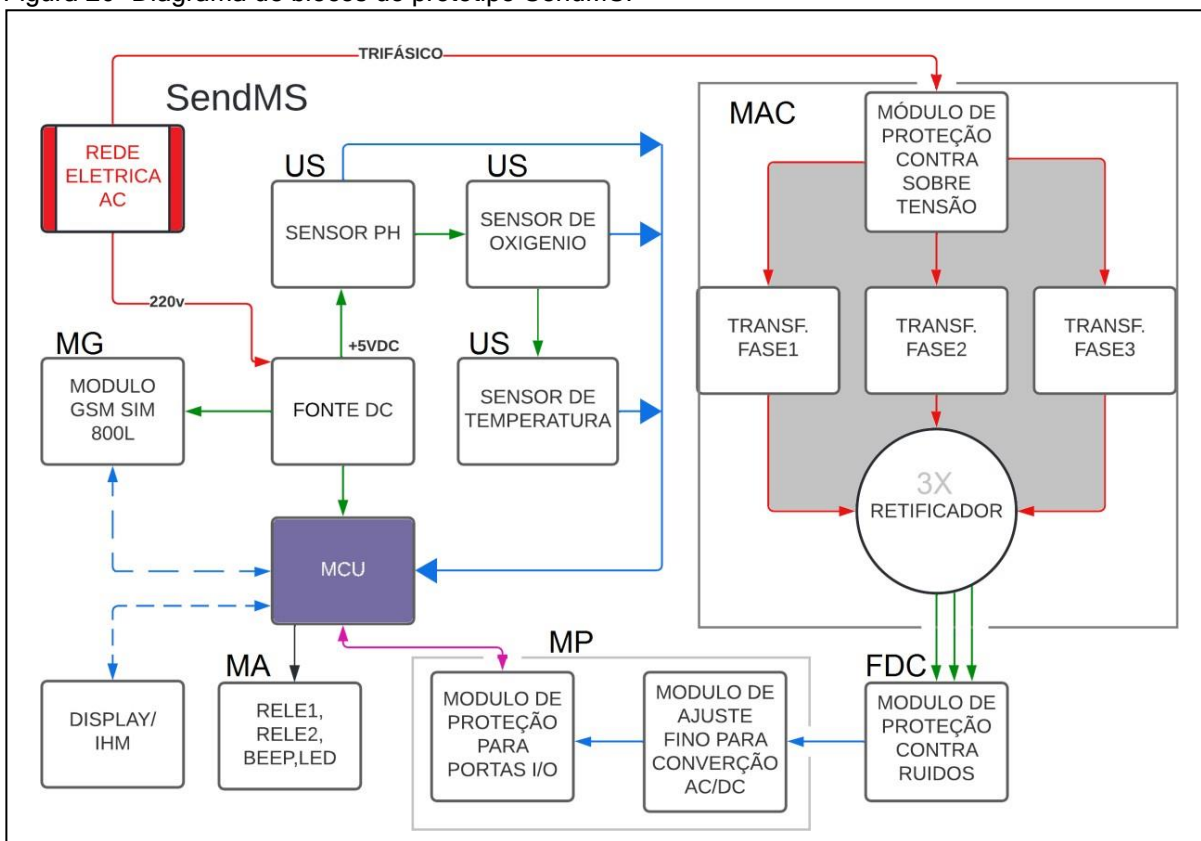
3.1 Planejamento

Nesta seção será demonstrada toda diagramação realizada para organização deste projeto, desde arquiteturas do protótipo e sistema até a sumarização dos módulos que constituem a aplicação.

3.1.1 Arquitetura do protótipo

De modo a obter maior organização das ideias e, conseqüentemente, facilitar o entendimento e desenvolvimento deste sistema, foi elaborada através da plataforma inteligente Lucidchart uma diagramação de blocos que contém toda integração entre as principais partes deste projeto. A arquitetura do protótipo é composta de módulos que são integrados de forma simples, trabalhando em conjunto para realizar as interações com o microcontrolador, com o propósito de organizar todos os dados aferidos. Estes dados recepcionados são enviados para uma plataforma titulada de *ThingSpeak*, que faz com que tais parâmetros sejam visualizados de forma *online*, de modo a também serem conferidos em uma interface local constituída por um *display* alfanumérico de 20 colunas por 4 linhas que faz uso do controlador Hitachi HD44780 compatível com microcontroladores de 8 bits. A Figura 20 a seguir esboça a idealização do *hardware* do sistema proposto, titulado de SendMS.

Figura 20- Diagrama de blocos do protótipo SendMS.

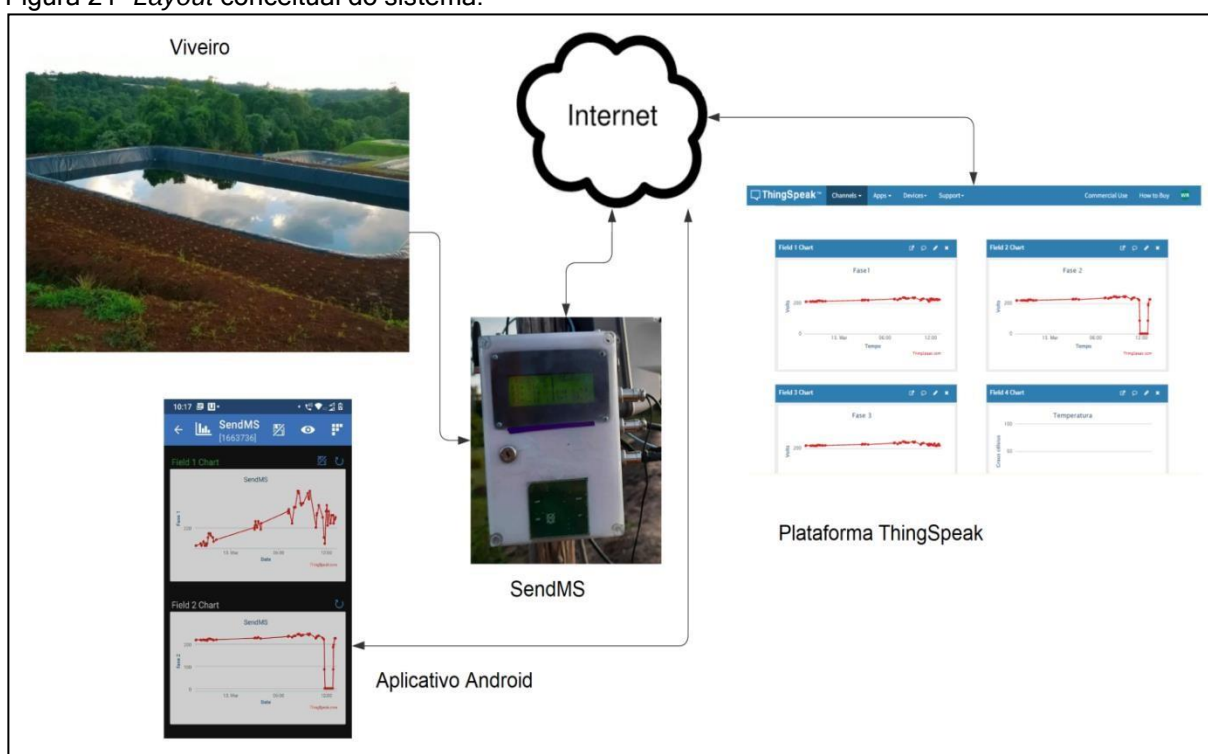


Fonte: Autoria própria.

3.1.2 Arquitetura do sistema

Em síntese, o sistema desenvolvido funciona por intermédio de sensores acoplados na placa principal, que tem por finalidade realizar leituras de parâmetros intrinsecamente relacionados à qualidade da água, como temperatura e pH, além de medir indicadores da rede elétrica como a tensão. Depois de realizada a medição os dados são tratados matematicamente pelo microcontrolador do protótipo, que os converte em cadeias de caracteres, propriamente conhecidas como *strings*. Após conversão, tais dados são enviados via internet, de modo, a fazer com que os usuários caracterizados pelo pequeno e médio produtor consigam visualizá-los em tempo real. Um *layout* conceitual deste processo é exibido na Figura 21 abaixo.

Figura 21- *Layout* conceitual do sistema.



Fonte: Autoria própria.

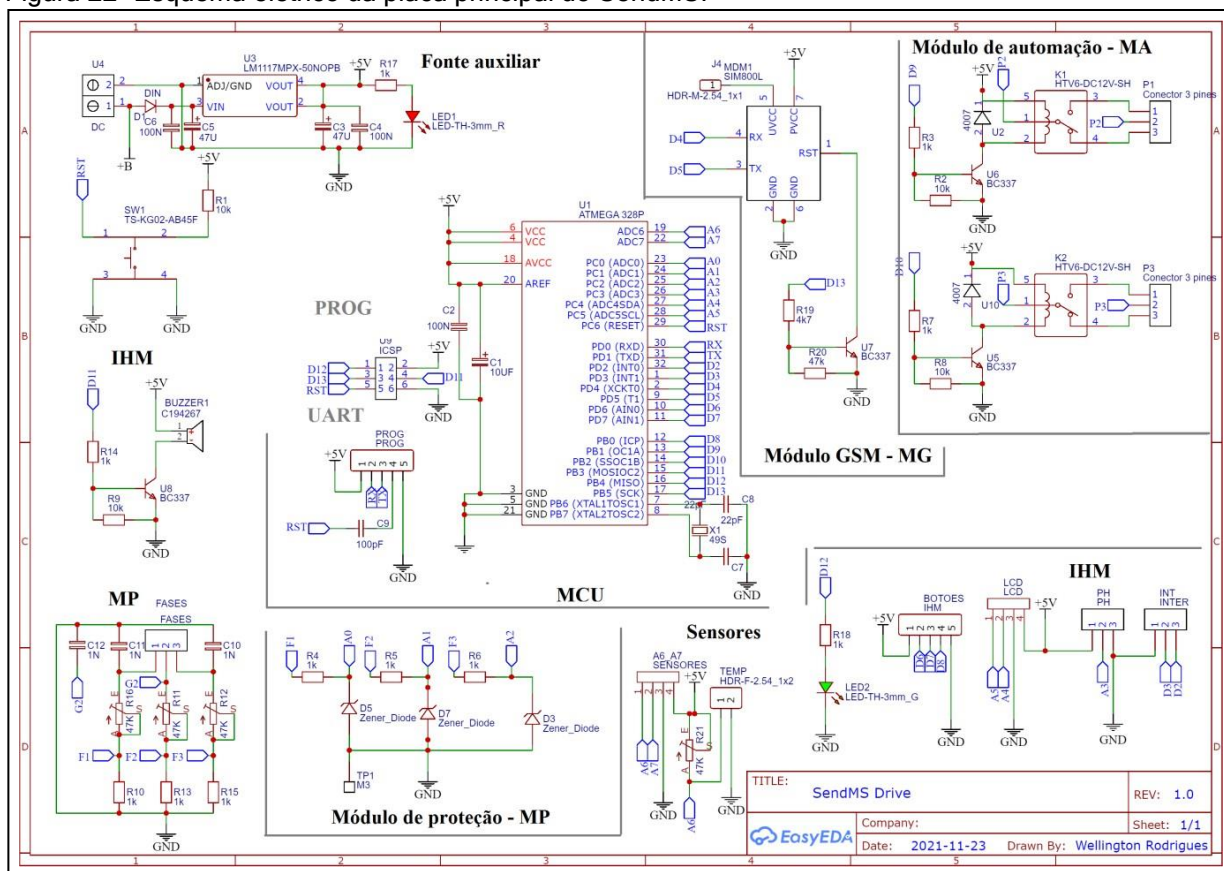
É importante enfatizar que todo este procedimento realizado tem por finalidade cooperar com o produtor, com o intuito de automatizar as técnicas de mensuração, a fim de ajudar a manter a qualidade de criação dos crustáceos.

3.1.3 Esquema elétrico

Na plataforma *online* titulada EasyEDA, que permite aos engenheiros de *hardware*, estudantes e amantes da eletrônica projetar simular e compartilhar seus projetos, foi desenvolvido o esquemático para esta aplicação, organizando seus principais componentes em módulos aglomerados de circuitos que trabalham em conjunto. O módulo MAC que possui circuito de proteção contra sobrecargas e filtro de linha é um exemplo de esquemático construído para esta pesquisa, com a finalidade de eliminar ruídos que possam interferir nos demais componentes.

Conforme ilustrado no esquema elétrico presente na Figura 22, este sistema será composto por sete módulos atuantes: fonte DC, MCU, sensores, módulo AC (MAC), módulo de proteção (MP), módulo de automação (MA) e módulo GSM (MG), que posteriormente serão detalhados.

Figura 22- Esquema elétrico da placa principal do SendMS.



Fonte: Autoria própria.

3.1.4 Módulos do sistema

Nesta seção serão exemplificados todos os módulos esquematizados do sistema proposto, a fim de caracterizar suas aplicações e relevâncias.

Fonte DC

Considerada um dispositivo que converte a tensão AC de 110/220 para tensão DC de 5VDC, esta fonte tem como propósito o fornecimento de tensão e corrente necessárias para alimentação dos demais módulos que constituem o sistema, além de desenvolvida com o intuito de mitigar interferências da rede elétrica. A fonte utilizada neste projeto é de característica chaveada, contendo saída única de 25 Watts e de acordo com o fabricante podendo operar com entrada de tensão que pode variar de 85 a 264VCA. Detém de proteção contra curto circuito de saída, além de sobrecargas, tensões e temperaturas elevadas. Na Figura 23 é exibida a fonte DC utilizada.

Figura 23- Fonte chaveada.



Fonte: Autoria própria.

MCU

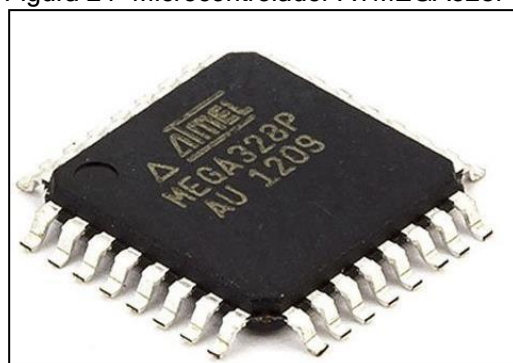
O termo MCU (*Micro Controller Unit*) é muito utilizado para identificação deste módulo que consiste em síntese, de um computador em um único chip. Neste projeto o microcontrolador usado no protótipo é de arquitetura RISC (*Reduced*

Instruction Set Computer), assinalado por ATMEGA328P. Basicamente, um chip que possui alto desempenho e baixo consumo. Além disto, pertence à família de tecnologia AVR de 8 bits e é bastante aplicado em projetos que fazem uso de placas Arduino.

O ATMEGA328P possui as seguintes características: memória flash de 32K bytes, memória RAM de 2K bytes, memória EEPROM de 1K byte e máxima taxa de clock de 20MHz, que neste caso foi definida a utilização da frequência 16MHz, com a finalidade de estabelecer o padrão com a plataforma de programação Arduino.

Este microcontrolador, cuja versão do chip não é automotiva, é composto de 32 pinos padrão *Quad Flat Package (QFP)* ou, como também é conhecido, por encapsulamento quadrado. Este CI contém internamente um conversor analógico digital de 8 bits, 6 canais PWM (*Pulse Width Modulation*), uma porta serial USART (*Universal Synchronous and Assynchronous Reciver Transmitter*) programável, interface serial SPI (*Serial Peripheral Interface*), interface serial I2C (*Inter-Integrated Circuit*), além de 23 pinos de entrada e saída programáveis. A tensão de operação deste dispositivo pode variar entre 1,8 e 5,5 volts, sendo a frequência máxima do clock dependente da configuração de tensão. A Tabela 6 apresenta os principais parâmetros do ATMEGA328P, que se encontra ilustrado na Figura 24 abaixo.

Figura 24- Microcontrolador ATMEGA328P.



Fonte: Newark (2022).

Tabela 6- Dados do ATMEGA328P.

Banco de registros	32x8
Contadores de 8 bits	2
Temporizador de 16 bits	1
Canais PWM	6
Canais analógicos	6 ou 8

Porta serial USART	1
Interface serial SPI	1
Interface I2C	1

Fonte: Datasheet Atmel (2015).

Sensores

Estão empregados neste estudo os seguintes sensores: PH-4502C e NTC 10K, encarregados de mensurar o pH e a temperatura, que no decorrer desta seção serão discutidos.

O primeiro sensor, denominado PH-4502C, é responsável pela medição do pH da água, composto por um eletrodo hidropônico que se assemelha a um tipo de sonda. Este sensor, em conjunto com o módulo amplificador eletrônico, fornece um valor de tensão que varia de acordo com a alteração do valor ôhmico da sonda. Este tipo de dispositivo é considerado ideal no monitoramento de níveis de pH em aquários, piscinas, hidroponia e aquaponia, de forma automatizada.

O PH-4502C possui diversas características que são listadas na Tabela 7 abaixo. Em suma, o parâmetro pH é uma métrica de acidez ou alcalinidade de uma solução, sua escala varia de 0 a 14, indicando concentração de íons de hidrogênio (H^+) presentes nos fluidos, podendo ser quantificado com precisão por sensores que medem a diferença de potencial entre dois eletrodos, sendo um eletrodo de referência prata/ cloreto de prata e outro de vidro, que se torna sensível ao íon de hidrogênio. Nas Figuras 25 e 26, é possível visualizar o módulo AMP OP responsável por converter variação de resistência em milivolts e a sonda, respectivamente.

Figura 25- Módulo AMP OP.



Fonte: Autoria própria.

Figura 26- Sonda pH.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 7- Dados do sensor de pH.

Intervalo de PH	0 - 14 PH
Faixa de temperatura	0 - 80 °C
Corrente de trabalho	5 - 10mA
Ponto zero	$7 \pm 0,25\text{PH}$
Erro alcalino	$\leq 15 \text{ mv}$
Tempo de sedimentação	$\leq 60\text{S}$
Potência	$\leq 0,5\text{W}$
Tensão do aquecedor	$5 \pm 0,2\text{V}$
Tempo de resposta	$\leq 5\text{S}$

Fonte: Fiddariani e Oktawati (2021).

O segundo sensor manuseado é conhecido como NTC 10K. O princípio de funcionamento deste dispositivo passivo basicamente opera da seguinte forma: a resistência elétrica é alterada termicamente, isto é, apresenta um valor de resistência para cada temperatura absoluta. Este modelo utiliza-se de um termistor NTC 10K, que contém $\pm 1\%$ de taxa de erro, que diminui ou aumenta sensivelmente sua resistência elétrica conforme a variação de temperatura da água, as demais características deste dispositivo são descritas na Tabela 8 e seu formato é exibido na Figura 27 a seguir.

Figura 27- Sensor de temperatura NTC 10K.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 8- Características do sensor de temperatura.

Tipo	NTC 10K 1%
Tensão de operação	3,3 ou 5VDC
Faixa de medição	-20 °C a 105 °C
Dissipação típica	5mW/°celsius
Sonda de isolamento	> 100M
Encapsulamento	Aço inoxidável
Dimensão	3mm x 20mm

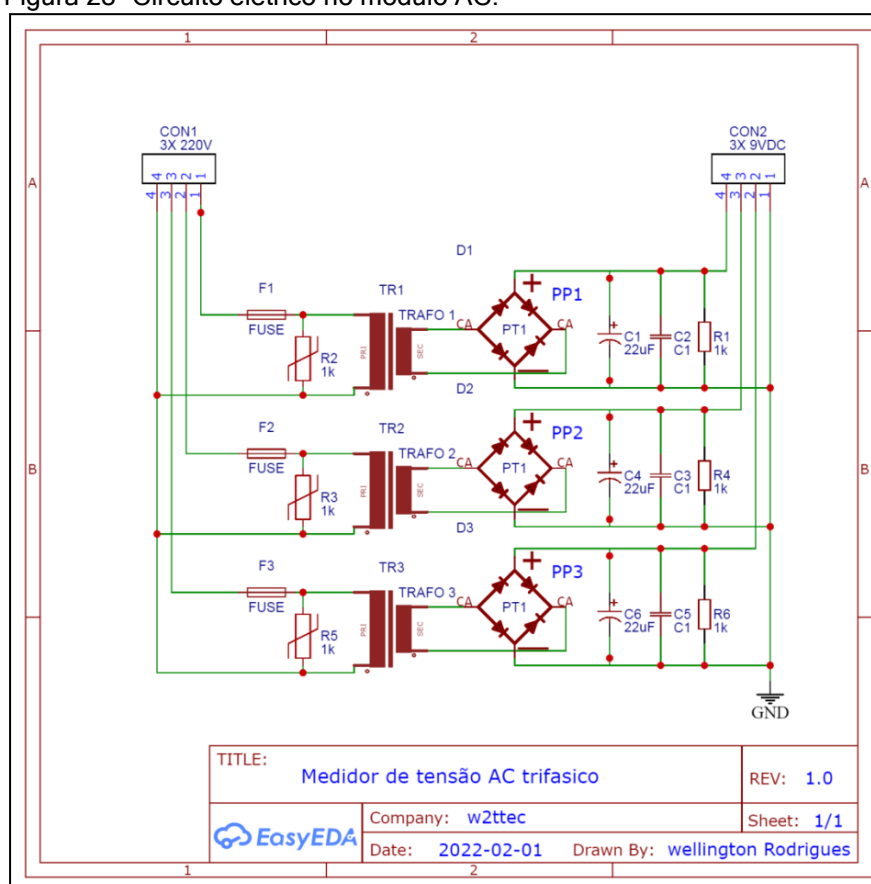
Fonte: Ilić, Butorac e Ferković (2008).

Módulo AC (MAC)

O Módulo AC (MAC) é o circuito capaz de prover o método para que o microcontrolador possa medir tensões alternadas sem danificar o chip. Basicamente o MAC é constituído por transformadores capazes de receber as tensões alternadas das fases da rede elétrica e convertê-las separadamente para tensões menores, porém, essas tensões ainda não são interpretadas pelo MCU, sendo necessária a utilização do processo de retificação de corrente alternada para corrente contínua, que na prática, consiste em um retificador de onda completa, na qual, de maneira sucinta, se trata da transformação do sinal AC (*Alternating Current*) em um sinal DC (*Direct Current*). Para realização deste processo é exigido um dispositivo chamado diodo retificador que permite a passagem da corrente elétrica em sentido direto não permitindo sua passagem no sentido contrário, denominada por corrente reversa.

Após conclusão das etapas da retificação, obtém-se, na saída do circuito, a tensão proporcional à entrada no transformador, ressaltando que o trafo usado neste sistema possui entrada de 220VAC e saída de 9VAC. Depois de retificado, o secundário passará para aproximadamente 12 volts de tensão contínua. O circuito presente na Figura 28 exibe detalhadamente o módulo AC formado por dispositivos passivos e de baixo custo, além do varistor que é um componente capaz de proteger o circuito contra cenários de sobretensão.

Figura 28- Circuito elétrico no módulo AC.



Fonte: Autoria própria.

Vale ressaltar que as tensões de entrada da porta analógica do microcontrolador se limitam a 5.5VDC, no qual, obviamente valores superiores danificariam a porta do micro, sendo necessária a utilização de outro circuito muito conhecido no âmbito da eletrônica, que é o divisor de tensão. De forma preventiva será trabalhado com a metade da tensão máxima das saídas retificadas do módulo MAC.

