MEC-SETEC
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS – CAMPUS FORMIGA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Beatriz Ribeiro Cardoso

MONITORAMENTO DE PROCESSO SIMULADO PARA REFRIGERAÇÃO DE LEITE COM INTERFACE BASEADA EM IOT

Formiga - MG
2023

BEATRIZ RIBEIRO CARDOSO

MONITORAMENTO DE PROCESSO SIMULADO PARA REFRIGERAÇÃO DE LEITE COM INTERFACE BASEADA EM IOT

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Formiga, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Marco Antônio Silva Pereira

Formiga - MG
2023

Cardoso, Beatriz Ribeiro
C268m Monitoramento de processo simulado para refrigeração de leite com interface baseada em IOT / Beatriz Ribeiro Cardoso -- Formiga : IFMG, 2023.
69p. : il.

Orientador: Prof. MSc. Marco Antônio Silva Pereira
Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* Formiga.

1. Internet das Coisas. 2. Microcontrolador ESP8266. 3. Monitoramento. 4. Qualidade de Energia. 5. Refrigeração de leite. I. Pereira, Marco Antônio Silva. II. Título.

CDD 621.3

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Msc. Simoni Júlia da Silveira

BEATRIZ RIBEIRO CARDOSO

MONITORAMENTO DE PROCESSO SIMULADO PARA REFRIGERAÇÃO DE LEITE COM INTERFACE BASEADA EM IOT

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* Formiga como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Marco Antônio Silva Pereira

Avaliado em 16 de junho de 2023.
Nota: 87,5

BANCA EXAMINADORA

Marco Antônio Silva Pereira

Prof. Me. Marco Antônio Silva Pereira (Orientador)

Felipe de Sousa Silva

Prof. Me. Felipe de Sousa Silva

Marcus Vinícius de Paiva

Prof. Me. Marcus Vinícius de Paiva

Este trabalho é dedicado aos meus queridos pais que sempre me apoiaram durante o processo de estudo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a Nossa Senhora por me guiarem e cuidarem durante este trabalho de conclusão de curso com saúde e fé para chegar até o final.

Aos meus amados pais Adriana e Manoel que sempre estiveram ao meu lado me apoiando ao longo de toda a minha trajetória, sempre dando o colo e o apoio que precisei para finalizar o curso. A minha irmã Barbara, minha avó Maria (*in memoriam*) e minha prima Natalia (*in memoriam*), por estarem ao meu lado no início dessa trajetória, onde toda a família morou comigo em Formiga para a realização desse sonho.

Agradeço ao meu orientador Prof. Marco Antônio por aceitar conduzir o meu trabalho de pesquisa e por todo o apoio dado desde o início do trabalho com as inúmeras reuniões, soluções e companheirismo.

Também agradeço aos meus amigos Raul, André, Igor, Bruno, Maria Tereza e Anna que sempre me ajudaram, seja emprestando um componente que estava faltando, seja dando uma ideia sobre o que escrever. Por me segurar quando tudo parecia não encaixar ou dar certo, mas principalmente pela amizade que construímos durante todos esses anos.

A todos os meus professores do curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Formiga pela excelência da qualidade técnica de cada um.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para realização desse trabalho.

“Os grandes propósitos são sempre atravessados por diversos obstáculos e dificuldades.”

(São Vicente de Paulo)

RESUMO

O setor de laticínios tem relevante participação na cadeia produtiva do Brasil, sendo submetido a rigorosos controles de qualidade, conforme normativas e legislações vigentes. Um dos problemas enfrentados pelo setor está relacionado à falta de monitoramento das grandezas físicas envolvidas no processo de refrigeração do leite, mas principalmente nas instalações dos pequenos produtores. Neste contexto, o presente trabalho de conclusão de curso desenvolve uma interface, baseada no conceito de Internet das Coisas (IoT), para possibilitar que os usuários tenham acesso as informações, por exemplo, da temperatura atual do leite de forma remota, com o uso de um smartphone ou computador com acesso à internet. Para tal, utilizou-se a placa microcontrolada ESP8266, a qual possui módulo Wi-Fi integrado, para possibilitar o envio de informações, coletadas por sensores, à uma interface de monitoramento configurada na plataforma *ThingSpeak*. Esta interface permite, ao usuário, monitorar o volume do líquido presente em um recipiente para simular o comportamento de um tanque de resfriamento de leite e, além disso, é possível verificar sua temperatura e a tensão elétrica da rede de alimentação. Realiza-se o monitoramento, ainda da porcentagem de líquido presente no tanque. Desta forma, é registrada a capacidade de produção diária de leite, sendo que problemas relacionados à temperatura podem ser identificados e correlacionados, em forma de alerta, a possíveis falhas no fornecimento de energia elétrica que podem impactar na qualidade do produto final. Por fim, é feita uma análise da qualidade da energia elétrica, calculando-se indicadores previstos no Módulo 8 do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional).