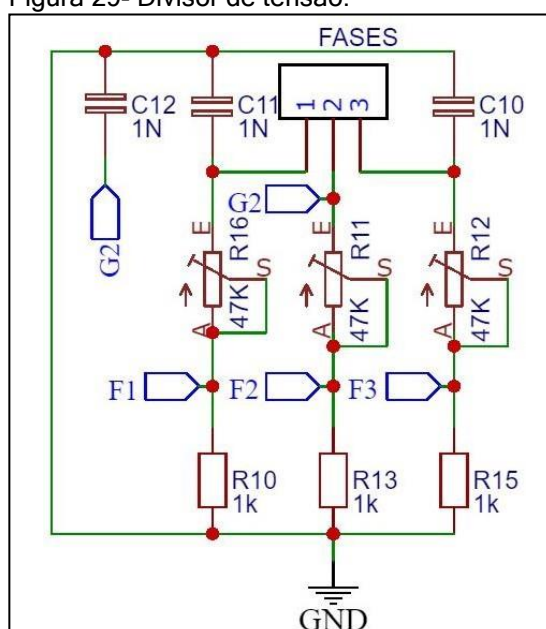
Como destacado na Figura 29, o circuito divisor de tensão tem a finalidade de dividir a tensão que é recebida de cada transformador através do conector C11, que

está diretamente ligado aos resistores R16, R11 e R12, que por sua vez, são trimpots lineares ajustáveis com variação manual de até 47K Ω para ajuste fino de tensão.

No módulo MAC optou-se pela utilização de transformadores, por serem mais resistentes, além de lineares à conversões mais precisas fazendo com que tensões de entrada que cheguem a 220 volts transformem-se na saída após retificação, a uma tensão aproximada de 12DC. Com ajustes manuais nos trimpots é possível obter uma tensão abaixo de 5,5 volts, deste modo, o microcontrolador consegue identificar o valor da entrada sem danificar sua porta analógica.

Em outro cenário a tensão da rede elétrica pode estar abaixo de 110 volts, fazendo com que sua saída seja dividida pela metade, sem causar dano algum ao microcontrolador. Porém, nas circunstâncias que este protótipo será instalado, a rede elétrica poderá sofrer bastantes oscilações e, conseqüentemente, o valor de saída de tensão do módulo MAC poderá sofrer picos altos de tensão e, por este motivo, é aplicada uma segunda alternativa de prevenção titulada por módulo divisor de tensão.

Figura 29- Divisor de tensão.



Fonte: Autoria própria.

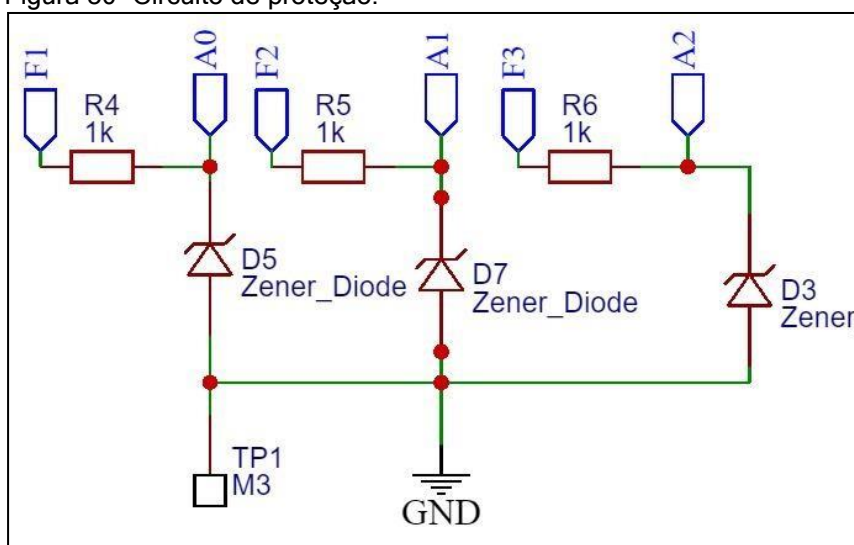
Módulo de proteção (MP)

As entradas do microcontrolador, como mencionado anteriormente, trabalham

com tensões que variam de 0 a 5,5 volts com o intuito de proteger as portas de entrada e saída do MCU, faz-se uso de diodo zener cuja tensão de regulação será de aproximadamente 5 volts.

O diodo zener, modelo 1N4733A, funciona com polarização invertida, ou seja, se a tensão passar de 5 volts ele irá estabilizar a DDP nos pontos A0, A1 e A2 no MCU para cerca de 5 volts. De modo contrário, ele atuará como um diodo comum de uso geral. A Figura 30 representa o circuito de proteção utilizado.

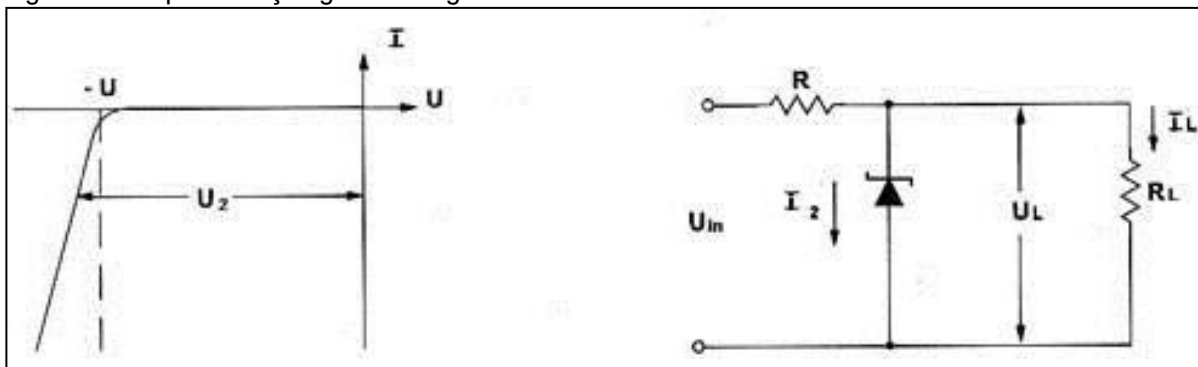
Figura 30- Circuito de proteção.



Fonte: Autoria própria.

Segue na Figura 31 ilustrada, que representa um circuito padrão do diodo zener, um exemplo para o cálculo de aplicação da fórmula que, para este caso, o diodo em questão está sendo aplicado como regulador de tensão, com o propósito de proteger as portas do MCU.

Figura 31- Representação geral do regulador de diodo zener.



Fonte: Braga (2010).

Aplicando a formula:

$$I_Z = \frac{(V_E - V_Z)}{R_S}$$

Tensão de alimentação (V_E) - A tensão de alimentação é a fonte de tensão de entrada, que flui através do diodo zener que, neste circuito, se trata da tensão de saída da bobina secundária do transformador.

Tensão Zener (V_Z) - Se trata de uma tensão, através do resistor de carga que é conectado em paralelo ao diodo zener, que neste caso, são os resistores de 1K Ω conectados ao divisor de tensão.

Resistor série (R_S) - Resistor limitador de corrente, conectado em série com a tensão de entrada, usado para limitar o fluxo máximo de corrente em um circuito.

Para o cálculo abaixo foi determinado uma tensão de 18 volts na saída do módulo AC que será proporcional à um valor de 440VAC na entrada, esta medida foi realizada caso o circuito de proteção construído de varistores e fusíveis falhe, resultando em uma máxima corrente de 0,013A na entrada do microcontrolador.

Substituindo valores de entrada na fórmula:

$$I_z = \frac{(V_E - V_Z)}{R_S} \rightarrow I_z = \frac{18 - 5}{1000}$$

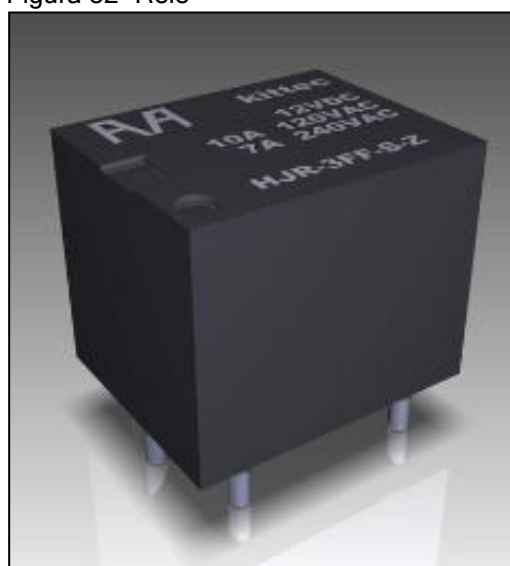
$$I_z = 0,013A$$

Este cálculo foi necessário, pois a porta do microcontrolador tem um limite de corrente estipulado em seu manual, informando que a corrente máxima que um pino I/O poderá fornecer ou drenar é de 40 mA, não podendo ultrapassar 200 mA a soma total dos pinos. As portas que realizarão constantemente esta aferição terão corrente constante de 13 mA, sendo este um valor aceitável para promover o bom funcionamento do circuito.

Módulo de automação (MA)

O protótipo desenvolvido possui dois relés de uso padrão, exibido na Figura 32, que podem ser utilizados para várias finalidades, sendo mais comum o seu uso como chave, de modo a acionar cargas de 10A de corrente ou dispositivos de até 2200 Watts.

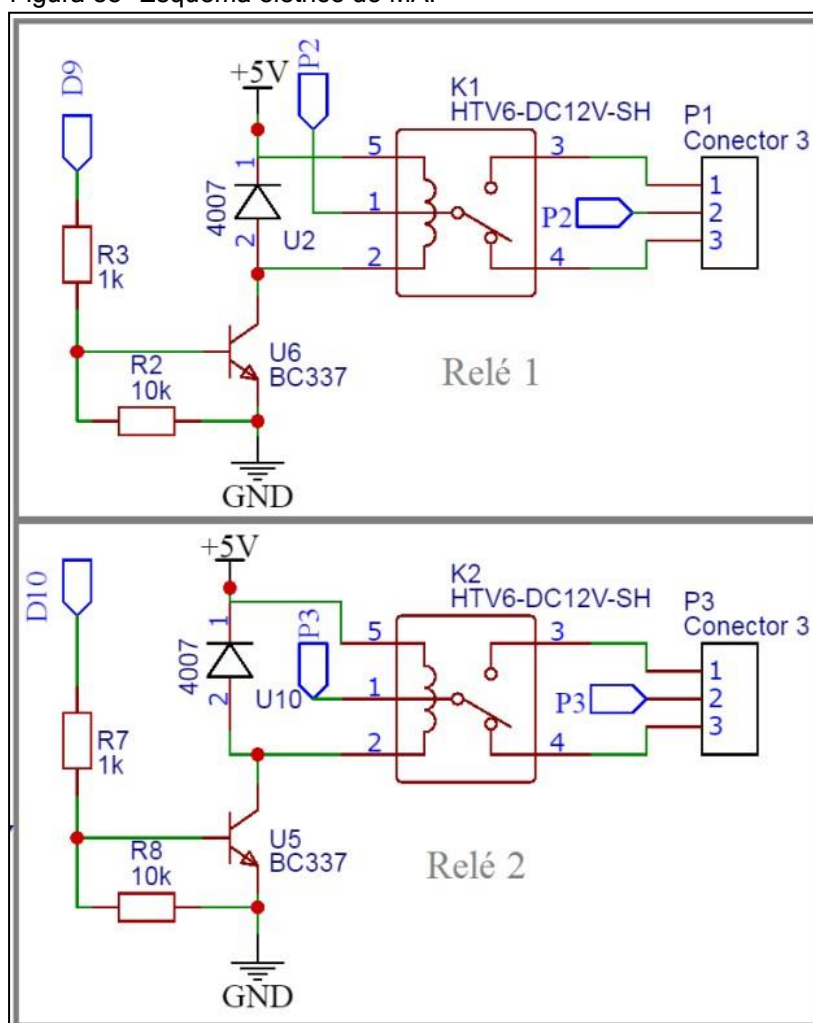
Figura 32- Relé



Fonte: Grabcad (2022).

Umas das funções configuráveis via terminal deste dispositivo utilizado no sistema proposto, é a de acionar um dos canais de automação, caso uma das fases inerentes à rede elétrica caia, e haja a necessidade do acionamento de um gerador, além de notificar o produtor via SMS do ocorrido. Os usuários podem escolher entre um sistema automático que efetue o acionamento das cargas sem intervenção humana ou a forma manual, através de decisões tomadas pelo próprio usuário, que serão efetivadas pelo aplicativo. O esquema elétrico do módulo de automação é demonstrado pela Figura 33.

Figura 33- Esquema elétrico do MA.



Fonte: Autoria própria

Módulo GSM (SIM800L)

O SIM800L é o dispositivo de rede usado neste estudo e foi projetado especialmente para integrar microcontroladores à rede mundial de computadores. Este pequeno módulo, presente na Figura 34, é Quad-band e opera nas seguintes faixas de frequência: 850MHz, 900MHz, 1800MHz 1900MHz, possuidor de um chip SIM card capaz de enviar e receber ligações GSM e mensagens SMS, seu *firmware* conta com protocolo TCP/IP embutido, portando uma velocidade máxima de 85,6kbps de conexão, tanto para *downlink*, quanto para *uplink*, que correspondem à taxa de conexão.

Figura 34- Módulo SIM800L.



Fonte: Autoria própria.

No mercado existem diversas versões de placas que utilizam o chip SIM800L, mas, de fato o modelo escolhido para este projeto é o especificado na Figura 35. O principal motivo desta escolha se deve ao fato de que este dispositivo opera com tensões de 5 volts, tendo em vista que esta versão de placa para o chip SIM800L contém regulador de tensão, diminuindo o custo e a complexidade da placa principal, sendo desnecessário o desenvolvimento de um circuito de alimentação à parte. Outro benefício desta versão é o fato desta placa fazer uso de cabo pigtail com conector SMA facilitando a instalação da antena GSM na caixa do protótipo.

Para comunicação entre microcontrolador ATMEGA328P e o módulo GSM SIM800L utiliza-se o método de comunicação *software* serial com taxa padrão de 9600bps, que atua da seguinte maneira: o microcontrolador passa comandos AT via *software* serial. Algumas das principais especificações deste módulo são listadas na Figura 35 a seguir.

Figura 35- Especificações do SIM800L

Feature	Implementation
Power supply	3.4V ~4.4V
Power saving	typical power consumption in sleep mode is 0.7mA (AT+CFUN=0)
Frequency bands	- Quad-band: GSM 850, EGSM 900, DCS 1800, PCS 1900. SIM800L can search the 4 frequency bands automatically. The frequency bands can also be set by AT command "AT+CBAND". For details, please refer to document [1]. - Compliant to GSM Phase 2/2+
Transmitting power	- Class 4 (2W) at GSM 850 and EGSM 900 - Class 1 (1W) at DCS 1800 and PCS 1900
GPRS connectivity	- GPRS multi-slot class 12 (default) - GPRS multi-slot class 1~12 (option)
Temperature range	Normal operation: -40°C ~ +85°C

Fonte: Datasheet SIM800L (2015).

3.2 Experimentação

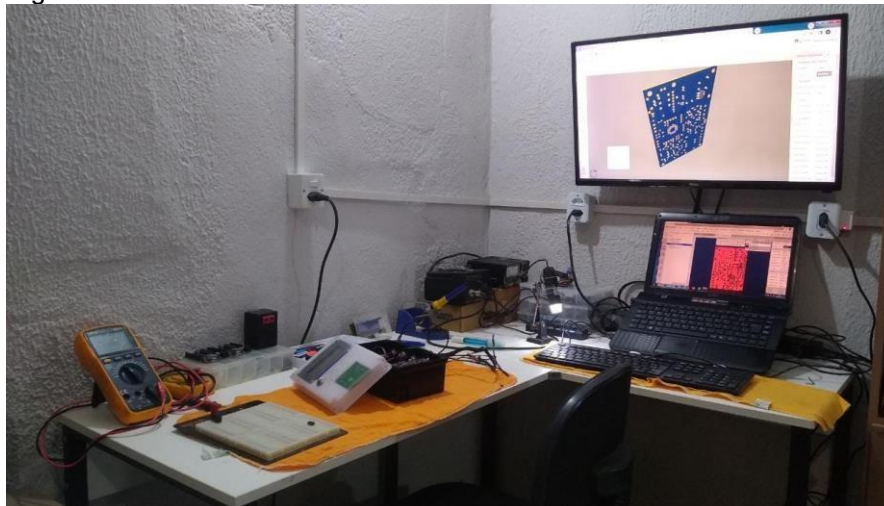
Nesta seção será abordada a simulação efetuada em *protoboard* do protótipo, além de informações acerca do local utilizado para prototipagem.

3.2.1 Local de prototipação

A partir do desenvolvimento, teste até construção do protótipo final que ocorreu em um ambiente improvisado de bancada, exibido na Figura 36, aqui também se inclui os instrumentos eletrônicos, como voltímetros, amperímetros, estação de solda, *protoboard*, resistores, leds e demais componentes eletrônicos, nos quais alguns destes foram fornecidos pelo laboratório GDEST (Grupo de Desenvolvimento em Sistemas de Telecomunicações e Sistemas Embarcados), vinculado ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Telecomunicações (PPGET) do IFCE, Campus Fortaleza, foi dado início ao roteamento e criação do *layout* da placa com base no esquemático projetado no site EasyEDA.

A placa final deste projeto será confeccionada na empresa JLCPCB, considerada uma das maiores empresa chinesas especializadas na produção de pequenos lotes de PCI, a empresa é gerenciada pela mesma equipe da plataforma EasyEDA. Se fez necessário, antes do envio à empresa, testar todo o circuito previamente para a geração dos demais arquivos indispensáveis à fabricação desta placa de circuito impresso (PCI).

Figura 36- Bancada de teste.



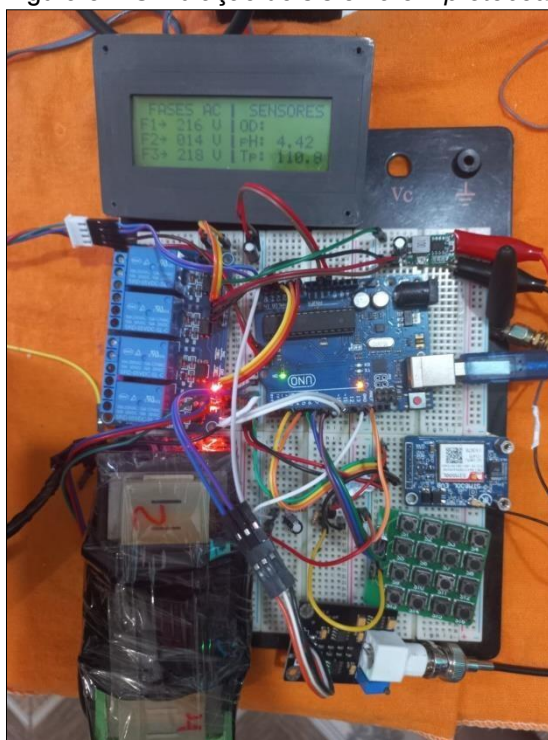
Fonte: Autoria própria.

3.2.2 Simulação do sistema

A comunicação base entre o GSM e o ATMEGA328P foi simulada em *protoboard*, que basicamente se trata de uma placa possuidora de furos e conexões internas para montagens de circuitos, na qual sua maior vantagem de uso é a não utilização de solda para conexão dos componentes.

Foi realizada a simulação de todos os módulos do sistema em partes individuais para validação de seu funcionamento e verificação da necessidade de ajustes no código fonte ou *hardware*. Na Figura 37 é representada parte desta simulação, na qual foi adotado um *display* alfanumérico 20 x 4 que relaciona-se ao Arduino UNO, chip GSM (SIM800L), botões de I/O, relés, leds e avisos sonoros, se fazendo possível a realização de testes em laboratório, possibilitando a previsão de pontos de ajustes que impactaram ao longo deste processo, principalmente ao *firmware*, devido a pouca memória existente no chip ATMEGA328P para acomodação correta de todas as funcionalidades propostas, havendo a necessidade de compactar o código fonte e remover algumas destas funções elaboradas do sistema, que passaram posteriormente por correções, que serão detalhadas no decorrer deste trabalho.

Figura 37- Simulação do sistema em *protoboard*.



Fonte: Autoria própria.

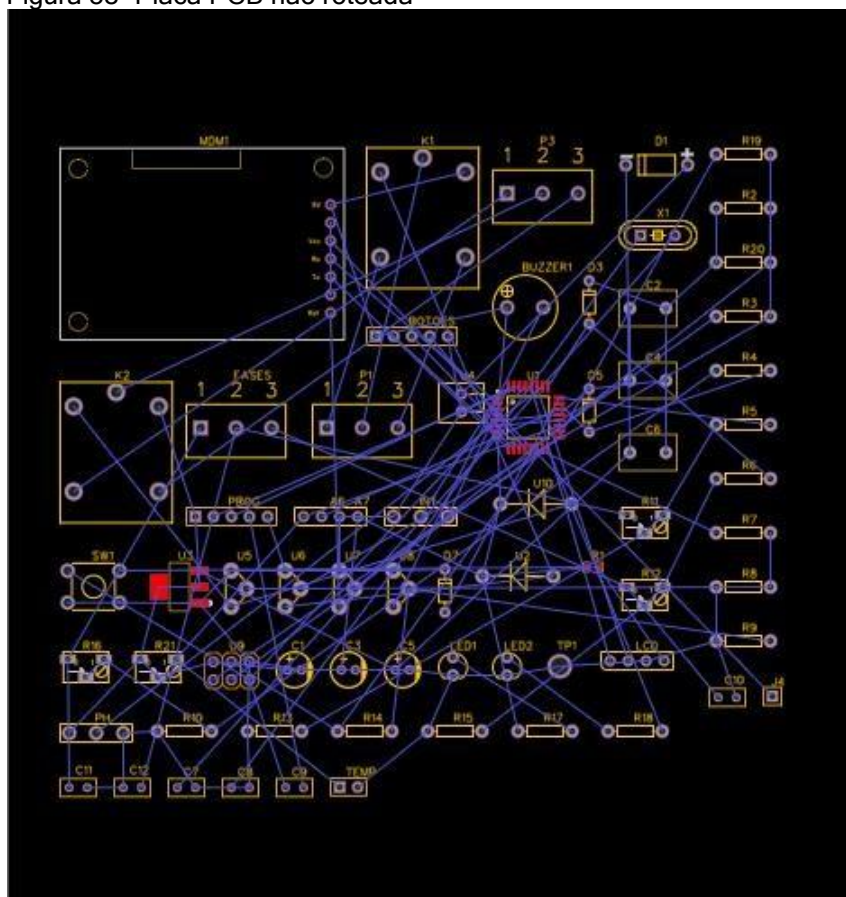
3.3 Construção

Nesta seção será abordada a montagem da placa de circuito impresso, a ligação e instalação de todos os módulos externos á placa central do sistema, além dos materiais utilizados.

3.3.1 Desenvolvimento da placa de circuito impresso (PCI)

Após resultados promissores com a execução de simulações e testes realizados em laboratório, inicia-se o processo de roteamento da placa na plataforma EasyEDA por meio da opção “Desing”, convertendo em seguida o esquema para PCI, exibindo todos os componentes dispostos na placa em tamanho real, como mostrado na Figura 38. No próximo passo será efetuado o roteamento da placa, sendo preferível neste caso rotear as trilhas da PCI manualmente, com o intuito de evitar ângulos indesejados de 90 graus.

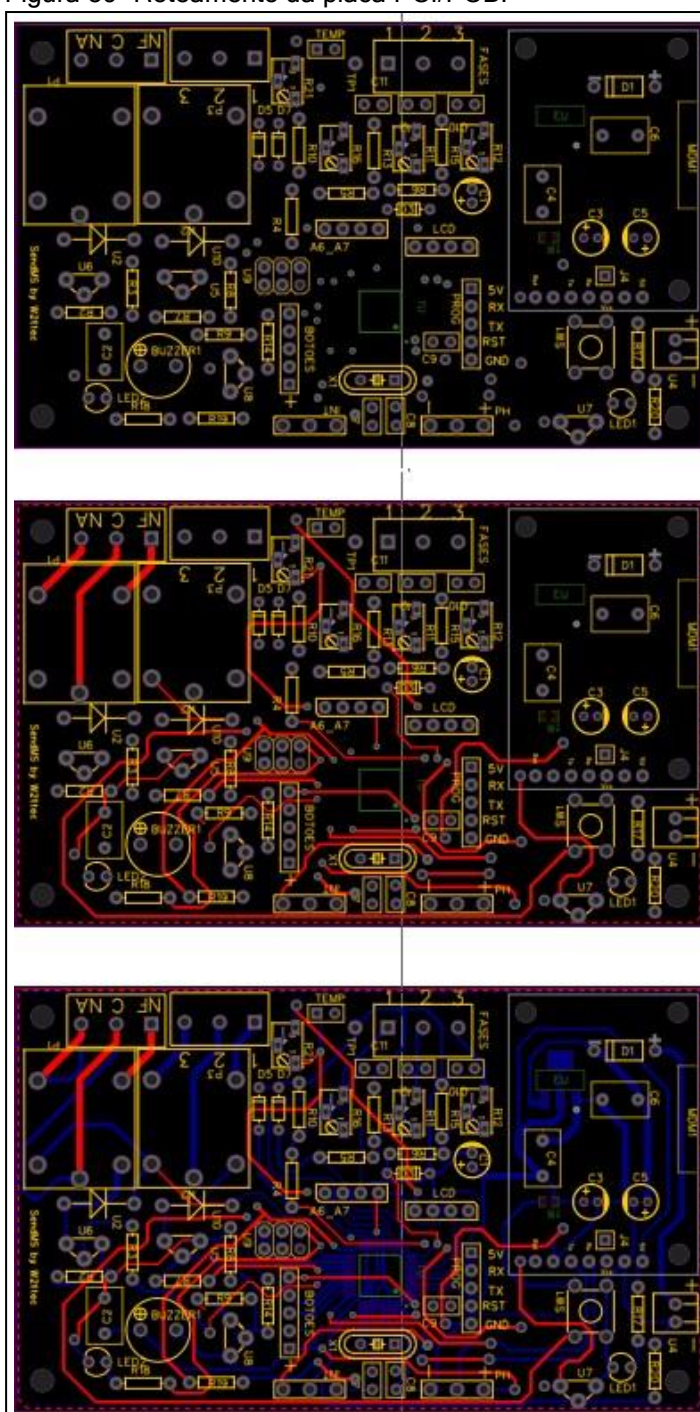
Figura 38- Placa PCB não roteada



Fonte: Autoria própria/ EasyEDA.

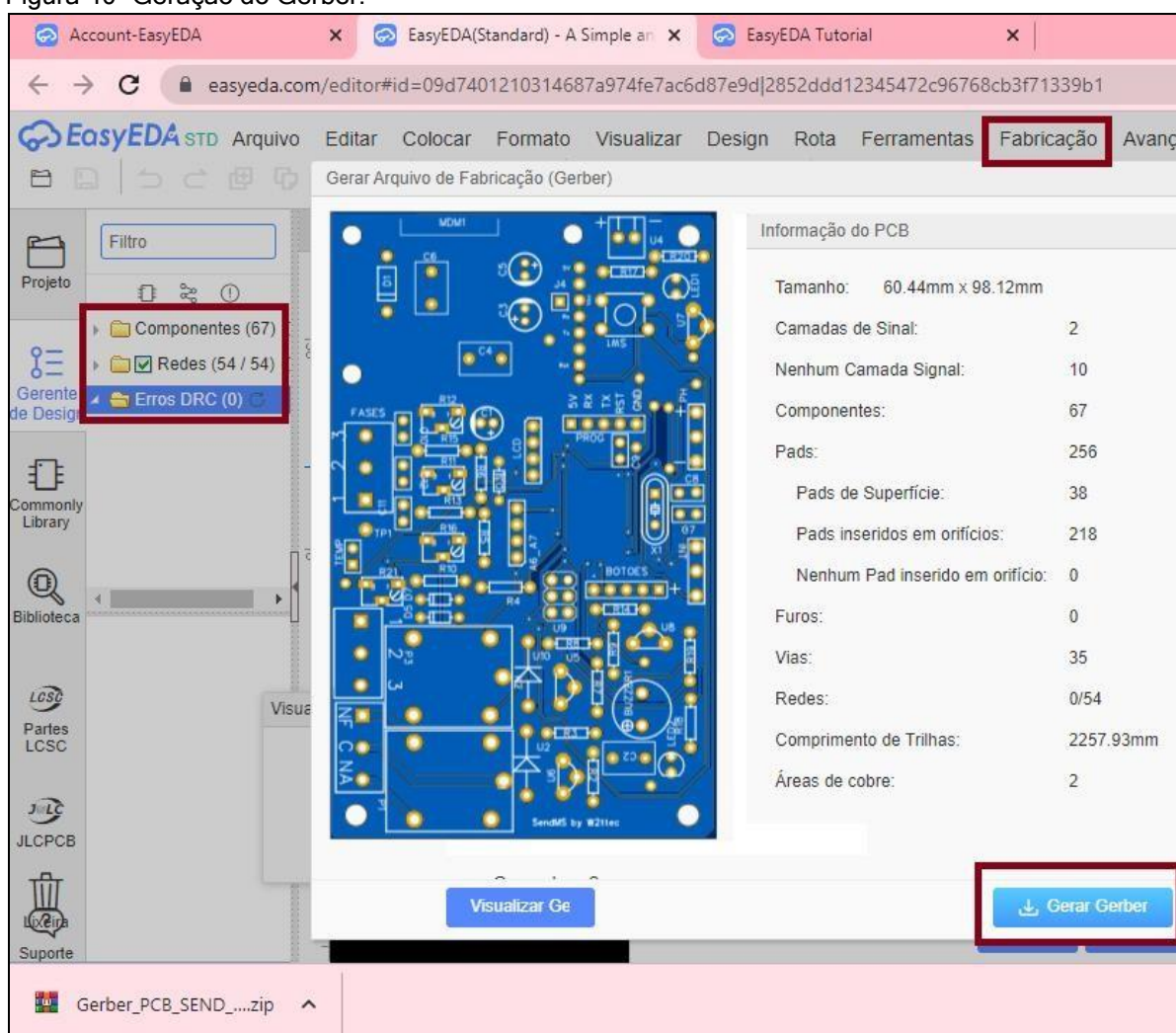
A placa PCI possui uma área de aproximadamente 60 mm x 98 mm, contendo 67 componentes. Será confeccionada em um *board* de fibra de vidro de duas camadas com malha de aterramento, cujo propósito, será principalmente evitar ruídos indesejáveis. Na Figura 39 é ilustrado o processo de roteamento da placa, onde se inicia com a camada inferior representada pela cor azul e depois a camada superior destacada pela cor vermelha que constituem as trilhas do circuito.

Figura 39- Roteamento da placa PCI/PCB.



Com a finalização do processo de roteamento, se faz necessário a geração de arquivos Gerber, por meio da ferramenta *online* EasyEDA, selecionando a opção “Fabricação”, que faz com que a interface realize a conferência de todas as trilhas, analisando se as mesmas estão de acordo com o esquemático produzido. Ao final deste procedimento, se não sucederem erros, o arquivo para posterior fabricação da PCI será gerado, como mostrado na Figura 40.

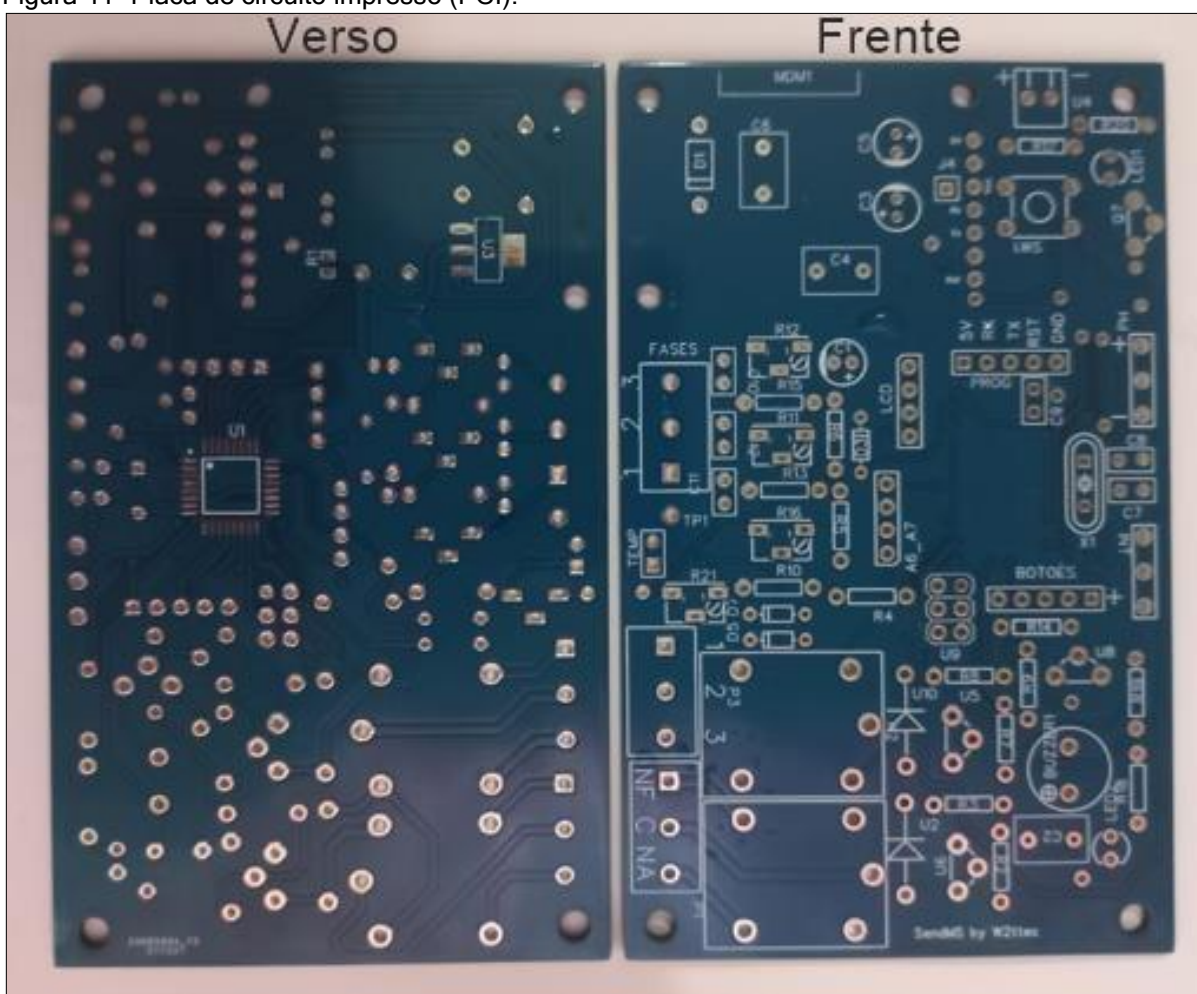
Figura 40- Geração do Gerber.



Fonte: Autoria própria/ EasyEDA.

Considera-se o custo para fabricação desta PCI bastante acessível no exterior se comparado á algumas fabricantes brasileiras, desta forma, foi optado pela fabricação da placa de circuito impresso em uma empresa chinesa de nome JLCPCB, com custo em torno de 5 dólares para 10 unidades, sendo o frete por conta do comprador. Como resultado final desta fabricação na Figura 41 é exibido a PCI de frente e verso.

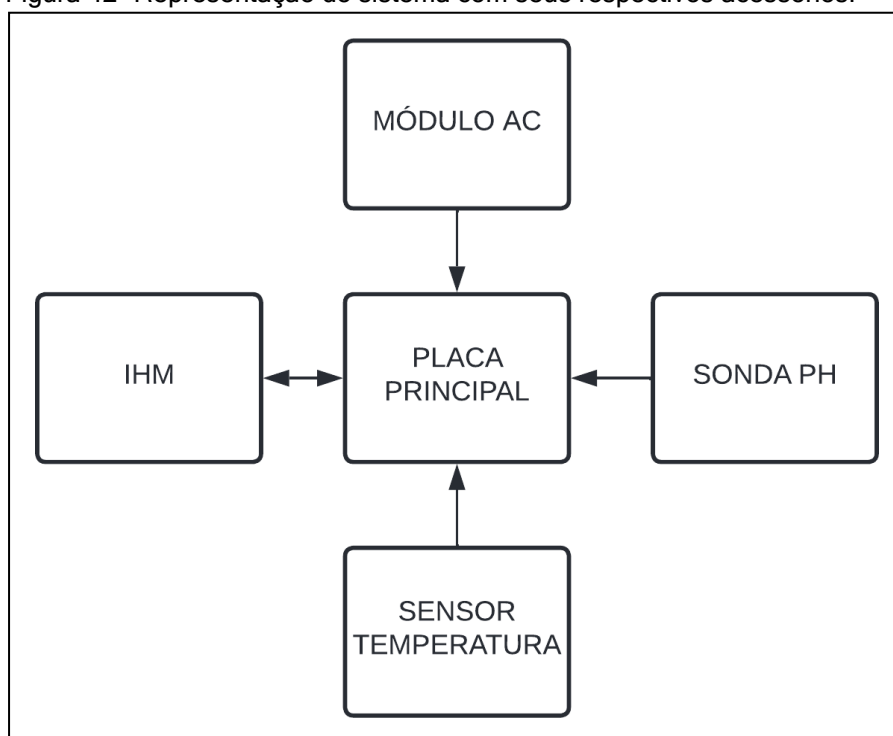
Figura 41- Placa de circuito impresso (PCI).



Fonte: Autoria própria.

Alguns dos módulos ligados a placa principal, chamados de acessórios, são compostos pela sonda pH, sensor de temperatura, interface homem máquina (IHM) e módulo AC, que foram adquiridos no mercado brasileiro. Na Figura 42 é destacado o módulo da placa principal interligado aos seus respectivos acessórios.

Figura 42- Representação do sistema com seus respectivos acessórios.



Fonte: Autoria própria.

Para exemplificar de forma precisa todo o custo obtido com o desenvolvimento deste projeto, são identificados abaixo todos os componentes utilizados, com seus respectivos valores. Na Tabela 9 é evidenciado o custo total para elaboração da placa principal.

Tabela 9- Custo da placa principal.

ID	NOME	LOCAL NO ESQUEMÁTICO	MODELO	UNI	CUSTO TOTAL
01	SENSORES	A6_A7	HEADER_1X4 FEMALE	1	R\$ 2,76
02	IHM	BOTÕES	HDR-F-2.54_1X5	1	R\$ 2,28
03	C194267	BUZZER1	BEEP - TH BD9.1-P5	1	R\$ 3,00
04	10UF	C1	CAP-D5.0×F2.0	1	R\$ 0,96
05	100N	C2,C4,C6	RAD-0.2	3	R\$ 1,80
06	47U	C3,C5	CAP-D5.0×F2.0	2	R\$ 2,10
07	22PF	C7,C8	RAD-0.2	2	R\$ 0,56
08	100PF	C9	RAD-01	1	R\$ 0,32
09	1N	C10,C11,C12	RAD-01	3	R\$ 0,96
10	DIODE IN	D1	D0-41	1	R\$ 3,50
11	DIODE ZN	D3,D5,D7	ZENER 5V1	3	R\$ 2,40
12	FASES IN	FASES 3X	CONECTOR T BLOCK 3	1	R\$ 1,50

13	INTER	INT MCU	CONECTOR M2	1	R\$ 1,50
14	2,54_1X1	J4	HDR-M-2.54_1X1	1	R\$ 2,76
15	HTV6DC12VS	K1.K2	RELAYHT3F12V	2	R\$ 5,00
16	CON-LCD M	LCD	HEADER_1X4 FEMALE	1	R\$ 2,76
17	LEDTH3MM	LED 1	LED-TH_BD3.0_GREEN	1	R\$ 0,60
18	LED-TH-3M	LED 2	LED-TH_BD3.0_RED	1	R\$ 0,60
19	SIM800L	MDGSM	SIM800L	1	R\$ 149,90
20	CON-3	P1,P3	PCB_CONECTOR_AC_3P	2	R\$ 3,00
21	PH	PH-M	PCB_CONECTOR_AC_3P	1	R\$ 1,50
22	PROG	PROG	HDR-F-2.54_1X5	1	R\$ 2,76
23	10K	R1	R0603	1	R\$ 0,10
24	10K	R2, R8, R9	R_AXIAL - 0.3	3	R\$ 0,15
25	1K	R3:R7,R10,R13:R15,R17	R_AXIAL - 0.3	11	R\$ 0,55
26	47K	R11,R12,R16,R21	TRIMPOT	4	R\$ 12,00
27	4K7	R19	R_AXIAL-0.3	1	R\$ 0,10
28	47K	R20	R_AXIAL-0.3	1	R\$ 0,10
29	KGAB45F	SW1	KEY-TH_4P	1	R\$ 0,50
30	HDR-F2	TEMP	HDR-M-2.54_1X1	1	R\$ 2,80
31	M3	TP1	M3	1	R\$ 1,50
32	MCU	U1	TQFP-32_7X7X08P	1	R\$ 41,00
33	4007	U2,U10	DIODE COMUM	2	R\$ 1,00
34	LM1117	U3	SOT-223_	1	R\$ 5,00
35	DC	U4	TBLOCK-0.1	1	R\$ 2,00
36	BC337	U5:U8_TRANSISTOR	BC337 TO-92	4	R\$ 2,80
37	ICSP	U9_HEADER	ICSP	1	R\$ 4,90
38	49S	X1	HC-49S XTAL	1	R\$ 1,00
MANUFATURA: FABRICANTE JLCPCB					R\$ 20,00
CHINA POST: FRETE					R\$ 62,00
CUSTO TOTAL DA PLACA PRINCIPAL:					R\$ 350,32

Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 10 são exibidos os custos empregados com a conquista de todos os componentes externos necessários ao sistema.

Tabela 10- Custo dos componentes externos.

ID	COMPONENTE	MODELO	QTD	CUSTO TOTAL
01	PONTE RETIFICADORA	2W10	3	R\$ 7,50
02	VARISTOR 220V	S10K	3	R\$ 6,00

03	TRANFORMADOR	220/9	3	R\$ 66,00
04	FILTRO PROTEÇÃO EMI	CW1D	1	R\$ 43,00
05	DISPLAY 20X4 I2C	HD44780	1	R\$ 64,90
06	PLACA TOUCH 4 CANAIS	TP223	4	R\$ 19,60
07	CAIXA PATOLA	PB-170	1	R\$ 78,75
08	4 PARES CNC MIKE	GX16	4	R\$ 63,60
09	SONDA PH	PH-4502C	1	R\$ 147,00
10	SENSOR DE TEMPERATURA	NTC 10K	1	R\$ 10,90
11	CABO MANGA	4XAWG26	8	R\$ 10,80
12	DIVERSOS/MONTAGEM	YA-XUN	1	R\$ 20,00
CUSTO TOTAL DOS COMPONENTES EXTERNOS:				R\$ 538,05

Fonte: Autoria própria.

A espera referente à chegada da placa produzida foi aproximadamente cerca de 20 dias úteis, resultando em um custo total entre construção da placa e obtenção dos demais componentes necessários o valor de R\$ 888,37.

3.3.2 Montagem dos componentes eletrônicos

Para preparação da PCI foram usadas as seguintes ferramentas: solda cobix com composição de 60% estanho e 40% chumbo, fluxo e estação de solda de modelo analógico Hikari HK-936 de 60 Watts, alicate de precisão diagonal modelo Safiratec-170, multímetro HM2090 da Hikari, sugador de solda, pinças, além de diversos materiais auxiliares para apoio da limpeza, como o álcool isopropanol. Na Figura 43 é exibida as ferramentas utilizadas para concepção desta placa.

Figura 43- Ferramentas utilizadas na montagem.

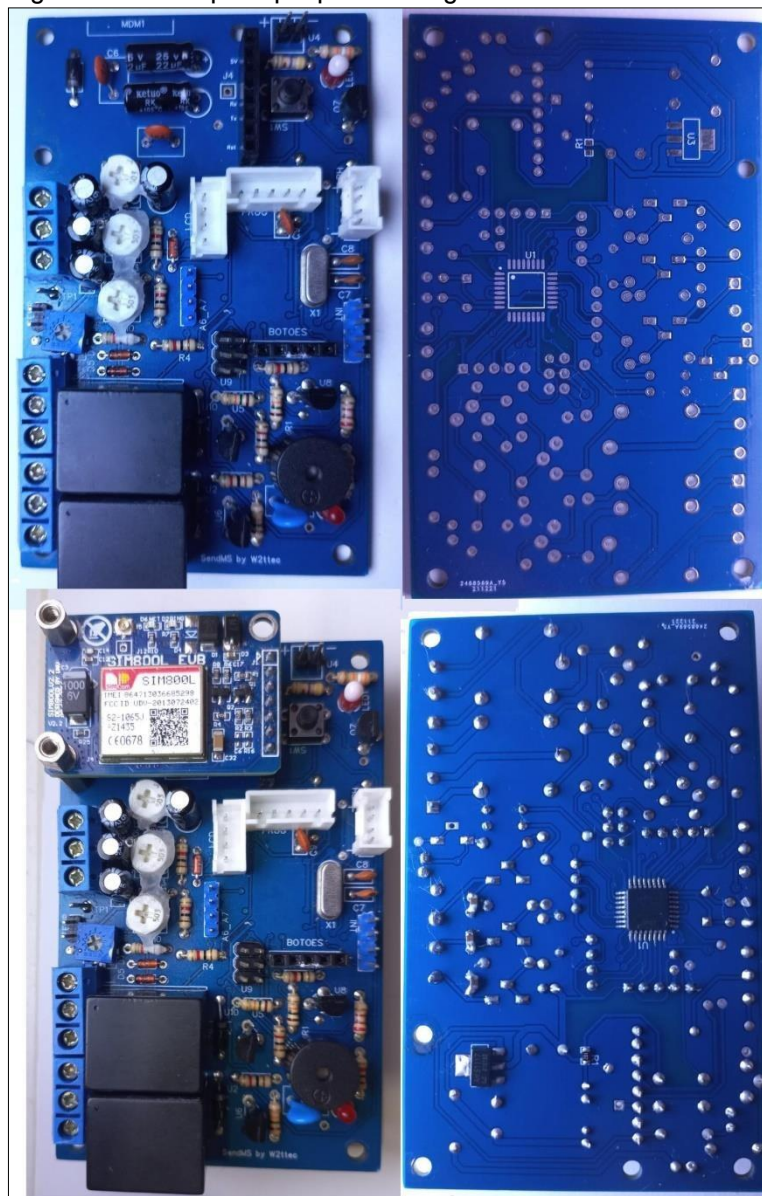


Fonte: Autoria própria.