Palavras-chave: Internet das Coisas. Microcontrolador ESP8266. Monitoramento. Qualidade de Energia. Refrigeração de leite.

ABSTRACT

The dairy industry has a relevant participation in the production chain in Brazil, being subjected to strict quality controls, according to norms and current legislation. One of the problems faced by the sector is related to the lack of monitoring of physical quantities involved in the process of milk refrigeration, but mainly in the facilities of small producers. In this context, this course completion work develops an interface, based on the concept of the Internet of Things (IoT), to enable users to access information, for example, the current temperature of the milk remotely, using a smartphone or computer with internet access. To this end, we used the ESP8266 microcontroller board, which has an integrated Wi-Fi module, to enable sending information collected by sensors to a monitoring interface configured on the ThingSpeak platform. This interface allows the user to monitor the volume of liquid present in a container to simulate the behavior of a milk cooling tank and, in addition, it is possible to check its temperature and the electrical voltage of the power supply network. In addition to the temperature value, the percentage of liquid present in the tank, the level and the electrical voltage of the supply network are monitored. In this way, the daily milk production capacity is registered, and problems related to temperature can be identified and correlated, as an alert, to possible failures in the electric power supply that can impact the quality of the final product. Finally, an analysis of the electric power quality is made, calculating indicators provided in Module 8 of PRODIST (Procedures for Distribution of Electric Power in the National Electric System).

Keywords: Internet of Things. ESP8266 Microcontroller. Monitoring. Power Quality. Milk Cooling.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D - Analógico/ Digital

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica.

CPU - *Central Processing Unit.*

CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil.

CONTECC - Congresso Técnico Científico da Engenharia.

CISC - *Complex Instructions Set Computers.*

DRC - Duração Relativa da Transgressão para Tensão Crítica.

DRP - Duração Relativa da Transgressão para Tensão Precária.

EA - Energia Ativa.

EEPROM - *Eletrically- Erasable Programmable Read.*

ER - Energia Reativa.

FPGA - *Field-Programmable Gate Array*.

GSM - *Global System for Mobile Communications*.

HTTPS - *Hyper Text Transfer Protocol Secure*.

IDE - *Integrated Development Environment* .

IFMG - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais.

IoT - *Internet of Things*.

LMTE - Linhas de Macapá Transmissora de Energia.

MATLAB - *Matrix Laboratory*.

MIT - *Massachussets Institute of Tecnology*.

NLC - Número de leituras situada na faixa círtica.

NLP - Número de leituras situada na faixa precária

P – Potência Ativa.

pH - Potencial Hidrogeniônico.

PIB - Produto Interno Bruto.

PRODIST - Procedimento para Distribuição de Energia Elétrica.

PROM - *Programmable Read-Only Memory*.

PSB - Partido Socialista Brasileiro.

PWM - *Pulse Width Modulation*.

Q - Potência Reativa.

RISC - *Reduced Instructions Set Computers.*

ROM - *Read Only Memory.*

RS - Rio Grande do Sul.

SDAT - Sistemas de Distribuição em Alta Tensão.

SDBT - Sistemas de Distribuição em Baixa Tensão.

SDMT - Sistemas de Distribuição em Média Tensão.

SMS - *Short Message Service*.

SP - São Paulo.

TA – Tensão de Atendimento.

TR - Tensão de Referência.

UAM - Universidade Anhembi Morumbi.

UC - Unidade de Controle.

ULA - Unidade Lógico-Aritmética.

USB - *Universal Serial Bus*.

VTCD - variação de tensão de curta duração.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica desempenha um papel fundamental para o bem-estar das pessoas e para o funcionamento de diversas atividades do cotidiano, seja em residências, comércios ou indústrias. Para ressaltar sua importância na sociedade atual, é conveniente analisar a evolução histórica do seu uso ao longo dos anos.

Até o final de 1970, existiam apenas três tipos de consumidores: Residenciais (Urbano e Rural), comercial ou de Serviços e Industrial. As cargas predominantes nos consumidores residenciais eram de pequeno porte, sendo a maior parcela do consumo devida à presença de um único aparelho de aparelho de televisão, chuveiro e ferro elétrico (MEJL). Atualmente, é comum encontrar uma quantidade significativamente maior de equipamentos elétricos em uma residência, tais como fornos de micro-ondas, máquinas de lavar e ar-condicionado.

À medida que o perfil de consumo de energia elétrica passou por variações, questões relacionadas à qualidade da energia tornaram-se objeto de discussão (DECKMANN; POMILIO, 2017).

Deckmann e Pomilio (2017) também ressaltam que para definir qualidade de energia elétrica é imprescindível avaliar problemas diretos e indiretos decorrentes da má regulação da tensão, de interrupções no fornecimento de energia ou por fenômenos de alterações na frequência da rede. Estes problemas podem variar desde um simples incômodo visual provocado por oscilações luminosas até perdas de produtos perecíveis, paralisação na prestação de serviços, desligamento de equipamentos hospitalares essenciais, redução da vida útil de aparelhos elétricos, etc.

Estudos demonstram que os custos decorrentes da má qualidade da energia elétrica podem gerar prejuízos elevados no setor industrial. Há mais de 10 anos, estimava-se que a indústria manufatureira dos Estados Unidos arcava com custos da ordem de 10 bilhões de dólares devido a interrupções de processos. Na Europa, na mesma época, os custos estimados associados a diversos tipos de distúrbios chegavam a 1,5% do Produto Interno Bruto (PIB). Sendo assim, torna-se evidente a necessidade de monitorar se as condições de suprimento de energia se encontram adequadas (DECKMANN, POMILIO, 2017).

Os consumidores de áreas rurais também são afetados por problemas de qualidade de energia elétrica, principalmente em função das condições, normalmente precárias, das redes

de alimentação. Tais condições levaram o deputado federal Heitor Schuch (PSB/RS) a apresentar, em maio de 2020, um projeto de lei para que as empresas de distribuição de energia elétrica sejam responsabilizadas por prejuízos à produção agropecuária ocasionados por problemas no fornecimento de energia elétrica, em razão da precariedade da infraestrutura das redes. Segundo Schuch, as redes rurais são precárias, sem manutenção adequada e geram falta de eletricidade de forma frequente em inúmeras propriedades. Esse projeto prevê multa e ressarcimento ao consumidor em caso de perdas ou falta de restabelecimento dos serviços no prazo superior a 12h (WESSLING, 2021).

O projeto segue tramitando e, por enquanto, sem previsão para votação (WESSLING, 2021). A Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) em 2016 relatou que os principais afetados no meio rural, são os produtores de leite que sofrem pela perda do produto e pelo aumento dos custos da produção em virtude da aquisição e manutenção de geradores de energia. O sucateamento da rede elétrica e a falta de investimentos estruturais são as principais causas de problemas, sendo necessário realizar investimentos para dar apoio aos produtores rurais.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), quando ocorrem essas perdas o produtor precisa entrar em contato com a concessionária e solicitar o ressarcimento, porém o problema precisa ser registrado em até 90 dias, contendo a especificação dos equipamentos que foram danificados para ser aberto um processo de indenização. É requerido, no entanto, que haja comprovação de que tais equipamentos foram danificados pela falta de energia elétrica, sendo orientado realizar o registro horário e fotográfico, assim como a abertura de um Boletim de Ocorrência na delegacia.

Atualmente, é possível encontrar diversos trabalhos acadêmicos que estudam e tratam desses problemas relatados. Em 2018, Gabriel Ramos Teixeira apresentou um Trabalho de Conclusão de Curso no IFMG Campus Formiga intitulado como “Desenvolvimento de sistema microcontrolado para redução de perdas associadas ao processo de refrigeração do leite em pequenas propriedades”, onde propôs um sistema que detecta a tensão elétrica de um produtor e envia os dados para um Arduino, o qual recebe as informações e emite alertas, em forma de alarme e mensagens de SMS, para informar o produtor sobre a ocorrência de uma falha no suprimento de energia (TEIXEIRA, 2018). Nesse projeto foram utilizadas baterias para manter o sistema sempre em operação com o alarme funcionando em caso de falta de energia. Na época não se preocupou em utilizar a internet, pois o acesso em áreas rurais era mínimo.

Em 2021, um grupo de estudantes apresentou um artigo científico ao CONTECC

(Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia) denominado como “Supervisão de variáveis físico-químicas e elétricas na refrigeração do leite produzido pelo pequeno produtor rural” (SILVA, SANTANA, CORDEIRO, ALEXANDRE, 2021). Tratam do controle de temperatura, umidade e pH de um tanque de leite. Utilizando uma plataforma denominada como *ThingSpeak* para armazenar as informações enviada por um microcontrolador ESP32, o objetivo maior era avaliar as variáveis que influenciam na qualidade do leite.

Tendo em vista os problemas de qualidade de energia enfrentados pelos produtores rurais e os esforços encontrados na literatura para amenizá-los, o presente trabalho de conclusão de curso propõe-se a desenvolver um sistema para monitoramento de um processo simulado de resfriamento de leite, diferenciando-se de Teixeira (2018), por permitir verificar outros parâmetros, como temperatura e volume do líquido, na plataforma online *ThingSpeak*, de forma similar ao demonstrado em (SILVA, SANTANA, CORDEIRO, ALEXANDRE, 2021), porém com a emissão de alertas mediante constatação de falhas no fornecimento de energia. Adicionalmente, os registros de tensão serão utilizados para realizar uma análise, no *software* Matlab, dos indicadores de qualidade de energia conforme definições estabelecidas pelo Módulo 8 do PRODIST.