Os componentes foram inseridos na placa usando a seguinte ordem: primeiro foram inseridos todos os resistores e posteriormente soldados na placa, subsequentemente foram colocados os transistores, e por último os componentes de maior área, que são constituídos por relés, módulo GSM e conectores. Seguidamente todos os componentes foram unidos à PCI, realizando na sequência a limpeza de quaisquer resíduos existentes com auxílio do álcool isopropanol 99,8%, finalizando o processo de montagem com apoio do multímetro em escala de

continuidade para aferição de todas as trilhas, de modo a constatar seu correto funcionamento. Na Figura 44 é mostrado o resultado final deste procedimento.

Figura 44- Placa principal pós-montagem.



Fonte: Autoria própria.

Com o processo de montagem da placa concluído, iniciou-se o procedimento de preparação do protótipo por meio da integração de todos os dispositivos necessários na caixa patola modelo PB-170, que necessitou de ajustes técnicos como a abertura de quatro furos em sua lateral direita, a fim de receber os conectores que irão se acoplar aos sensores externos, além de um furo na lateral esquerda para conexão da antena com o módulo GSM, também foi anexado o módulo AC. Na Figura 45 é possível visualizar a caixa patola e o dispositivo MAC

incorporado, assim como os furos realizados.

Figura 45- Caixa patola PB170.



Fonte: Autoria própria.

Para acabamento deste protótipo, foi instalada a placa principal interligando todas as conexões fundamentais à sua performance, como conectores tipo Mike responsáveis pelo contato com os sensores: PH-4502C de pH e o NTC 10K de temperatura, além do módulo AC que será designado à receber as fases da rede elétrica. Na Figura 46 é mostrado o protótipo final composto por seu *firmware*, idealizado na plataforma Arduino, exibindo dados mediante funcionamento das conexões da placa principal com os dispositivos externos.

Figura 46- Protótipo final.



Fonte: Autoria própria.

3.3.3 Desenvolvimento do *firmware*

O *Firmware* pode ser considerado um pequeno *software* sendo executado em um dispositivo de *hardware* que exercem funções básicas através de pinos de entrada e saída, comumente conhecidos de I/O. O ambiente de desenvolvimento integrado ou habitualmente conhecido pela sigla IDE, que se utiliza da linguagem C++ foi o *software* responsável pela escrita dos códigos pertencentes ao *firmware* desta aplicação de maneira rápida e eficiente. A IDE do Arduino presente na Figura 47 foi a plataforma escolhida para este desenvolvimento, pois o *hardware* deste projeto é baseado na placa Arduino UNO, que foi precisamente adotado neste estudo.

Figura 47- IDE Arduino.

```

172 // ----DECLARAR FUNÇÕES----//
173 void IMPRIMIR_LCD();
174 boolean BOTAO_SET();
175 boolean BOTAO_RIGHT();
176 void BOTAO_LEFT();
177 void SHOWHOME();
178 void MENU1();
179 void MENU2();
180 float MEDIR_PH();
181 float mapFloat();
182 float MEDIR_TEMP();
183 void CADASTRAR_NUMERO();
184 void GRAVAR_TELEFONE();
185 String LER_TELEFONE();
186 String GSM_WRITE();
187 void GPRS_THINGSPEAKER();
188 void DADOS_THINGSPEAKER();
189
190 //-----//
191
192

```

Fonte: Autoria própria/ Arduino IDE.

O código fonte foi construído com base nas funções que o SendMS necessitaria para seu acurado funcionamento, desta forma, decidiu-se seguir um protocolo para melhor organização desse *firmware*. Na concepção do código foi dada prioridade às funções que não teriam a priori necessidade de atualizações posteriores, tais como: funções de interface gráfica, interação homem máquina, avisos sonoros, interrupções entre outras.

Funções que necessitassem de constantes atualizações e ajustes com o *hardware* foram feitas posteriormente, devido a possíveis exigências de alterações frequentes, conforme fossem surgindo premências ou limitações no decorrer do projeto.

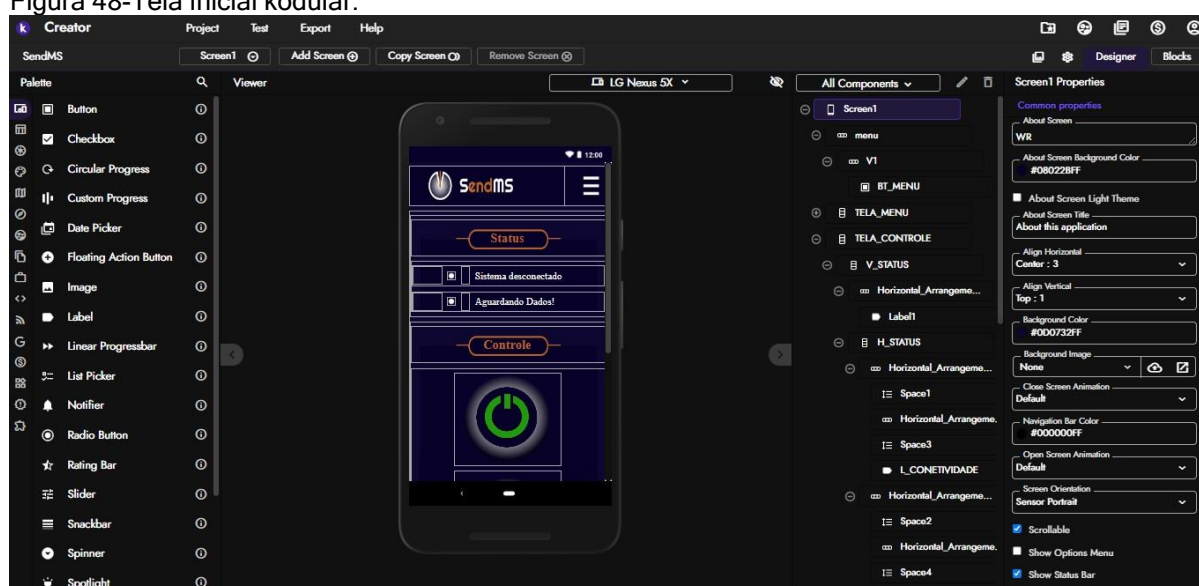
3.3.4 Desenvolvimento do aplicativo

O sistema SendMS como foi titulado, é um *software* desenvolvido através da plataforma kodular, uma ferramenta inovadora que permite ao usuário desenvolver programas sem necessariamente saber programar, fazendo uso de blocos lógicos intuitivos à programação. Neste trabalho o SendMS faz uso de tecnologia GSM para

comunicar-se com a nuvem, utilizando também mensagens curtas (SMS) para envio de comandos com intuito de ligar ou desligar os módulos de automação da placa principal. Com o objetivo de facilitar a automação e envio destas mensagens de texto foi preferido o desenvolvimento de um aplicativo móvel que enviasse mensagens pré-programadas com apenas um único clique de botão.

A plataforma onde a aplicação foi desenvolvida é dividida em dois ambientes: *front-end* e *back-end*, sendo esboçado pela Figura 48 o local onde foi criado o *desing* do aplicativo, conhecido pelos programadores como *front-end*.

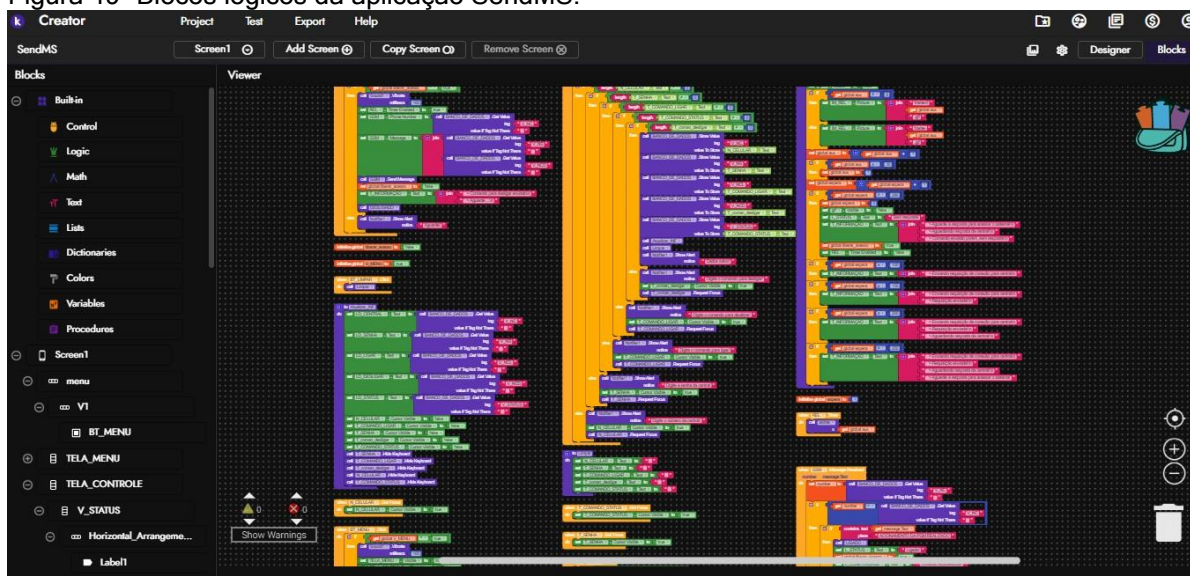
Figura 48-Tela inicial kodular.



Fonte: Autoria própria/ Kodular.

O segundo passo do desenvolvimento começa quando o *layout* do aplicativo esta organizado. As imagens e a legenda do *desing* são inseridas em caixas dentro do esboço, que se tornam objetos manipuláveis por meio de blocos exibidos na Figura 49. Estes blocos proporcionam alterações como cor da fonte, imagem, som e demais alternativas, como alterar a coloração das opções após interações do usuário, manipulando toda regra e lógica do negócio. Este passo também é conhecido por *back-end*.

Figura 49- Blocos lógicos da aplicação SendMS.



Fonte: Autoria própria/ Kodular.

Enquanto os blocos são inseridos no ambiente é possível acompanhar todas as alterações de *layout*, ações e efeitos dos objetos no sistema através de depuração USB em dispositivo Android, visualizando todas as alterações em tempo real.

3.4 Validação

Nesta seção serão exibidas as verificações realizadas no protótipo final com objetivo de aferir seu funcionamento, além dos ajustes necessários.

3.4.1 Verificação do protótipo

Com o processo de construção finalizado foram feitos testes e medições em todos os componentes integrados aferindo a qualidade da comunicação e dos dados, com propósito de averiguar se as expectativas acerca do produto seriam atendidas. Para realização de medições foram executados testes com auxílio de um multímetro HM2090 testando níveis de saída e valores de entrada, também foi averiguado o consumo de corrente e os níveis de tensão elétrica do sistema como um todo, resultando em ajustes finos do equipamento, que no *software* basicamente se tratou da modificação dos valores de referência e variáveis constantes do microcontrolador, e no *hardware* resultou na alteração dos valores nos trimpots de ajustes de referências de tensão das portas analógicas do ATMEGA328P. Na Figura

50 são apresentados os resultados de medição da tensão, pH e temperatura a partir de testes executados no protótipo ajustado.

Figura 50- Verificação do protótipo.



Fonte: Autoria própria.

3.4.2 Testes em laboratório e campo

Primeiramente foram realizados testes em laboratório por meio de uma bancada improvisada, na qual foi aferido todo o sistema de ponta a ponta, desde configurações fundamentais ao funcionamento do aplicativo, analisando sua usabilidade e resposta a cada interação realizada, até o envio dos dados para o protótipo, averiguando seu andamento mediante simulações de cenários adversos como oscilações de rede elétrica, á níveis indesejáveis dos parâmetros medidos e enviados.

Os testes em campo foram efetuados em ambiente real, como um viveiro, cuja dimensão aproximada é de 300 m², localizado na zona rural do município de Jaguaruana - Ce, conhecido como Frutuoso, demograficamente ilustrado na Figura 51. Neste ambiente foi explorada a capacidade da aplicação em situação real, além de simulado todas as condições adversas possíveis, analisando a resposta do sistema, como ações, comunicação, recepção e transmissão dos dados.

Figura 51- Localização do viveiro utilizado para testes em campo.



Fonte: Google Maps.

RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos com a realização de todo processo caracterizado na metodologia, que abrange toda experimentação do sistema SendMS, desde testes em laboratório á testes em campo.

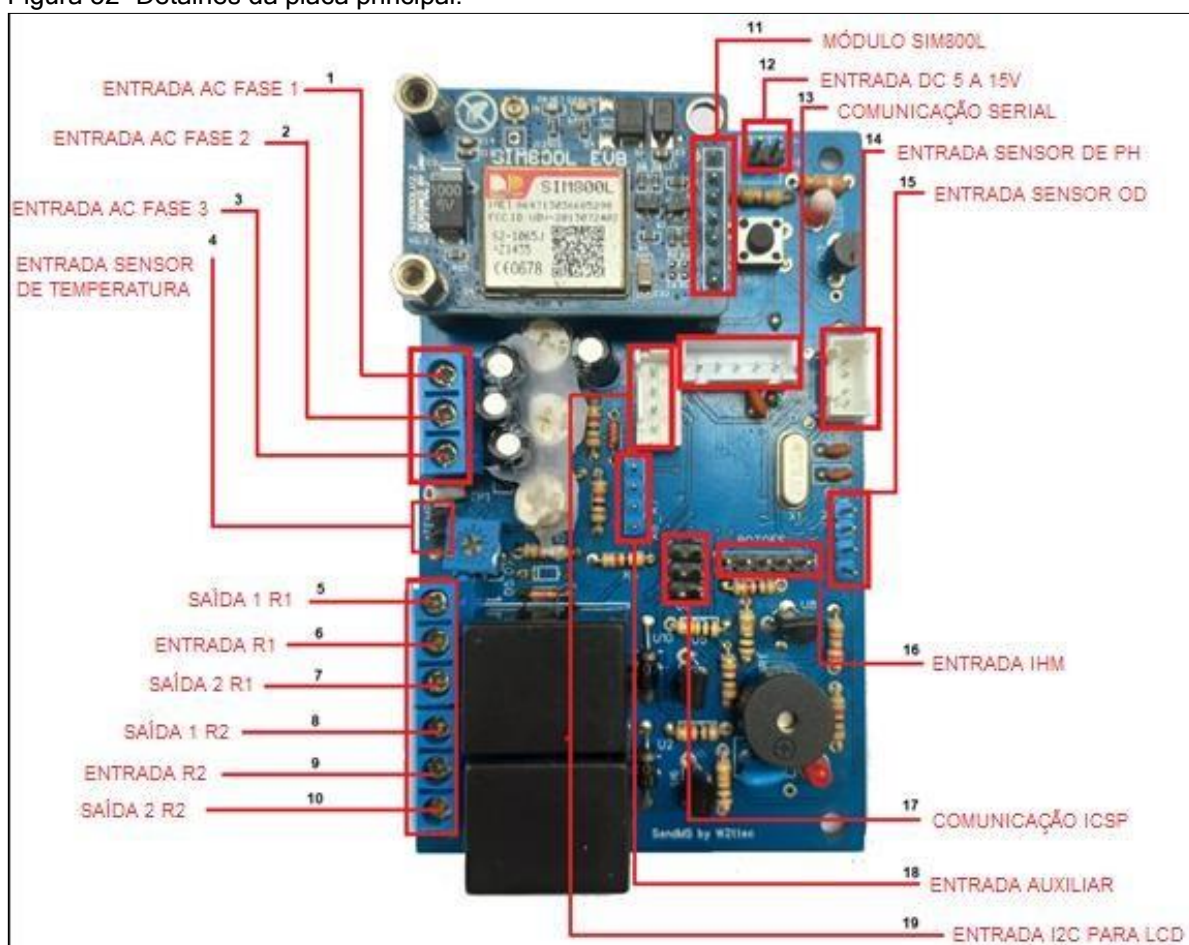
4.1 O *Hardware*

O *Hardware* deste protótipo é constituído por uma placa principal composta de componentes como módulo SIM800L, entradas de sensores e fases, interface de entrada de botões, alimentação DC, comunicação serial, saídas entre outros, representados na Figura 52 através de numerações. Por meio da realização de testes em laboratórios se fez possível aferir a qualidade dos componentes inseridos, assim como suas limitações.

Considerando que o *hardware* atualmente trata-se de uma solução limitada e, conseqüentemente a placa não atenderá a princípio todos os recursos desejados, como é o caso da medição do parâmetro de oxigênio dissolvido, devido a pouca memória do microcontrolador e também a indisponibilidade de obtenção do sensor necessário para esta ação, foram implementados apenas os sensores responsáveis pela aferição de parâmetros como temperatura, pH e tensões da rede elétrica.

A placa possui quatro trimpots de ajustes, também conhecidos como resistores variáveis, um para cada fase de entrada AC e outro para o sensor de temperatura. Todos os valores lidos nesta aplicação baseiam-se em leituras analógicas, sendo necessário incrementar resistores variáveis como pequenos ajustes finos, com intuito de obter melhores resultados dessas leituras.

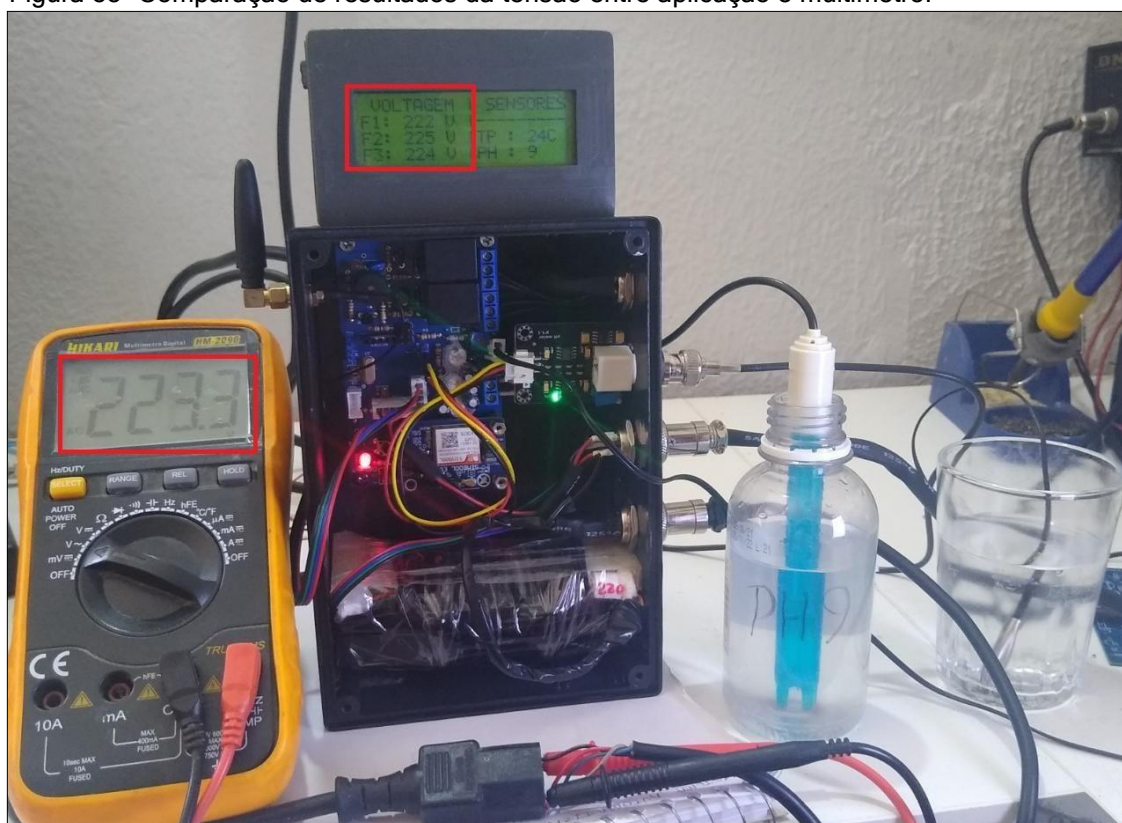
Figura 52- Detalhes da placa principal.



Fonte: Autoria própria.

Como resultado dos testes executados em laboratório, a placa principal se mostrou eficiente em cumprir seu propósito de medir e reportar dados confiáveis relacionados aos parâmetros impostos, como temperatura, pH e informações acerca da rede elétrica. Após aferição da tensão AC retornada pelo módulo MAC os valores explorados chegaram bastante próximo ao valor medido pelo multímetro, obtendo margem de erro de aproximadamente ± 2 volts, como visualizado na Figura 53 a seguir.

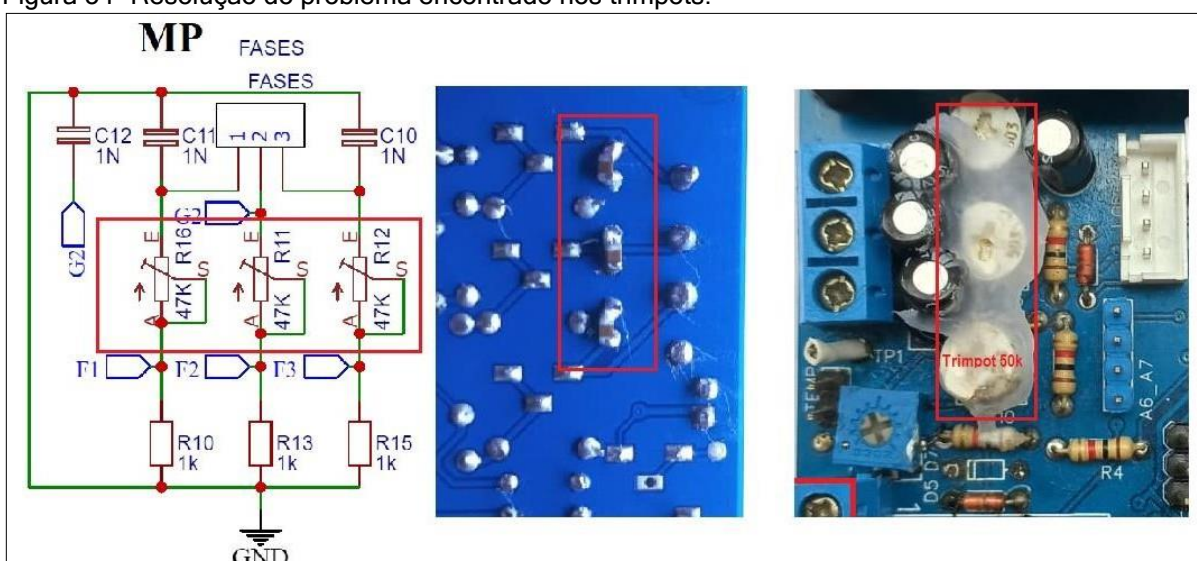
Figura 53- Comparação de resultados da tensão entre aplicação e multímetro.



Fonte: Autoria própria.

O primeiro problema encontrado durante a execução de testes na placa principal estava relacionado aos trimpots originados da China, que possuíam valor errôneo de 50K em relação ao esperado pelo projeto que seria em torno de 47K, além de se mostrarem com qualidade inferior em relação a outros modelos, como os da CazenOveyi, de modo a causar mudanças constantes nos valores lidos através do módulo AC. A princípio presumia-se que este problema se tratava de insuficiência por parte dos capacitores de desacoplamento que poderiam estar gerando ruídos na entrada do microcontrolador, porém, esta hipótese foi descartada, uma vez que, ao ser realizada a inserção de capacitores para suprir tal necessidade, percebeu-se a persistência do problema, constatando a variação intermitente dos trimpots, que posteriormente foi resolvida simplesmente utilizando adesivo de silicone, de modo a fixar os componentes à placa, evitando quaisquer variações que possam ocorrer no eixo do dispositivo, como esboçado pela Figura 54.

Figura 54- Resolução do problema encontrado nos trimpots.

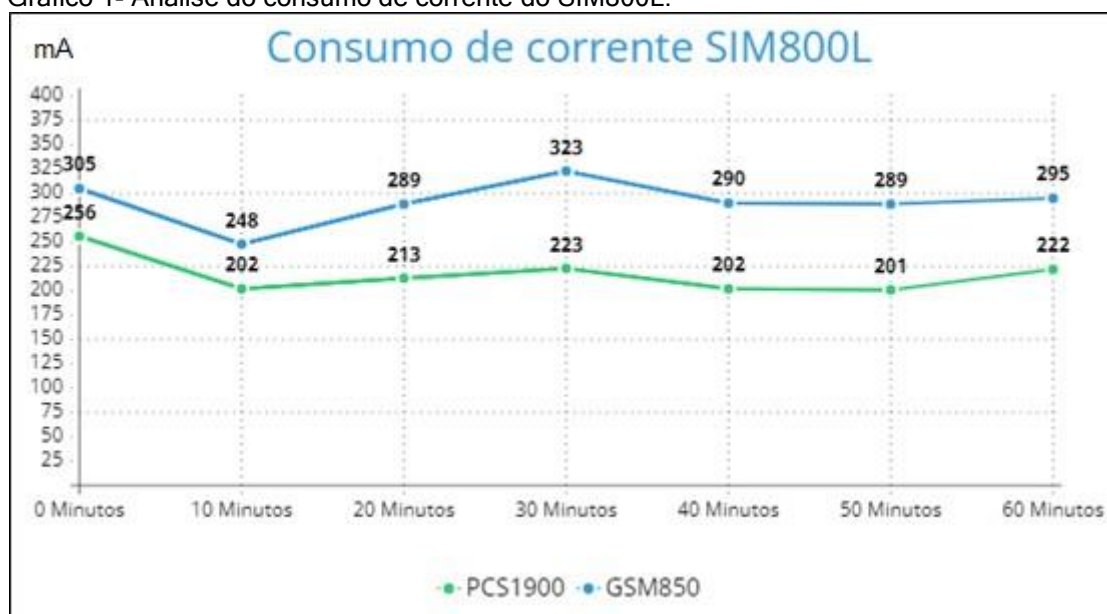


Fonte: Autoria própria.

O dispositivo de maior consumo, presente na placa principal, é o módulo SIM800L responsável pela comunicação GSM, após leitura detalhada do manual desse componente percebeu-se que o dispositivo conta com diferentes valores de consumo da corrente elétrica, isso ocorre devido as diferentes frequências que se conectam variando seu consumo. A partir desta informação ocorreu a necessidade de realizar testes com propósito de medir o consumo elétrico em todo o sistema SendMS.

Esta experimentação foi efetuada com auxílio de um multímetro Hikari, modelo HM2090, que mediu os valores de corrente em miliampéres (mA) efetuados em intervalos de 10 minutos, totalizando o ensaio de uma hora, repetindo-se duas vezes, sendo destinado à medir a corrente de consumo do módulo SIM800L que operava em duas frequências distintas, sendo elas referentes aos protocolos GSM850 e PCS1900. No Gráfico 1 abaixo é retratado os resultados deste experimento.

Gráfico 1- Análise do consumo de corrente do SIM800L.



Fonte: Autoria própria.

Realizada análise dos resultados obtidos com a experimentação de corrente do módulo SIM800L em duas frequências distintas, foi possível observar que o consumo médio da corrente elétrica, retirada a partir dos dados do gráfico acima, operada no modo GSM850 é de 291,28 mA, já no modo PCS1900 este valor é menor com cerca de 217 mA, resultando em dados inferiores aos fornecidos pelo manual do componente presente na Tabela 11.

Tabela 11- Consumo de corrente do SIM800L conforme manual.

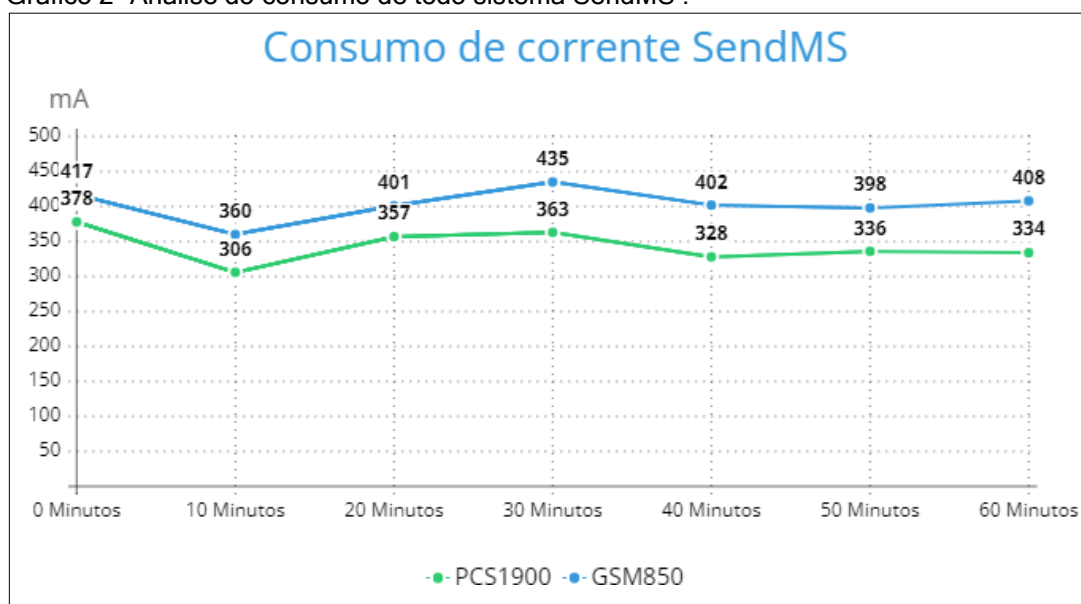
Protocolo	Consumo típico
GSM850	394 mA
PCS1900	285 mA

Fonte: Adaptado de Datasheet SIM800L (2015).

Os valores retratados são inferiores se comparados aos consumos típicos de corrente informados pelo datasheet do componente, sendo que a frequência GSM850 possui seu consumo típico de 394 mA, já o modo PCS1900 possui o valor típico do consumo de corrente de 285 mA, além do manual relatar que o dispositivo pode chegar a possuir picos de correntes de até 2 amperes. Esta informação se fez preocupante devido a placa principal do sistema fazer uso de um regulador de tensão LM1117 que fornece apenas 800 mA.

Para ensaio do consumo de corrente de toda a aplicação foi realizado um experimento, cujo resultado se faz presente no Gráfico 2, para medições do consumo do sistema como um todo incluindo ambos os modos de operação GSM, efetuado da mesma maneira que elaborada na análise do SIM800L.

Gráfico 2- Análise do consumo de todo sistema SendMS .



Fonte: Autoria própria.

Toda a aplicação SendMS representa o consumo de corrente, com média de 403 mA, operando no modo GSM850 e, no modo PCS1900 a 343,14 mA. Se compararmos o valor de consumo do sistema em relação ao valor fornecido da fonte local de 800 mA, é possível observar que o regulador de tensão modelo LM1117 teria capacidade de fornecer a corrente necessária sem sofrer danos, porém, devido ao alerta do fabricante deste módulo, acerca de picos de corrente que podem suceder a esta média chegando até 2 Amperes, se fez necessário uma adaptação que modificasse o pino de alimentação do módulo GSM, fazendo uso do terceiro conector da caixa patola com objetivo de fazer com que o chip receba sua alimentação diretamente da fonte externa, prevenindo, deste modo, que o regulador sofra qualquer avaria em relação a sobrecorrente.

4.2 O Firmware

O *Firmware* deste projeto é formado por quatro menus, cada um contendo

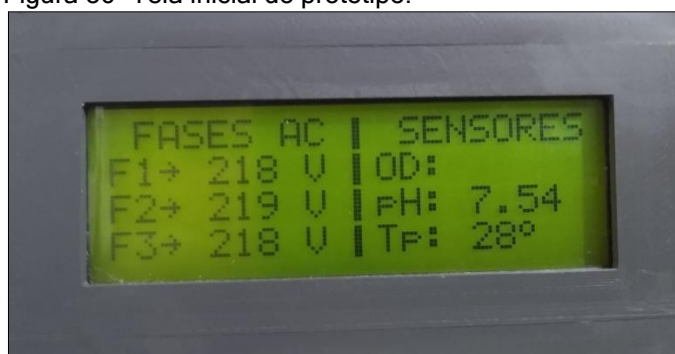
três submenus que podem ser navegados por meio de uma placa *touch screen* localizada a frente do protótipo, visto na Figura 55. Inicialmente é exibido no menu principal informações acerca das métricas enviadas pelos sensores, que são respectivas a voltagem da rede elétrica e a dados de temperatura e pH, como mostrado na Figura 56.

Figura 55- Placa *touch screen*.



Fonte: Autoria própria.

Figura 56- Tela inicial do protótipo.



Fonte: Autoria própria.

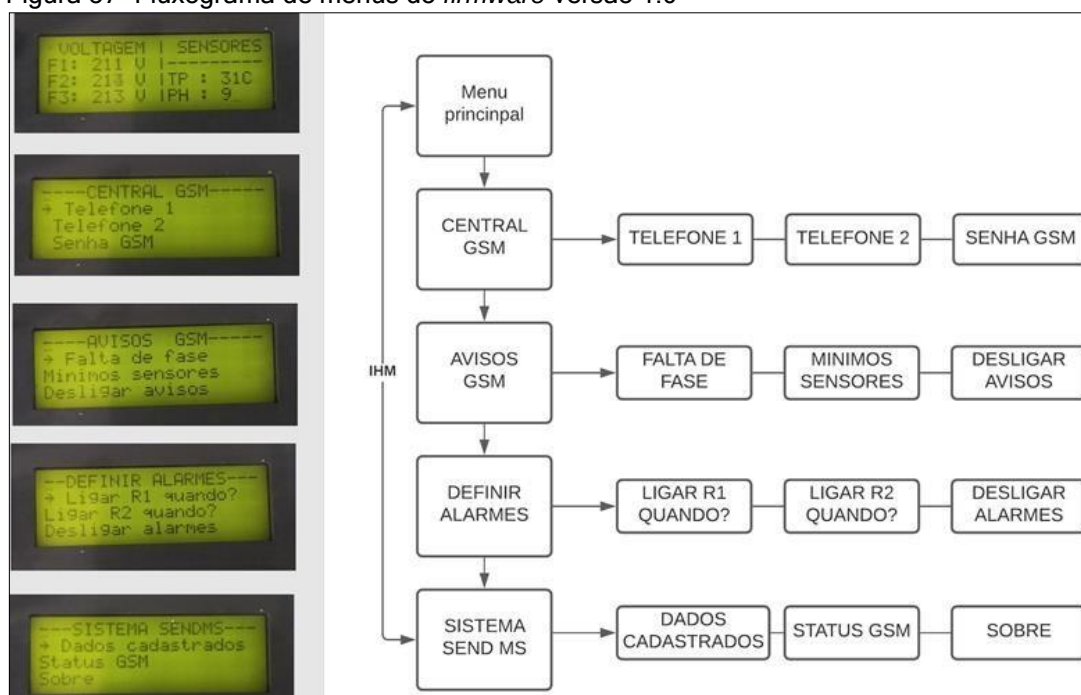
A sequência de opções de navegação foi definida da seguinte forma: no *display* LCD é exibido o primeiro menu definido por meio do nome “CENTRAL GSM”, responsável pelo cadastro de telefones e senha para controle e segurança de acesso. O segundo menu é titulado de “AVISOS GSM” que tem a função de relatar ao usuário, através de chamada telefônica ou mensagens de texto por meio dos números pré cadastrados as notificações referentes a alterações de estados que ocorrem quando acontecem eventos adversos que representem risco ao crustáceo e, de modo geral, a produção, como é o caso de oscilações na rede elétrica quando uma das três fases apresentarem valores abaixo de 180 volts, além de alterações nos níveis aceitáveis de parâmetros como temperatura que se limitam a uma faixa

ideal de 26 °C a 32 °C e o pH que deve permanecer entre o intervalo de 7,5 á 9,0 como classificado. Todos os valores idealizados são pré-definidos na programação do *firmware*, fazendo com que tais ações considerem quaisquer alterações atípicas ou variações bruscas. Também existe a possibilidade de desligar todos os avisos programados de forma a interromper esses alertas enviados pelo *software*.

A definição de alarmes é caracterizada pelo terceiro menu presente nesta aplicação, com esta opção habilitada o sistema passa a interagir de forma automatizada sendo possível ligar ou desligar dispositivos conectados aos módulos relés, além do usuário conseguir definir, por intermédio do *touch screen* quando a operação deverá ser realizada, da mesma maneira é possível desligar todos os alertas programados.

Por último, o sistema conta com o menu “SISTEMA SENDMS” encarregado de mostrar todos os dados cadastrados, fazendo com que o usuário consiga visualizar suas informações que estão gravadas na memória EEPROM do microcontrolador. O “STATUS GSM” contém os dados disponíveis relacionados a conexão GSM, como endereço IP, intensidade de sinal, nome da operadora e API. Com a opção “SOBRE” é finalizada a listagem dos submenus, que ilustra a versão do *firmware* e dados do desenvolvedor. Na Figura 57 a seguir são explanados todos os menus e submenus deste sistema, detalhando sua hierarquia.

Figura 57- Fluxograma de menus do *firmware* versão 1.0

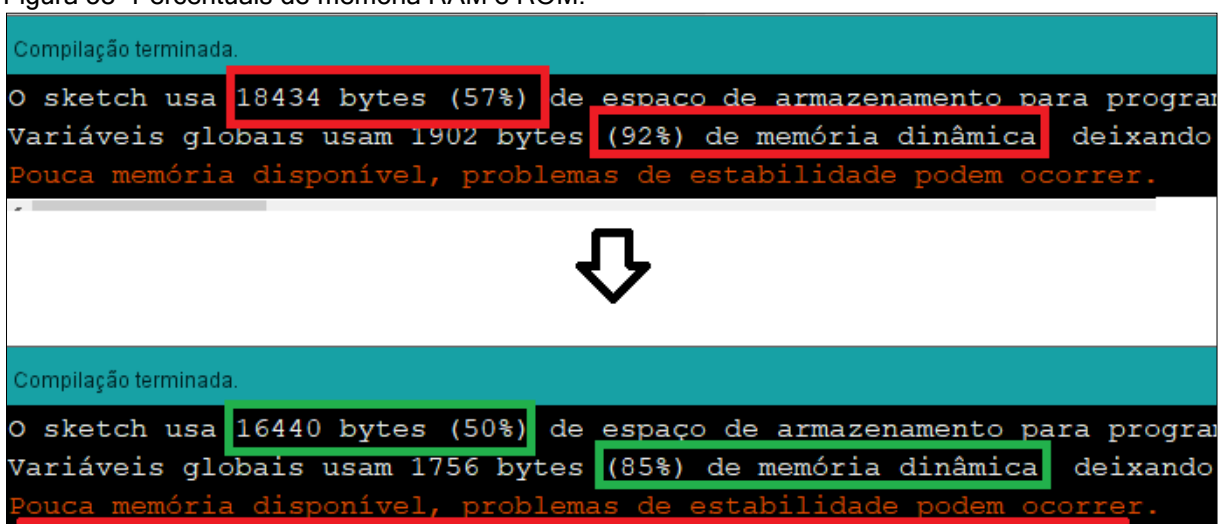


Fonte: Autoria própria.

O código fonte do *firmware* tem aproximadamente 1000 linhas e, a princípio, se mostrou instável devido a interface gráfica possuir uma estrutura demasiada de menus e submenus que geram muitos caracteres na memória RAM do microcontrolador que é limitada a apenas 2k de armazenamento. Esta quantidade de *strings* responsáveis pela interação do usuário com o sistema consome muito a memória. Por se tratar de um dispositivo embarcado se faz necessário que a programação deste produto seja, no mínimo, eficiente.

Com a realização de testes logo na primeira versão do *firmware*, foi possível constatar o funcionamento do *display* e a interação com os dispositivos externos como sensores, porém, quando sucedeu a navegação pelos menus o sistema apresentou falhas na exibição das informações através do *display* fazendo com que algumas funcionalidades não funcionassem como esperado. Isto ocorreu justamente graças ao estouro da memória RAM. Com o propósito de resolver este problema, foi aplicada uma função da IDE Arduino conhecida como “macroF()” responsável pela transferência de dados da memória RAM para memória flash do dispositivo, isso fez com que o percentual que originalmente atingia cerca de 92% de memória RAM e 57% de memória ROM diminuísse para 85% de RAM e 50% de ROM, como exibido na Figura 58 abaixo.

Figura 58- Percentuais de memória RAM e ROM.



Fonte: Autoria própria/ IDE Arduino.

Apesar da pequena melhoria realizada notou-se, com certo tempo de uso, que o microcontrolador travava e reiniciava sozinho, esse caso ocorre em determinado momento que sucede o estouro de memória. Levando em consideração

todos os empecilhos relatados, foi decidido realizar uma refatoração no código fonte, refazendo por partes as funções, que isoladamente eram testadas, de modo a identificar em qual ponto a memória era limitada ocasionando problemas. Na Tabela 12 é possível analisar a organização estabelecida para refatoração e validação das funções do sistema.

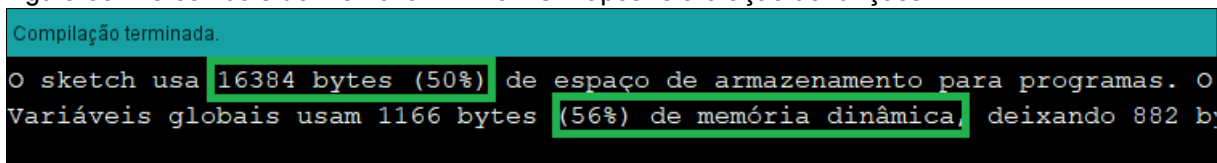
Tabela 12- Informações acerca das funções refatoradas do sistema.

Função	Estágio	Percentual de RAM utilizada	Percentual de ROM utilizado	Possui Instabilidade?
MENU	Concluída	11%	22%	Não
IHM	Concluída	18%	26%	Não
CADASTRO	Concluída	36%	38%	Não
GSM	Concluída	46%	44%	Não
GPRS	Concluída	56%	50%	Não

Fonte: Autoria própria.

Com a refatoração muitas funções foram alteradas e outras eliminadas, também foi identificado que o limite aceitável de uso da memória RAM nesta aplicação não deveria exceder 50%, pois a performance do microcontrolador continuaria sendo afetada, apresentando lentidão e instabilidades com a navegação dos menus. Desta forma, foi gerada uma terceira versão do *firmware*, que resultou em melhorias consideráveis para o funcionamento da aplicação, alcançando os seguintes percentuais de memórias: 56% de RAM e 50% de ROM utilizadas, como apresentado na Figura 59.

Figura 59- Percentuais de memória RAM e ROM após refatoração de funções.



```

Compilação terminada.
O sketch usa 16384 bytes (50%) de espaço de armazenamento para programas. O
Variáveis globais usam 1166 bytes (56%) de memória dinâmica, deixando 882 b

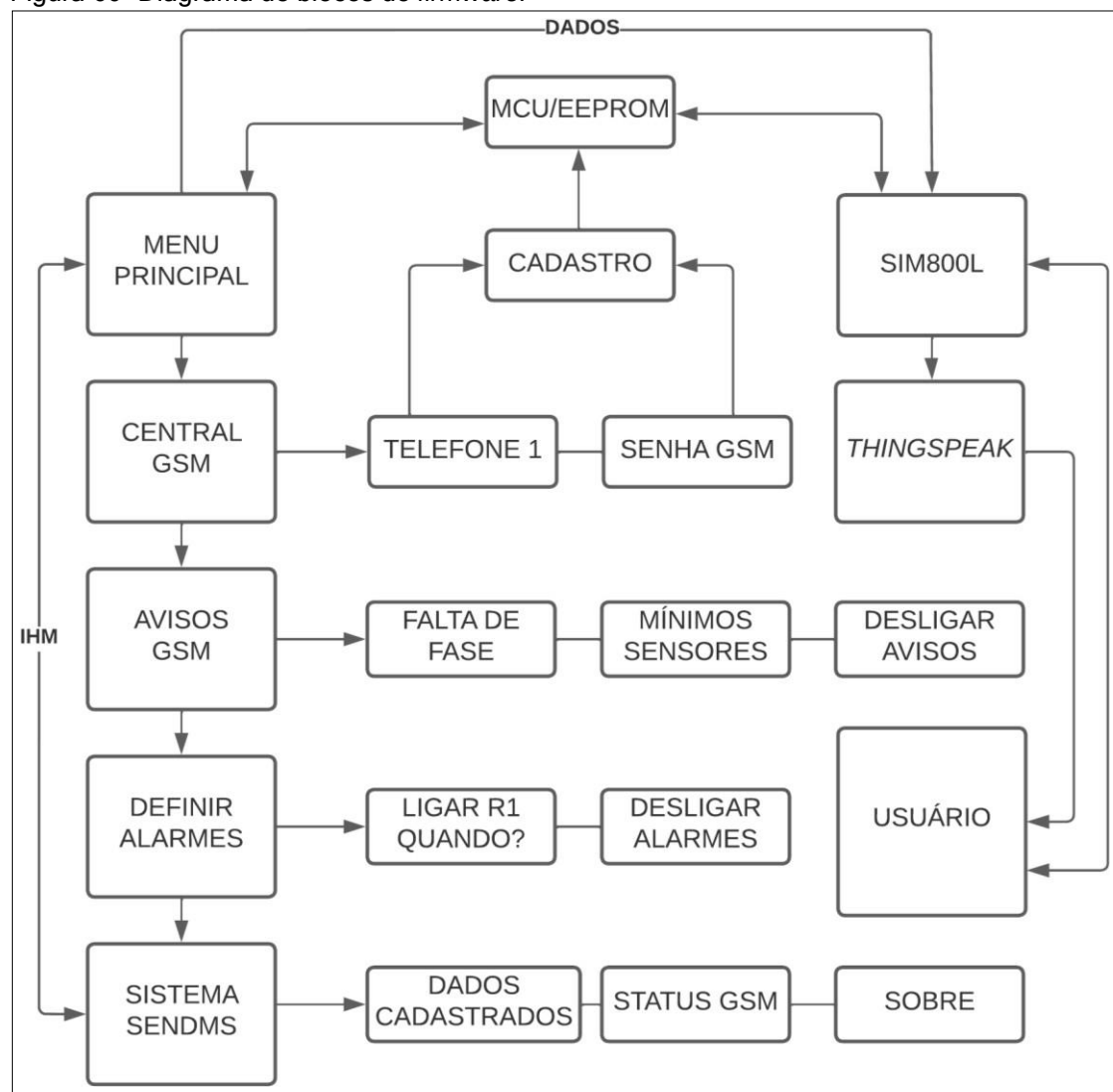
```

Fonte: Autoria própria/ IDE Arduino.

Na Figura 60 é apresentado o fluxograma geral das funcionalidades do sistema e sua integração com os principais módulos, como GSM SIM800L e a plataforma *ThingSpeak* responsável pela recepção dos dados. É importante salientar que funções de submenus que possibilitavam o cadastro de um segundo número de

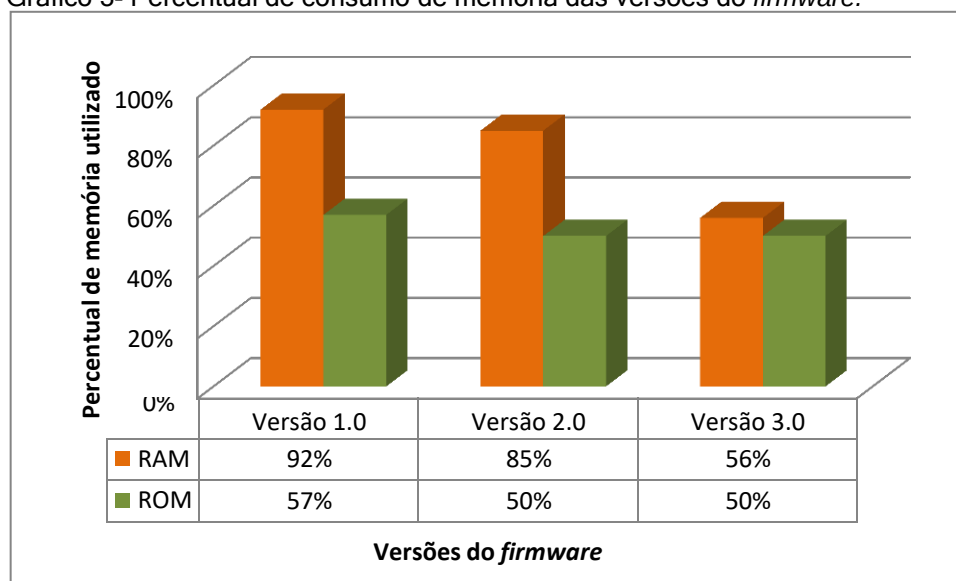
telefone e a definição de mais alarmes foram reduzidas. Isto ocorreu devido a refatoração realizada com o propósito de ganho de memória para estabilização da aplicação.

Figura 60- Diagrama de blocos do *firmware*.



Fonte: Autoria própria.

O código desenvolvido e refatorado na IDE do Arduino apresentou bons resultados, se mostrando eficaz e funcional, receptando informações coletadas através do módulo AC e sensores e enviando-as, via SMS, para telefones cadastrados, permitindo que funções de comunicação via GSM como chamadas e mensagens de texto sejam configuráveis por meio da interface IHM. Este resultado eficiente somente foi possível por meio da estabilização do uso das memórias, ou seja, com a terceira versão do *firmware*, que se revelou com os menores percentuais de armazenamento, como exibido no Gráfico 3.

Gráfico 3- Percentual de consumo de memória das versões do *firmware*.

Fonte: Autoria própria.

4.3 O Aplicativo SendMS

O aplicativo SendMS foi desenvolvido para o sistema operacional Android, através da plataforma *online* de desenvolvimento *Kodular* que permite a criação de aplicativos *mobile* através de programação intuitiva e visual. Com a finalidade de facilitar o uso desta automação para o usuário, que se faz mediante comunicação GSM, de maneira a evitar a constante digitação de mensagens de texto para acionamento do sistema, foi proposta uma interface na qual serão informados os dados necessários, como número do *SIM card* e senha para o controle de acesso que possibilita a atuação dos envios destas mensagens para o protótipo e, consequentemente, a execução das ações desejadas por intermédio de simples cliques na interface.

As *strings* que desencadeiam as ações almejadas são configuradas no aplicativo através da função conhecida como controle, no qual trata o recebimento de três *strings* respectivamente, que são identificadas na Tabela 13 juntamente com suas ações. Sempre que a *string* é recepcionada pelo protótipo é realizada uma verificação e, posteriormente, a ação programada é efetivada conforme o caractere enviado.

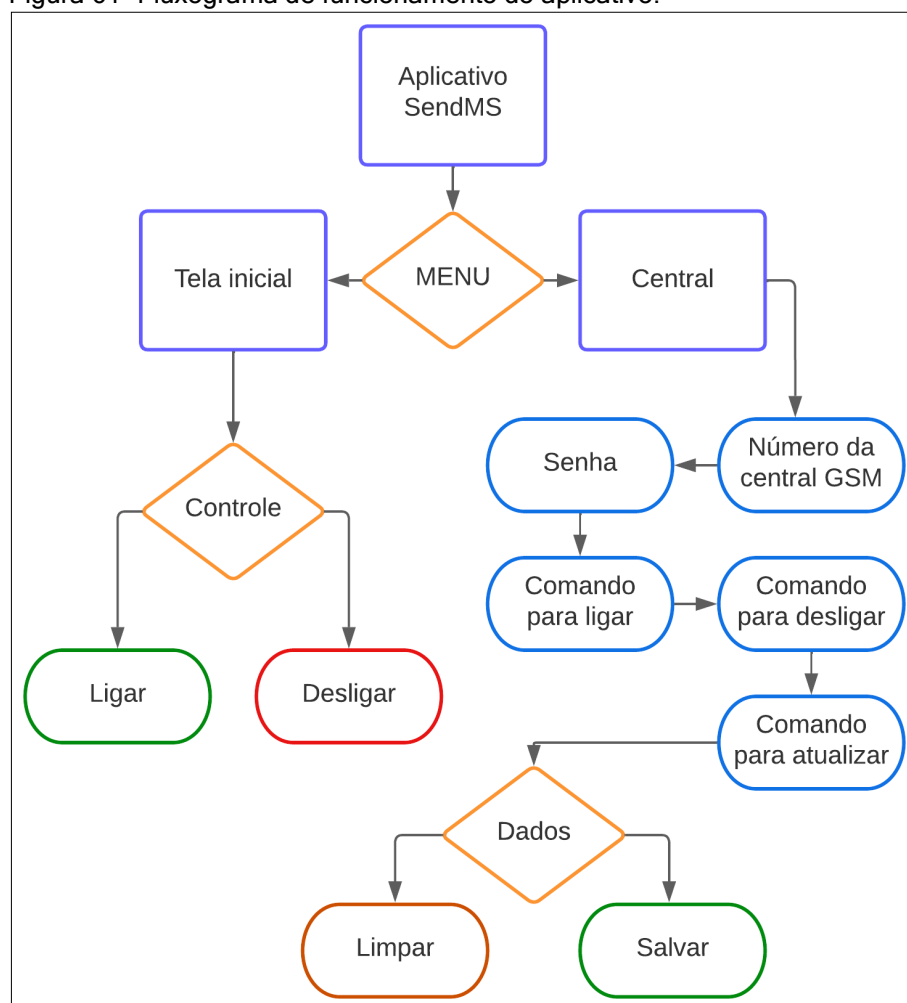
Tabela 13- Strings utilizadas na aplicação.

String	Ação
Senha GSM + caractere A	Aciona o relé
Senha GSM + caractere D	Desliga o dispositivo.
Senha GSM + caractere S	Atualiza o estado do sistema.

Fonte: Autoria própria.

O aplicativo é composto por duas telas, sendo a primeira conhecida por tela inicial responsável pela exibição das informações ao usuário, como o estado de conexão e os dados de controle que provocam a ativação e inativação do protótipo, na segunda tela denominada por central é onde ocorre a definição das configurações de comunicação e acesso do usuário através do fornecimento de senha, dados do SIM card e descrição de comandos, como exibido no fluxograma presente na Figura 61.

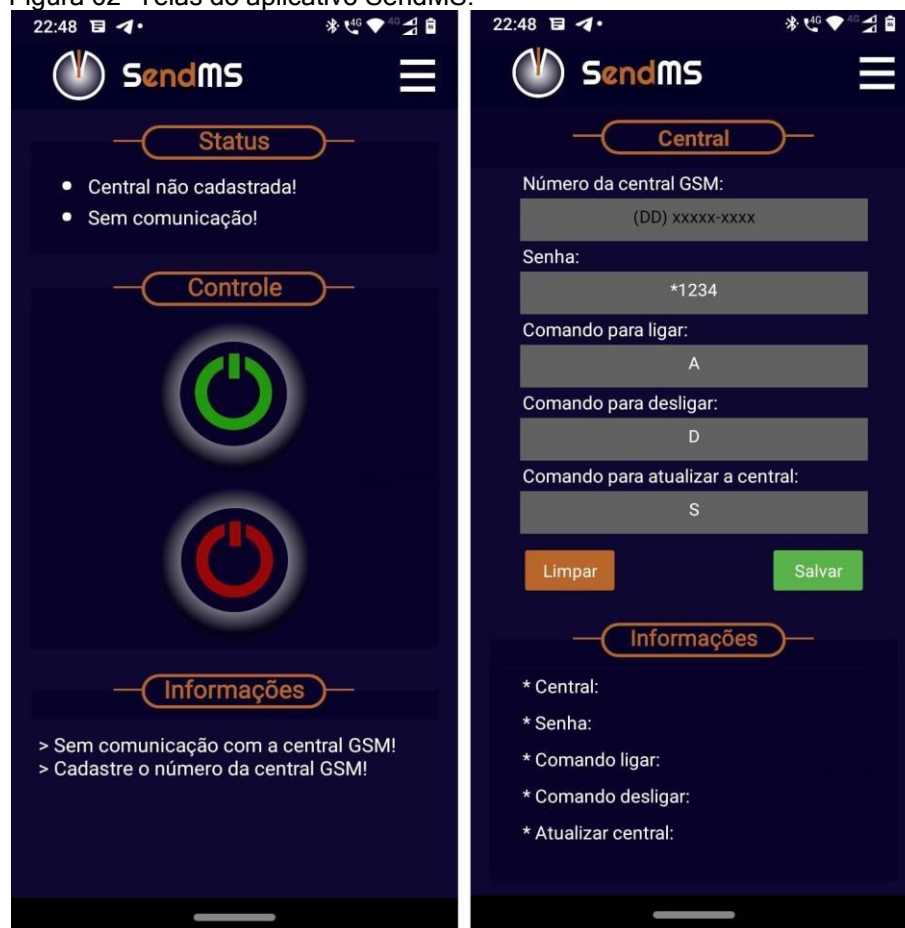
Figura 61- Fluxograma de funcionamento do aplicativo.



Fonte: Autoria própria.

A tela inicial desta aplicação apresenta dados acerca do status de comunicação, além de opções de controle e informações da placa principal, é importante ressaltar que as opções de controle presentes neste *layout* somente estarão liberadas ao envio de comandos quando os dados necessários, como senha, definição de comandos por meio de caracteres e número do SIM card forem a priori, devidamente cadastrados através da central presente na segunda tela, que basicamente se trata da interface onde o utilizador do aplicativo fornecerá as credenciais previamente estabelecidas no protótipo deste sistema. Na Figura 62 é possível observar estas telas descritas.

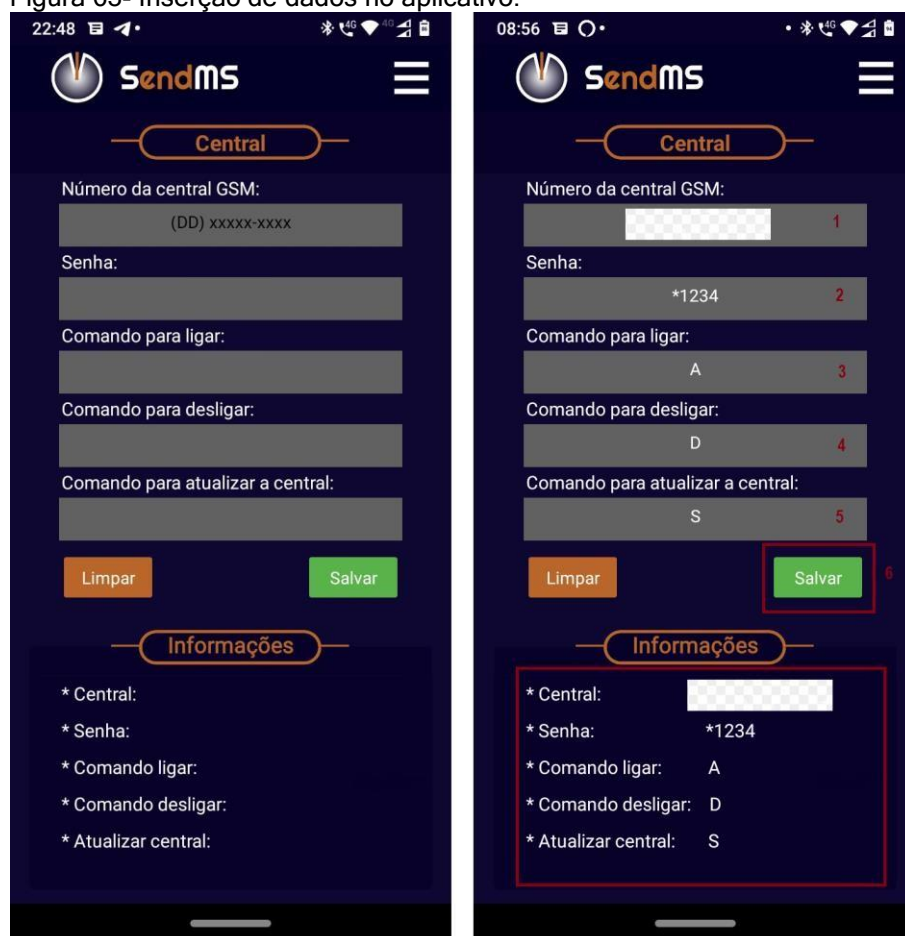
Figura 62- Telas do aplicativo SendMS.



Fonte: Autoria própria.

Assim que iniciada pela primeira vez, a aplicação solicitará ao usuário o preenchimento destes dados referentes à automação, que persistirão na base local do aplicativo depois de selecionada a opção para salvar tais informações, que posteriormente serão exibidas no menu de informações presente na parte inferior do *layout* conforme enumerado e exemplificado na Figura 63 a seguir.

Figura 63- Inserção de dados no aplicativo.



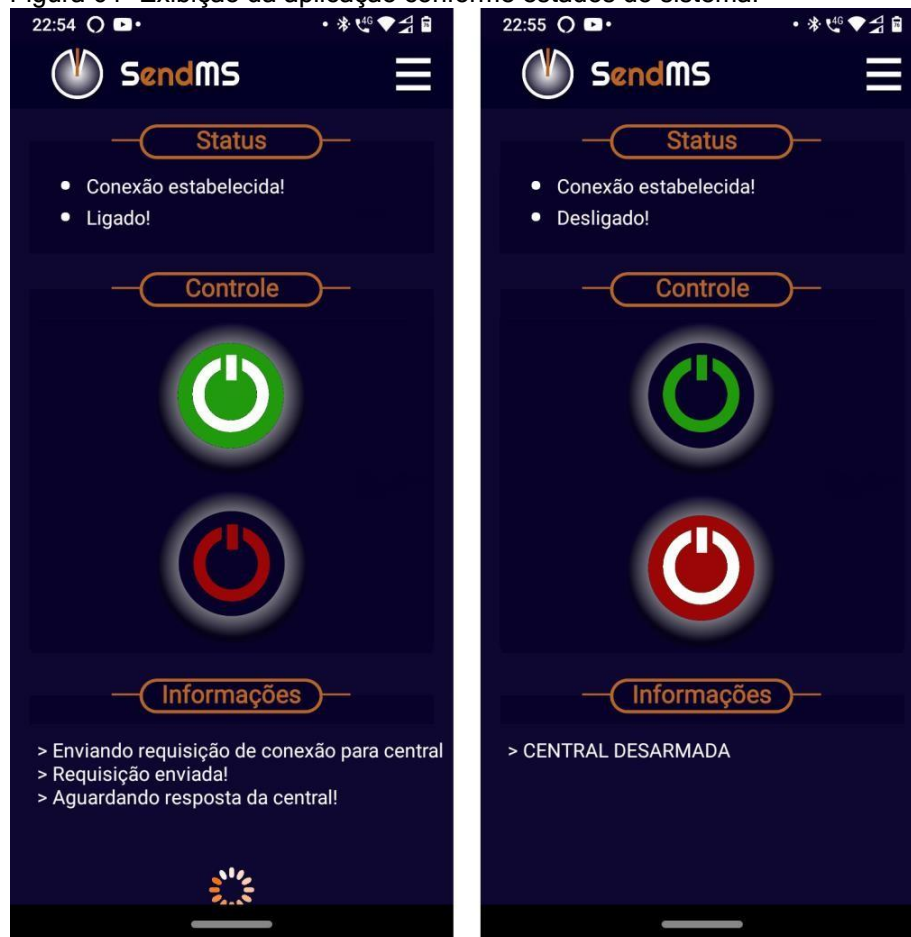
Fonte: Autoria própria.

Sempre que o usuário selecionar os botões presentes na seção de controle o aplicativo irá solicitar ao protótipo via mensagens de texto (SMS) o estado atual do módulo de automação, desta forma, todo comando enviado somente será executado após confirmação do estado atualizado em que se encontra o sistema, isso se faz necessário, uma vez que, o módulo relé é conectado a um gerador ou dispositivo de alto consumo energético, que consequentemente não aceitará variações simultâneas de liga e desliga, pois isso resultaria em danos ao sistema.

O processo de validação funciona da seguinte maneira: depois de configurado corretamente todos os dados necessários e enviada requisições com o intuito de atualizar-se sobre o estado atual do sistema, as informações recebidas são disponibilizadas no console de status do aplicativo para visualização do usuário. Quando compreendida a condição do protótipo, a interface gráfica atualiza-se habilitando a primeira opção que permite ligar o sistema caso esteja desligado, de forma contrária, a segunda opção é liberada, permitindo que o usuário efetue o

desligamento do sistema. Na Figura 64 é possível visualizar o comportamento do SendMS quando notificado os possíveis estados do sistema.

Figura 64- Exibição da aplicação conforme estados do sistema.



Fonte: Autoria própria.

De modo geral a aplicação SendMS se mostrou eficiente e útil, atuando principalmente como facilitadora desta automação. O *design* de seus botões foi disposto no *layout* desta forma propositalmente, isso ocorreu com o objetivo de fazer menção ao padrão industrial de botoeira, comumente presente em motores e bastante conhecido pelos produtores. O principal intuito era familiarizar o usuário/produtor leigo que constantemente estará interagindo com este sistema *mobile*.

4.4 Testes realizados em laboratório

O teste realizado em laboratório tem por finalidade a coleta de dados para

medição da qualidade de resposta do protótipo, mediante rede GSM. Utilizando a conexão de rede por meio da operadora de telefonia Claro para recepção e transmissão de dados, seja SMS ou informações reportadas em relação aos parâmetros monitorados, possibilitando a visualização na plataforma IoT *ThingSpeak*. As informações recebidas nesta plataforma equivalem a todos os dados disponíveis no *display* LCD do protótipo, sendo possível o produtor visualizar tais parâmetros em tempo real.

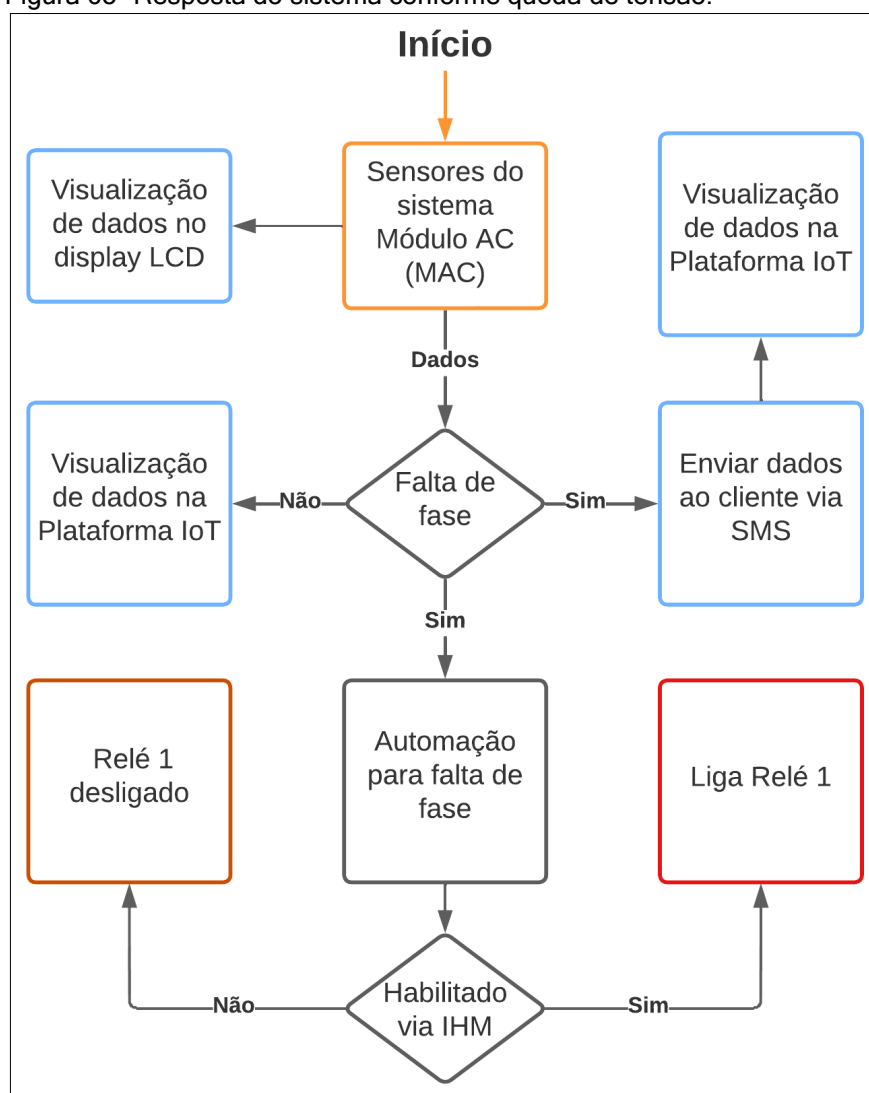
Diferentemente da interação que o usuário dispõe com os comandos enviados por intermédio de mensagens de texto, as informações do sistema, que são evidenciadas nesta plataforma, são somente de leitura, fazendo com que o foco do teste seja, a priori, na comunicação da aplicação via GSM, que neste ensaio será apurado o tempo de resposta que o produtor levará para receber todas as notificações do sistema mediante cenários simulados.

Primeiramente será simulada a falta de tensão em uma das fases da rede elétrica visando alertar o usuário sobre qualquer adversidade ocorrida, além de acionar uma das saídas de automação para intervenção de dispositivos, como geradores de energia, de forma a contornar o problema. Tal função fora previamente programada através de interface IHM.

Posteriormente serão simuladas tensões baixas de energia, igualmente observando a ocorrência do envio de notificações ao usuário, feitas através de mensagens curtas. Por último, serão provocadas alterações nos parâmetros de temperatura e pH, validando o registro recepcionado pela *ThingSpeak*, além das mensagens SMS fornecidas ao usuário como avisos.

De modo a exemplificar o comportamento do sistema, por meio da previsão de possíveis falhas na rede elétrica, o fluxograma presente na Figura 65 demonstra esta resposta. Faz-se possível observar que, quando enfrentada tais circunstâncias incomuns o sistema responde de forma padrão com ações que contornem esses episódios, a fim de evitar a mortalidade dos crustáceos cultivados, além de enviar notificações imediatas alertando ao produtor sobre o ocorrido.

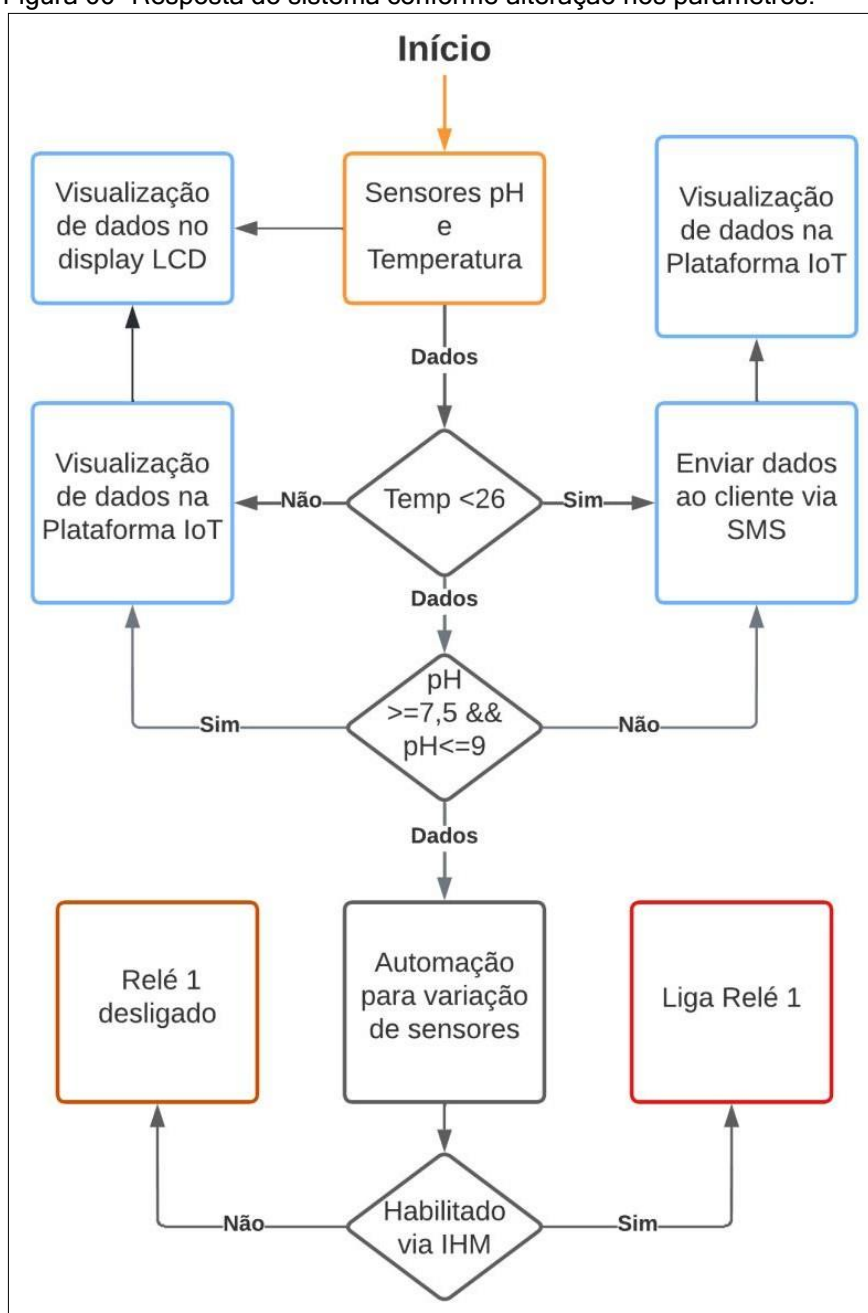
Figura 65- Resposta do sistema conforme queda de tensão.



Fonte: Autoria própria.

No segundo fluxograma exibido na Figura 66, a eventualidade simulada diz respeito a discrepâncias nos níveis desejados de parâmetros como temperatura e pH presentes na água. Com estas variações propositalmente adulteradas foi possível avaliar as rotinas programadas do sistema, assim como os níveis aferidos e o tempo de resposta a notificações emergentes.

Figura 66- Resposta do sistema conforme alteração nos parâmetros.



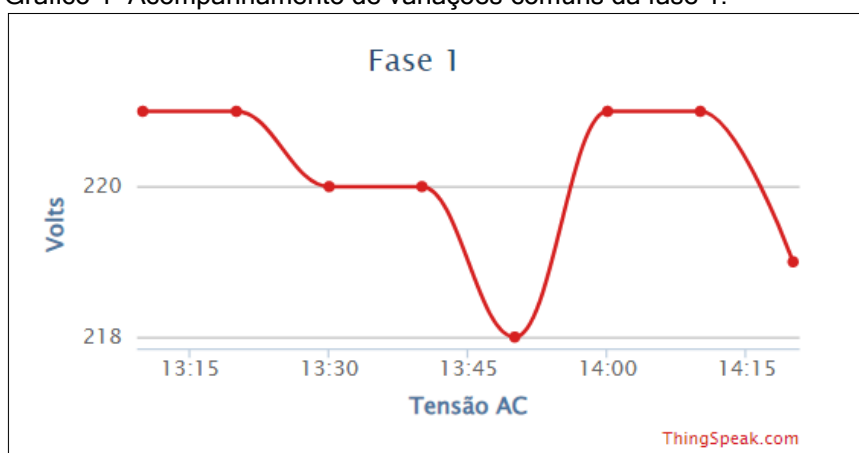
Fonte: Autoria própria.

Este ensaio teve duração de aproximadamente 40 minutos, através do auxílio de um cronômetro foi realizada medição do tempo que o sistema utilizou para alertar o produtor sobre a ocorrência de situações adversas que foram impostas neste teste. Os valores aferidos pelos dispositivos e demais dados foram enviados via GSM, levando cerca de 20 segundos para chegarem a seu destino. As informações reportadas à plataforma *ThingSpeak* se atualizavam a cada 60 segundos gerando gráficos que demonstram todas as variações ao longo do tempo.

O Gráfico 4 abaixo ilustra o comportamento habitual da fase 1 da rede elétrica

utilizada, que neste caso em específico, não fora alterada, ou seja, não sucederam simulações à rede nesta fase, se fazendo presente todas variações comuns e reais dessa tensão no decorrer do período medido, onde o sistema apenas exibirá os dados no *display* para eventuais consultas.

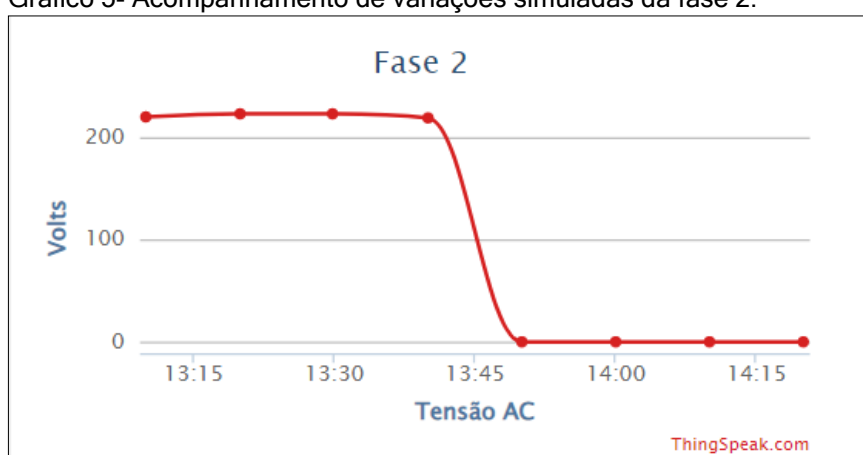
Gráfico 4- Acompanhamento de variações comuns da fase 1.



Fonte: Autoria própria/ ThingSpeak.

Na fase 2 da rede elétrica foram impostas alterações de modo a variar sua tensão em determinado intervalo de duração, pelo qual será averiguado o tempo de resposta atingido pelo sistema, assim como a precisão das métricas aferidas, que se desloca de 200 volts á 0, como apresentado no Gráfico 5 a seguir.

Gráfico 5- Acompanhamento de variações simuladas da fase 2.

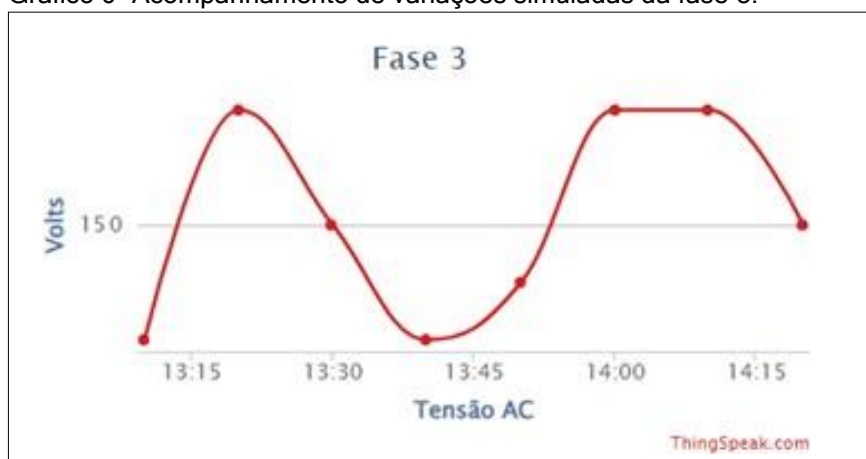


Fonte: Autoria própria/ ThingSpeak.

Na fase 3, a simulação na rede elétrica se faz por meio de oscilações, causando tensões baixas em um determinado intervalo de tempo, que foram reportadas através de mensagens com a finalidade de alertar o produtor de

possíveis alterações que podem provocar o mau funcionamento do sistema, possibilitando a ocorrência de falhas no monitoramento dos demais parâmetros da qualidade da água medidos, além da possível paralisação dos aeradores, que são dispositivos responsáveis pela oxigenação da água. No Gráfico 6 é demonstrado esta oscilação.

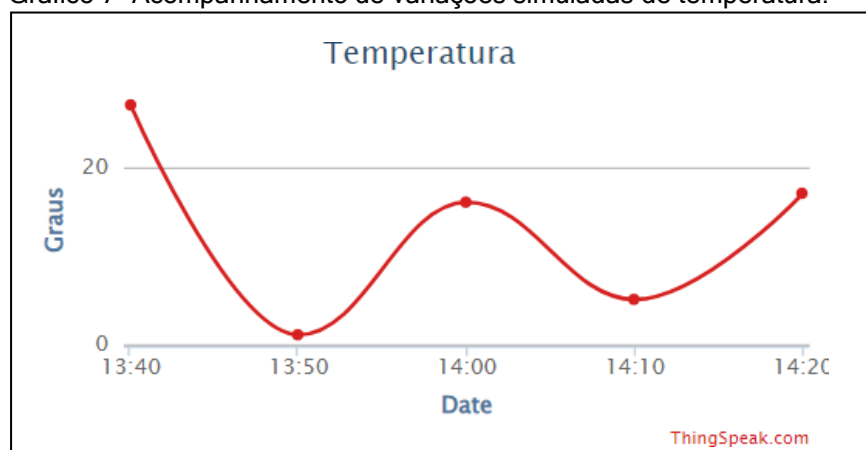
Gráfico 6- Acompanhamento de variações simuladas da fase 3.



Fonte: Autoria própria/ ThingSpeak.

De modo, a finalizar todo o processo de simulação realizado, foram modificados drasticamente os parâmetros relacionados à temperatura, constando o funcionamento esperado do sistema em enviar e medir tais dados, além da concisão destas aferições referidas. A temperatura variou por determinado tempo de 26 °C à 0 °C, resultando em caso de ambiente real na presença de doenças e até mesmo levando a mortalidade da espécie cultivada, por ser considerada inferior ao nível desejado de no mínimo 26 °C, como mostrado no Gráfico 7, respectivamente.

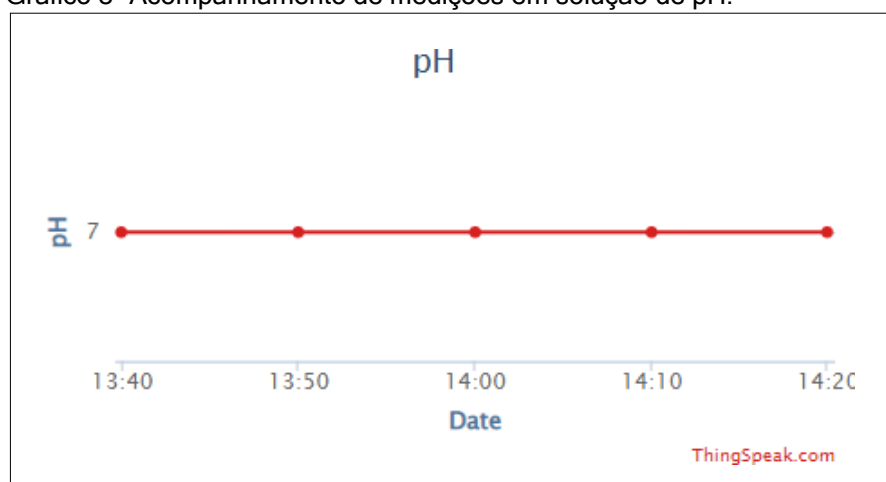
Gráfico 7- Acompanhamento de variações simuladas de temperatura.



Fonte: Autoria própria/ ThingSpeak.

Com relação ao pH, não foram realizadas simulações, sendo efetuada medições em uma solução composta comprovadamente pelo Potencial Hidrogeniônico de valor 7, que resultou com precisão a aferição realizada pelo sensor PH-4502C, como apresentado no Gráfico 8 abaixo.

Gráfico 8- Acompanhamento de medições em solução de pH.



Fonte: Autoria própria/ ThingSpeak.

Com a finalização dos testes em laboratório, foi constatada a eficácia e precisão de medição de todos os parâmetros analisados através dos sensores, além das ações e respostas do sistema, ao tempo médio alcançado de cerca de 20 segundos para recepção destas informações, que foi considerado satisfatório ao se tratar do uso de conexão sem fio via GSM em uma zona rural.

4.5 Testes realizados em campo

Para estabelecer a viabilidade do protótipo em um cenário real, esse produto foi submetido a testes em campo, no qual o cenário de ensaio escolhido foi um viveiro localizado em um interior de zona rural, conhecido como Frutuoso, pertencente ao município de Jaguaruana – Ce, que fica aproximadamente à 200 km de distância da cidade de Fortaleza. Na Figura 67 é visível o viveiro utilizado nestes testes.

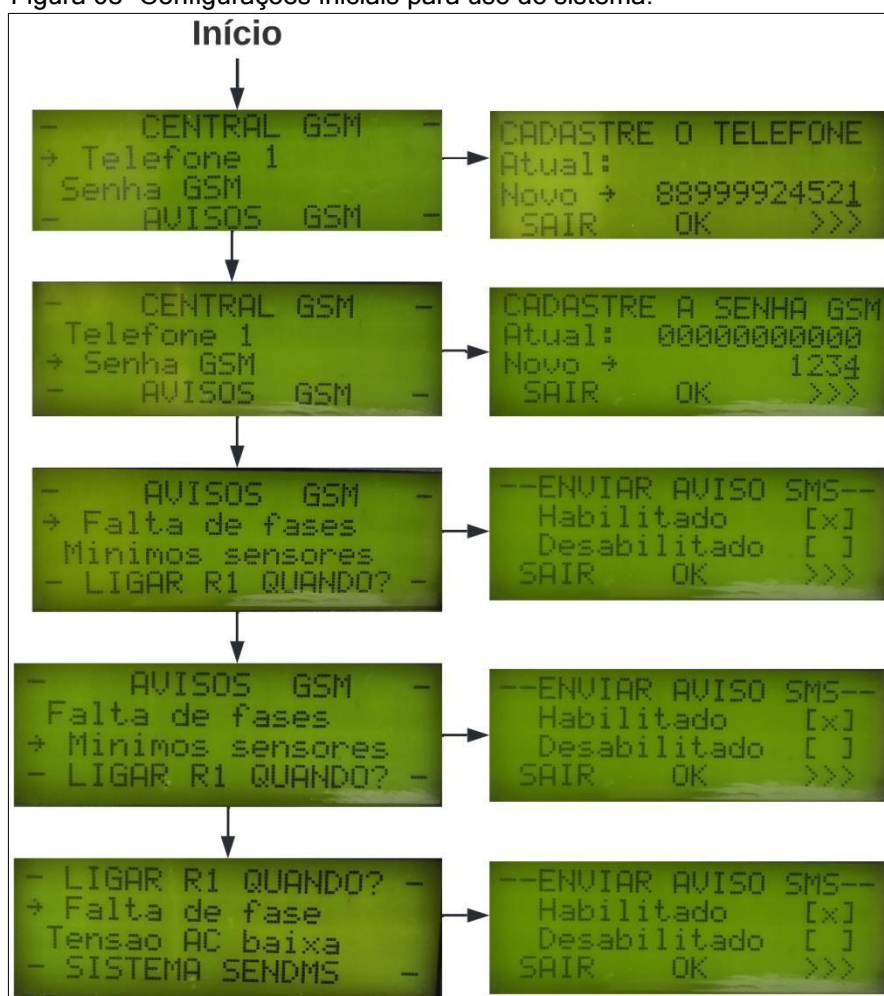
Figura 67- Viveiro utilizado nos testes em campo.



Fonte: Autoria própria.

Dando início a validação do protótipo foram estabelecidas as configurações iniciais através da interação com o sistema, por intermédio do *touch screen* aos menus exibidos no *display*. Primeiramente foi informado o número do *SIM card*, pelo qual serão enviadas as notificações, em seguida é incluída uma senha para determinar a segurança no controle de acesso, e para finalizar esse processo foram habilitados os avisos GSM e a opção de automação interna, que em síntese, são ações que contornam possíveis problemas que possam surgir como a falta de energia. Na Figura 68 é apresentado o preenchimento de todos os dados e configurações necessários para uso do sistema.

Figura 68- Configurações iniciais para uso do sistema.



Fonte: Autoria própria.

Como *backup* de alimentação, foi utilizado neste teste uma bateria modelo CB078 de 2200 mA, exibida na Figura 69 abaixo, com objetivo de alimentar a placa principal, caso haja a falta de rede elétrica, possibilitando que o sistema emita notificações ao usuário nesses cenários extremos de falta de tensão.

Figura 69- Bateria CB078.



Fonte: Autoria própria.

Foi efetuada a integração do protótipo com os módulos sensores: PH-4502C, NTC 10K e módulo AC, para medição do nível de pH, verificação da temperatura da água e mensuração de tensão da rede elétrica, respectivamente, sendo esses sensores de água mutuamente submersos no viveiro. Na Figura 70 é mostrada a instalação do sistema que se mantém preso em ponto de fixação, sendo possível observar o cabeamento usado para conexão dos sensores que neste momento se encontram submergido.

Figura 70- Protótipo do sistema instalado em viveiro.



Fonte: Autoria própria.

O tempo de duração utilizado no decorrer dos testes foi de 72 horas, no qual o sistema se manteve operante, receitando e enviando informações que foram constantemente monitoradas pelo aplicativo SendMS e a plataforma *ThingSpeak*. No dia 13 de março ocorreram variações drásticas em uma das fases da rede elétrica, resultando de imediato em ações previamente configuradas no sistema, de maneira a alertar o usuário sobre o acontecido, que foi registrado no aplicativo SendMS, como mostrado no *print* tirado da tela *mobile* exibida na Figura 71 abaixo.

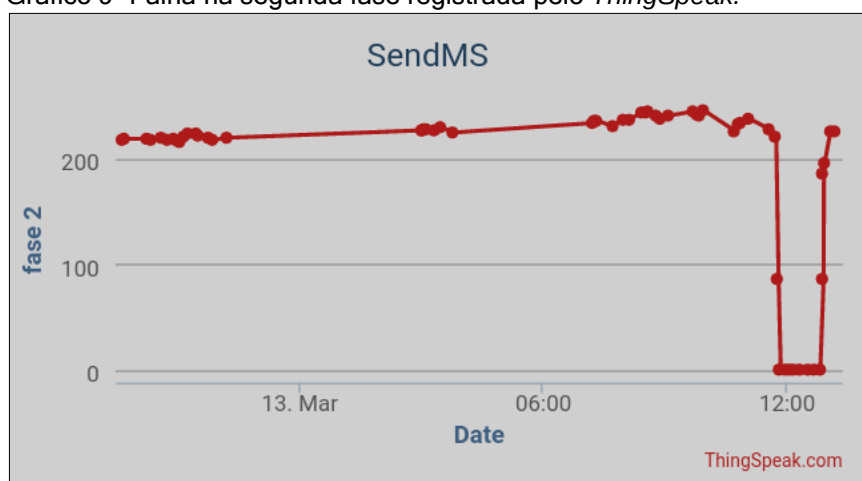
Através desta aplicação *mobile*, se fez possível a visualização do alerta emitido pela placa principal, respectivo a falta de fase, além dos valores mensurados, que resultaram na temperatura de 29,3° C, e o nível 7,9 de pH.

Figura 71- Alerta exibido no aplicativo.



Fonte: Autoria própria.

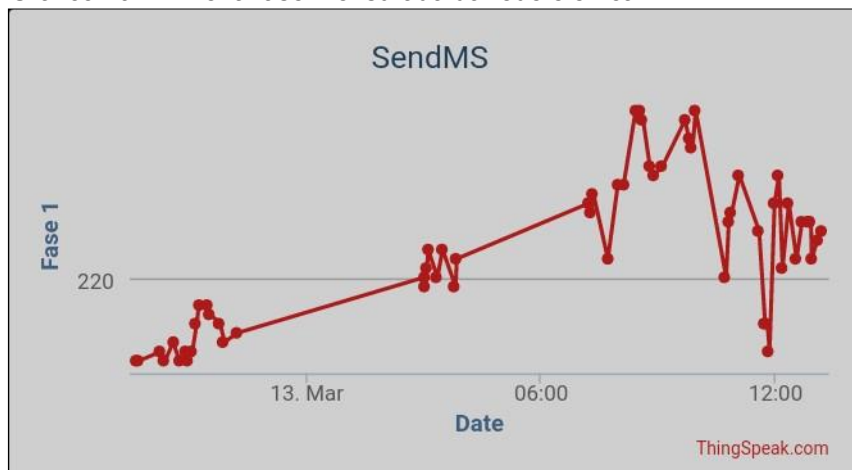
Este evento foi registrado no Gráfico 9 a seguir, através da plataforma *ThingSpeak*, que apresenta o momento exato desta queda de tensão, que ocorreu por volta do meio dia, despencando de aproximadamente 220 volts á zero.

Gráfico 9- Falha na segunda fase registrada pelo *ThingSpeak*.

Fonte: Autoria própria/ *ThingSpeak*.

Foi observado que as tensões da rede elétrica, verificadas no local do viveiro, se mostraram bastante instáveis, apresentando em determinado período de tempo oscilações que por um momento ultrapassam 220 volts da rede, como mostra o Gráfico 10, inerente a primeira fase da tensão.

Gráfico 10- Primeira fase mensurada da rede elétrica.



Fonte: Autoria própria/ *ThingSpeak*.

No Gráfico 11 é estampada as informações aferidas da fase 3 da rede, que revelaram picos de tensão que excedem os 240 volts, provocando a alegação de instabilidades no local analisado.

Gráfico 11- Terceira fase mensurada da rede elétrica.



Fonte: Autoria própria/ *ThingSpeak*.

Com a conclusão destas validações, o sistema se mostrou eficiente em sua atuação em campo, medindo precisamente os parâmetros necessários, emitindo informações e alertas quando configurado, possibilitando ao produtor manter-se atualizado na ocorrência de situações adversas.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

5.1 Considerações finais

Neste trabalho foi realizado o desenvolvimento de um sistema embarcado para automação e monitoramento de parâmetros relevantes à qualidade da água e rede elétrica que faz uso de um dispositivo móvel e transmite informações com objetivo de facilitar a rotina do pequeno e médio produtor no âmbito das atividades de carcinicultura, com foco na prevenção ou diminuição da mortalidade dos crustáceos. Para isto, é utilizada a tecnologia GSM no envio dos dados.

De praxe, estes fatores pertinentes ao desenvolvimento do camarão são capturados diariamente pelo produtor de forma manual, cujo principal objetivo é acompanhar o crescimento saudável dessas espécies, que se faz por meio de condições favoráveis da água, como pH, temperatura, oxigenação, entre outros. Através desta proposta de solução, titulada SendMS, foi proporcionada a automação deste processo de monitoramento, de forma a facilitar a análise dos dados, além da disponibilização dessas informações que podem ser acompanhadas através de um dispositivo *mobile*.

No decorrer do processo de validação deste sistema, foram identificados obstáculos que ocasionaram algumas limitações no produto, como a pouca memória disponibilizada no microcontrolador ATMEGA328P utilizado, que limitou a quantidade de recursos do sistema, impossibilitando que uma quantidade maior de funções fosse disponibilizada. Outro ponto foi a indisponibilidade do dispositivo capaz de aferir o nível de oxigênio dissolvido na água, ocasionando a não utilização desse parâmetro no sistema.

Em suma, o sistema apresentado mostrou bons resultados, cumprindo com o objetivo proposto, sendo apto para utilização em campo, se mostrando eficaz e eficiente nas métricas efetuadas, tanto na medição da qualidade de tensão da rede elétrica, quanto no monitoramento dos parâmetros da água até aqui citados.

5.2 Trabalhos futuros

Como trabalhos futuros, se fazem presentes as seguintes propostas:

- Refazer a placa de circuito impresso, de maneira a utilizar um microcontrolador com maior capacidade de memória;
- Expandir as funcionalidades do sistema, com intuito de melhorar a interface de comunicação com o usuário;
- Aumentar a quantidade de sensores, de modo a obter medição do oxigênio dissolvido na água;
- Incorporar o protótipo em uma caixa á prova d'água;
- Incluir um sistema de alimentação com energia fotovoltaica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE CAMARÃO. Curso: Técnicas de manejo e qualidade de água com ênfase no balanço iônico. **Programa de Qualificação Especial**, Convênio MAPA N°827739/2016, p. 1 - 57, Jul. 2017. Disponível em: <https://abccam.com.br/wp-content/uploads/2017/07/APOSTILAT%C3%89CNICAS-DE-MANEJO-E-QUALIDADE-DA-%C3%81GUACOM%C3%8ANFASE-NO-SEU-BALAN%C3%87O-I%C3%94NICO.pdf>. Acesso em: 25 de novembro de 2021.
- ABRUNHOSA, Fernando Araújo. Carcinicultura, Curso Técnico em Pesca e Aquicultura. 2016.
- AGRICOTEC, Tecnologia para aquicultura, 2017. Disponível em: <http://www.agricotec.net/pt-br/produtos/aeradores/aerador-de-p-duas-os>. Acesso em: 07 de maio de 2022.
- ALDA, Muhamad et al. Aplikasi CRUD Berbasis Android Dengan Kodular Dan Database Airtable. Media Sains Indonesia, 2020.
- ASADI, Farzin. Electric Circuit Analysis with EasyEDA. **Springer Nature**, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5356 - Transformador de potência. Rio de Janeiro, 2014
- ATMEL, Datasheet, Microchip. **8-Bit Microcontroller with 4/8/16/32kbytes In-System Programmable Flash**. 2008. Disponível em: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/241077/ATMEL/ATMEGA328P.html>. Acesso em: 03 de março de 2022.

ABINAYA, T.; ISHWARYA, J.; MAHESWARI, M. A novel methodology for monitoring and controlling of water quality in aquaculture using internet of things (IoT). In: **2019 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)**. IEEE, p. 1-4. 2019.

ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew NO. Fundamentos de circuitos elétricos. AMGH Editora, 2013.

ANGELO, Leandro et al. Influência do cultivo de camarões marinhos em tanque-rede sobre a qualidade da água e a estrutura da comunidade zooplancônica na Baía de Guaratuba, Paraná. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 2315-2322, 2010.

ASSAD, Luis Tadeu. Como montar uma criação de camarão: ideias de negócios. Empreendedorismo SEBRAE, 2019.

BALL, Stuart. Analog interfacing to embedded microprocessor systems (Second Edition). Elsevier, Newnes. 2003.

BANNA, Muinul H. et al. Online drinking water quality monitoring: review on available and emerging technologies. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 44, n. 12, p. 1370-1421, 2014.

BOYLESTAD, Robert L.; INTRODUÇÃO, À. Análise de Circuitos. 2012.

BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis. Electronic devices and circuit theory. Prentice Hall, 2012.

BRAGA, Newton C. Relés: Circuitos e aplicações. Editora Newton C. Braga, 2017.

BRAGA, Newton C. INCB Eletrônica - Diodo Zener (M058). Editora Newton C. Braga, 2010.

CARNIEL, Guadalupe; SALUTES, Bruno. 5G, 4G, LTE, GSM, EDGE e HPSA: entenda as siglas de cada conexão. **CanalTech**, 2021. Disponível em: <https://canaltech.com.br/telecom/gsm-edge-hpsa-lte-entenda-as-siglas-de-conexao-mobile/>. Acesso em: 05 de novembro de 2021.

CHANDANAPALLI, Suresh Babu et al. Design and deployment of aqua monitoring system using wireless sensor networks and IAR-Kick. **Journal of Aquaculture Research and Development**, v. 5, n. 7, 2014.

CRUZ, Eduardo Cesar Alves; JÚNIOR, Salomão Choueri. Eletrônica analógica básica. **Saraiva Educação SA**, 2015.

DATASHEET ATMEL. ATmega328P. 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash. 2015.

DATASHEET SIM800L. SIM800 Series AT Command Manual, v 1.09. 2015.

DE ÁVILA, Letieri Rodrigues; DA COSTA BOTELHO, Sílvia Silva; DE VARGAS GUTERRES, Bruna. Magnetobiologia no Suporte à Visão Computacional: Estudos Preliminares. In: **Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente-SBAI**. 2021.

DE BRITO, Johnny Martins et al. Automação na tilapicultura: revisão de literatura. 2017.

DECAMP, O.; CODY, J.; CONQUEST, L.; DELANOY, G.; TACON, A. G. J. Effect of salinity on natural community and production of *Litopenaeus vannamei* (Boone), within experimental zero-water exchange culture systems. *Aquaculture Research*, v. 34, p. 345-355, 2003.

DONG, Jianhua et al. A survey of smart water quality monitoring system. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 7, p. 4893-4906, 2015.

EasyEDA. An Easier and Powerful Online PCB Design Tool. 2022. Disponível em: <https://easyeda.com/>. Acesso em: 27 de abril de 2022.

EBRAHIM, Mahmoud; CATURAN-HINDS, Elenita. ISU AT Command Reference. 2002.

ELETROGATE. Módulo GSM GPRS SIM800L + Antena SMA. 2022. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/modulo-gsm-gprs-sim800l-antena-sma>. Acesso em: 02 de julho de 2022.

Espécies de Camarão Cultivadas no Brasil e no Mundo. **Mundo Ecologia**, 2019. Disponível em: www.mundoecologia.com.br/animais/especies-de-camarao-cultivadas-no-brasil-e-no-mundo. Acesso em: 02 de maio de 2022.

FIDDARIANI, Agritian Sevty; OKTIAWATI, Unan Yusmaniar. Design and Implementation of Temperature and pH Monitoring Tools in Fish Pond Based on Arduino and Processing. In: 2021 13th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE). IEEE, 2021. p. 214-219.

GARCIA, Marília. Um teste de resistores. **7Letras**, 2014.

GRABCAD. Grabcad community, 2022. Disponível em: <https://grabcad.com/library/rele-1>. Acesso em: 19 de maio de 2022.

GRUBER, Vilson. Modelo de sistema para aquisição e monitoração de dados remotos utilizando sensores e redes de celular 3G aplicado em um pequeno aerogerador. 2010.

HART, Daniel W. Eletrônica de potência: análise e projetos de circuitos. McGraw Hill Brasil, 2016.

HAYT JR, William H.; KEMMERLY, Jack E.; DURBIN, Steven M. Análise de Circuitos em Engenharia-8. AMGH Editora, 2014.

HELERBROCK, Rafael. "Capacitores"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/capacitores.htm>. Acesso em: 08 de junho de 2022.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da Pecuária Municipal 2020. Rio de Janeiro, v. 48, p. 1-12, 2020. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2020_v48_br_informativo.pdf. Acesso em: 25 de novembro de 2021.

ILIĆ, Damir; BUTORAC, Josip; FERKOVIĆ, Luka. Temperature measurements by means of NTC resistors and a two-parameter approximation curve. *Measurement*, v. 41, n. 3, p. 294-299, 2008.

JOSEPH, Tarun et al. Aquaculture monitoring and feedback system. In: **2019 IEEE International Symposium on Smart Electronic Systems (iSES)(Formerly iNiS)**. IEEE, p. 326-330, 2019.

JÚNIOR, Roberto Carlos Barbieri; NETO, Antonio Ostrensky. **Camarões Marinhos - Engorda**. 2º Edição, Viçosa - MG, Aprenda Fácil Editora, 2020.

KITCHENHAM, Barbara; CHARTERS, Stuart. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. 2007

KODULAR. Much more than a modern app creator without coding. 2022. Disponível em: <https://www.kodular.io/>. Acesso em: 28 de abril de 2022.

KONDAVEETI, Hari Kishan et al. A systematic literature review on prototyping with Arduino: Applications, challenges, advantages, and limitations. **Computer Science Review**, v. 40, p. 100364, 2021.

KUBITZA, F. A água na aquicultura. *Panorama da Aquicultura*, v. 27, n 163. 2019.

KUMAR, M. Arun; ARAVINDH, G. An Efficient Aquaculture Monitoring Automatic System for Real Time Applications. In: **2020 3rd International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS)**. IEEE, p. 150-153. 2020.

LA MADRID, Jake D.; CRUZ, Jennifer C. Dela; BALISI, Vince Lloyd Q. Real-Time Water Quality Monitoring System with Predictor for Tilapia Pond. In: **2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)**. IEEE, p. 1-6, 2018.

LEDESMA, N. E. C. Desenvolvimento de um sistema de SHM sem fio e com compensação automática de temperatura, Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2015.

LI, Peng; GUO, Pengcheng. Diagnosis of interturn faults of voltage transformer using excitation current and phase difference. **Engineering Failure Analysis**, v. 134, p. 105979, 2022.

LOPES, J.M. Survival and growth of silver catfish larvae exposed to different water pH. *Aquaculture International*, v.9, p.73-80, 2001.

MALVINO, Albert P.; BATES, David J. *Eletrônica-Vol. 1-8ª Edição*. McGraw Hill Brasil, 2016.

MARKUS, Otávio. *Sistemas Analógicos Circuitos com diodos e transistores*. São Paulo, 2011.

MARQUES, Angelo Eduardo B. *Dispositivos semicondutores: diodos e transistores*. Saraiva Educação SA, 1997.

MEHL, Ewaldo LM. *Capacitores Eletrolíticos de Alumínio: Alguns cuidados e considerações práticas*. Internal publication of Federal University of Paraná, 2000.

MERLIN, Victor. *Transformadores - Conceitos preliminares*. **Manutenção de cabine**, 2019. Disponível em: <https://manutencaodecabine.com.br/transformador-de-forca/>. Acesso em: 10 de março de 2022.

MENON, Aishwarya Girish; PRABHAKAR, M. IoT-based Automated Pond Water Quality Monitoring System for Aquaculture Farms. In: **2021 8th International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)**. IEEE, p. 287-293, 2021.

MICROWAT. Sensor de temperatura NTC 10K - MF58. 2022. Disponível em: <https://www.microwat.com.br/695>. Acesso em: 26 de maio de 2022.

MITCHELL, Robin. *A Comparison of Popular Arduino Boards: A Comparison of Popular Arduino Boards*. MakerPro, 2018. Disponível em: <https://maker.pro/arduino/tutorial/a-comparison-of-popular-arduino-boards>. Acesso em: 17 de dezembro de 2021.

NEXATRONICS. Gravity: Analog PH Sensor / Meter Pro Kit. 2022. Disponível em: <https://nexatronics.com/shop/gravity-analog-ph-sensor-meter-pro-kit/> Acesso em: 28 de junho de 2022.

NEWARK. ATMEGA328P-AUR. 2022. Disponível em: newark.com/pt-BR/microchip/atmega328p-aur/microcontroller-mcu-8-bit-atmega/dp/87W8111. Acesso em: 05 de junho de 2022.

NUNES, A. J. P. Panorama de cultivo de camarões marinhos no Brasil. **Revista Brasileira de Agropecuária**, v. 1, p. 40-41, 2001.

OSTRENSKY, Antonio et al. **A produção integrada na carcinicultura brasileira: princípios e práticas para se cultivar camarões marinhos de forma mais racional e eficiente**, Vol. 1, Curitiba - PA, Instituto GIA, 2017.

PASHA, Sharmad. ThingSpeak based sensing and monitoring system for IoT with Matlab Analysis. *International Journal of New Technology and Research*, v. 2, n. 6, p. 263492, 2016.

PAVITHRA, R. et al. Analysing the Growth of Plants Using Hydroponic Techniques with Embedded System Controller. **i-Manager's Journal on Digital Signal Processing**, v. 9, n. 1, p. 23, 2021.

ROCHA, Itamar et al. Camarão marinho cultivado: O fruto do mar N° 1 da gastronomia Mundial. **Revista da ABCC**, Natal/ RN, XVII FENACAM'20, ANO XXIII N. 4, p. 1 - 46, Nov. 2020. Disponível em: [https://abccam.com.br/wpcontent/uploads/2020/08/REVISTA-CORRI GIDA-EM-03-AGOSTO-2020.pdf](https://abccam.com.br/wpcontent/uploads/2020/08/REVISTA-CORRI-GIDA-EM-03-AGOSTO-2020.pdf). Acesso em: 13 de janeiro de 2022.

ROSTAM, Nur Aqilah Paskhal; HASSAIN MALIM, Nurul Hashimah Ahamed; ABDULLAH, Rosni. Development of a low-cost solar powered & real-time water quality monitoring system for Malaysia seawater aquaculture: Application & challenges. In: **Proceedings of the 2020 4th International Conference on Cloud and Big Data Computing**, p. 86-91, 2020.

RIBEIRO-COSTA, Cibele S.; DA ROCHA, Rosana Moreira. **Invertebrados: manual de aulas práticas**. Holos, 2002.

SANTOS, Marcos Vinícius. Materiais semicondutores em transistores. **Materiais Elétricos: compêndio de trabalhos volume 7**, p. 787. 2008.

SEBRAE - Criação de camarão: Cartilha básica. Sergipe, p. 7 - 35, Out. 2018. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/RN/Anexos/Aquicultura-Criacao-de-Camaracao-Cartilha-Basica.pdf>. Acesso em: 08 de janeiro de 2022.

SENAR - SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. Produção de camarão marinho: preparação do viveiro, povoamento, manejo e despesca. **Coleção SENAR**. Ed. 1, Brasília, p. 1 - 96, 2017. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/167-PR ODU%C3%87%C3%83O.pdf>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2022.

SOARES, M.; EVANGELISTA, DKR; PEREIRA, AML. Boas práticas de manejo e de biossegurança na carcinicultura para convivência com enfermidades. **Embrapa Pesca e Aquicultura-Documentos (INFOTECA-E)**, 2021.

SOUZA, Vitor Amadeu. Envio De E-mail Com O Módulo Sim800I Para Medição De Gp Programado No Arduino. **Clube de Autores**, 2020.

TAHIM, Elda Fontinele; DAMACENO, Marlene Nunes; ARAÚJO, Inácio Fernandes de. Trajetória tecnológica e sustentabilidade ambiental na cadeia de produção da carcinicultura no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 57, p. 93-108, 2019.

TAHIR, Muhammad Usman et al. GSM Based Advanced Water Quality Monitoring System Powered by Solar Photovoltaic System. In: **2018 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)**. IEEE, p. 1-5, 2018.

THINGSPEAK. ThingSpeak for IoT Projects. 2022. Disponível em: <https://thingspeak.com/>. Acesso em: 25 de abril de 2022.

APÊNDICE A – APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

Tabela 14- Resultado da aplicação dos critérios de seleção nos artigos.

ID	Título da Publicação	Ano	Autores	Critério de Seleção	Resultado
1	Water Quality Monitoring Using Wireless Sensor Networks: Current Trends and Future Research Directions	2017	Kofi Sarpong Adu-Manu, Cristiano Tapparello, and Wendi Heinzelman, Ferdinand Apietu Katsriku and Jamal-Deen Abdulai	Exc1	Rejeitado
2	Energy-Harvesting Wireless Sensor Networks (EH-WSNs): A Review	2018	Kofi Sarpong Adu-manu, Nadir Adam, Cristiano Tapparello, Hoda Ayatollahi, and Wendi Heinzelman.	Exc1	Rejeitado
3	Development of a Low-Cost Solar Powered & Real-Time Water Quality Monitoring System for Malaysia Seawater Aquaculture: Application & Challenges	2020	Nur Aqilah Paskhal Rostam, Nurul Hashimah Ahamed Hassain Malim and Rosni Abdullah.	Inc2 e Inc3	Aceito
4	Review on architectures of aquaponic systems based on the Internet of Things and artificial intelligence: Comparative study.	2021	Khaoula, Taji, Ibtissame, Ezzahoui, Rachida, Ait Abdelouahid and Abdelaziz, Marzak.	Exc1	Rejeitado
5	How do startups develop Internet-of-things systems	2019	Anh Nguyen Duc, Khan Khalid, Tor Lønnestad, Sohaib Shahid Bajwa, Xiaofeng Wang and Pekka Abrahamsson.	Exc1	Rejeitado
6	A predictive model for taste taint accumulation in Recirculating Aquaculture Systems (RAS) farmed-fish - demonstrated with geosmin(GSM) and 2-methylisoborneol (MIB)	2014	Priyantha I. Hathurusingha and Kenneth R. Davey.	Exc1	Rejeitado
7	Oxidation of off flavor compounds in recirculating aquaculture systems using UV-TiO ₂ photocatalysis	2019	Laura Rodriguez-Gonzaleza, Sandra L. Pettitb, Wen Zhaob, James T. Michaelsc, John N. Kuhn b, Norma A. Alcantarb and Sarina J. Ergasa,	Exc1	Rejeitado
8	Removal of the off-flavor compounds geosmin and	2016	H. Nam-Koong, J.P. Schroederb, G. Petrickc	Exc1	Rejeitado

	2-methylisoborneol from recirculating aquaculture system water by ultrasonically induced cavitation		and C. Schulz.		
9	Effect of peracetic acid on levels of geosmin, 2-methylisoborneol, and their potential producers in a recirculating aquaculture system for rearing rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	2019	P.C. Lindholm-Lehto, S. Suurnäkkib, J.T. Pulkkinena,b, S.L. Aaltob,c, M. Tirolab and J. Vielmaa.	Exc1	Rejeitado
10	Depuration system flushing rate affects geosmin removal from market-size Atlantic salmon <i>Salmo salar</i>	2020	John Davidson, Casey Grimmb, Steven Summerfelt, 1, Gregory Fischer and Christopher Gooda.	Exc1	Rejeitado
11	Effects of swimming speed and dissolved oxygen on geosmin depuration from market-size Atlantic salmon <i>Salmo salar</i>	2021	John Davidson, Steven Summerfelt, Casey Grimm, Gregory Fischer and Christopher Good	Exc1	Rejeitado
12	A novel advanced oxidation process (AOP) that rapidly removes geosmin and 2-methylisoborneol (MIB) from water and significantly reduces depuration times in Atlantic salmon <i>Salmo salar</i> RAS aquaculture	2022	Ramsey Kropp, Steven T. Summerfelt, Kyle Woolever, Samuel A. Johnson, David W. Kapsos, Christopher Haughey and Terence P. Barry	Exc1	Rejeitado
13	Experimental validation of a time-dependent model for chemical taste taint accumulation as geosmin (GSM) and 2-methylisoborneol (MIB) in commercial RAS farmed barramundi (<i>Lates calcarifer</i>)	2016	Priyantha I. Hathurusingha and Kenneth R. Davey	Exc1	Rejeitado
14	Chemical taste taint accumulation in RAS farmed fish e A Fr 13 risk assessment demonstrated with geosmin (GSM) and 2-methylisoborneol (MIB) in barramundi (<i>Lates calcarifer</i>)	2016	Priyantha I. Hathurusingha and Kenneth R. Davey	Exc1	Rejeitado
15	Design and Deployment of Aqua Monitoring System Using Wireless Sensor Networks and IAR-Kick	2014	Suresh Babu Chandanapalli, Sreenivasa Reddy and Rajya Lakshmi.	Inc1, Inc2 e Inc3	Aceito
16	Control of off-flavor compounds in a full-scale recirculating aquaculture system rearing rainbow trout <i>Oncorhynchus mykiss</i>	2020	P. C. Lindholm-Lehto , T. Kiuru and P. Hannelinb.	Exc1	Rejeitado
17	A Novel Methodology for Monitoring and Controlling of Water Quality in Aquaculture using Internet of Things (IoT)	2019	T. Abinaya, J. Ishwarya and M. Maheswari.	Inc1, Inc2 e Inc3	Aceito
18	An Assessment of technologies requirements in Open sea cage farming for Indian sustainable Aquaculture	2022	S. Muthukumarvel, Anand Kishor, V. Gowthaman, G.Dinesh and Tata Sudhakar	Exc1	Rejeitado
19	An Automated Solar-Powered Aquaponics System towards Agricultural Sustainability in the Sultanate of	2017	Analene Montesines Nagayo, Cesar Mendoza, Rodrigo S. and Jamisola Jr.	Exc1	Rejeitado

	Oman				
20	An Efficient Aquaculture Monitoring Automatic System for Real Time Applications	2020	M. Arun Kumar and G. Aravindh	Inc1, Inc2 e Inc3	Aceito
21	Aquaculture Monitoring and Feedback System	2019	Tarun Joseph, Sumedh Naik, Ahmed Shaikh, Wesley Pereira, Bhavin Ingle and Dr. Yerramreddy Srinivasa Rao.	Inc1, Inc2 e Inc3	Aceito
22	Development of a Coupled Spatiotemporal Algal Bloom Model for Coastal Areas: A Remote Sensing and Data Mining-Based Approach	2016	Racha Elkadiri, Cameron Manche, Mohamed Sultan, Ahmad Al-Dousari, Saif Uddin, Kyle Chouinard, and Abotalib Z. Abotalib	Exc1	Rejeitado
23	GSM Based Advanced Water Quality Monitoring System Powered by Solar Photovoltaic System	2022	Muhammad Usman Tahir, Syed Muhammad Ahsan, Syed Muhammad Arif and Muhammad Abdullah.	Inc1, Inc2 e Inc3	Aceito
24	IoT-based Automated Pond Water Quality Monitoring System for Aquaculture Farms	2021	Aishwarya Girish Menon and Prabhakar M.	Inc1	Aceito
25	Monitoring of Abiotic Factors in Outdoor Aquaponics with Fuzzy Logic for Growing of <i>Costus Igneus</i>	2020	John Patrick Banjao, Kyle Villafuerte and Jocelyn Flores Villaverde.	Exc1	Rejeitado
26	Real-Time Water Quality Monitoring System with Predictor for Tilapia Pond	2018	Jake D. La Madrid ¹ , Jennifer C. Dela Cruz and Vince Lloyd Q. Balisi.	Inc1	Aceito

Fonte: Autoria própria.