1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema capaz de monitorar medições de tensão elétrica de um consumidor, assim como valores de temperatura e volume de líquido presente em um recipiente para simulação de um processo de resfriamento de leite em tanque. Desta forma, em uma aplicação real, seria possível auxiliar pequenos produtores a diminuírem as perdas devido à má qualidade de energia elétrica em áreas rurais. As informações monitoradas pelo sistema são coletadas por sensores específicos de tensão, distância e temperatura, sendo interpretadas por uma placa microcontrolada com ESP8266, que faz o envio dos dados à plataforma *ThingSpeak* em tempo real. Adicionalmente, também será implementada uma ferramenta computacional, em ambiente MATLAB, que seja capaz de coletar as medições disponibilizadas para calcular indicadores de qualidade de energia.

1.1.2 Objetivos específicos

De forma mais específica, para a realização desse trabalho pretende-se:

- Realizar leitura de nível com sensor ultrassônico;
- Realizar leitura de temperatura com sensor DS18B20;
- Realizar leitura de tensão por circuito divisor de tensão com transformador;
- Utilizar a plataforma *IoT ThingSpeak* para monitorar os dados;
- Realizar a exportação de dados da plataforma;
- Realizar análise de indicadores de qualidade de energia elétrica;
- Apresentar os cálculos dos indicadores de qualidade de energia elétrica;
- Apresentar de forma gráfica e numérica os resultados da análise da qualidade de energia elétrica;
- Apresentar novas soluções para problemas enfrentados por produtores rurais devido à falta de qualidade de energia elétrica.

1.2 Estrutura do trabalho

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi organizado em cinco capítulos, iniciando pela introdução com informações sobre o problema de estudo, justificativa, objetivos gerais e específicos e a estrutura do trabalho.

Em seguida, o capítulo dois trata do referencial técnico, envolvendo temas como: Qualidade do fornecimento de Energia Elétrica, Indicadores de Qualidade, Sistemas Embarcados e Dispositivos Eletrônicos.

O capítulo três apresenta a metodologia utilizada no trabalho. No capítulo quatro estão descritos os resultados obtidos e as discussões associadas.

Por fim, no capítulo cinco são apresentadas as conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) disponibiliza uma série de regras e procedimentos para a distribuição de energia elétrica (PRODIST) no Brasil. O módulo 8 do PRODIST é responsável por estabelecer os procedimentos relativos à qualidade da energia elétrica, sendo sua última revisão publicada em 07 de dezembro de 2021. O módulo define os critérios para que a energia elétrica seja distribuída aos consumidores da melhor forma possível, avaliando a qualidade do produto, do serviço e o tratamento de reclamações.

Os indicadores relevantes para o consumidor final estão descritos no tópico sobre a qualidade do produto, onde define-se a terminologia, se fornecem as características dos fenômenos e são estabelecidos indicadores limites das tensões em regime permanente e transitório. As análises são feitas em relação a tensão em regime permanente, fator de potência, harmônicos, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão e variação de frequência, sendo indicados no Módulo, valores de referência ou limite, procedimentos de medição e orientações para emitir reclamações relacionadas à qualidade do produto.

Com isso, constitui-se indicadores individuais e coletivos de conformidade de tensão elétricas e os prazos para compensação ao consumidor, caso essas medições de tensão excedam os limites estabelecidos (PRODIST, 2021). Para garantir que a energia elétrica entregue aos consumidores finais esteja em boas condições a distribuidora precisa acompanhar a tensão em regime permanente em todo o seu sistema.

Outro parâmetro de interesse, ao se tratar de qualidade de energia, é o fator de potência, o qual quantifica a eficiência energética de um sistema em corrente alternada. O PRODIST revela que o fator de potência deve ser calculado a partir dos valores registrados de potências ativa e reativa (P,Q) ou das respectivas energias (EA, ER). O fator de potência deve ser controlado em caso de unidades consumidoras atendidas pelo SDMT (Sistemas de Distribuição em Média Tensão) e SDAT (Sistemas de Distribuição em Alta Tensão) e nas conexões entre distribuidoras, ou com medição individual permanente e facultativa nos casos de unidades consumidoras do Grupo B com instalações conectadas pelo SDBT (Sistemas de Distribuição em Baixa Tensão) (PRODIST, 2021).

Segundo PRODIST (2021, p.16), “as distorções harmônicas são fenômenos associados à deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental”.

O índice sobre desequilíbrio de tensão é definido da seguinte maneira: fenômeno caracterizado por qualquer diferença verificada nas amplitudes entre as três tensões de fase de um determinado sistema trifásico, e/ou na defasagem elétrica de 120º entre as tensões de fase do mesmo sistema (PRODIST, 2021).

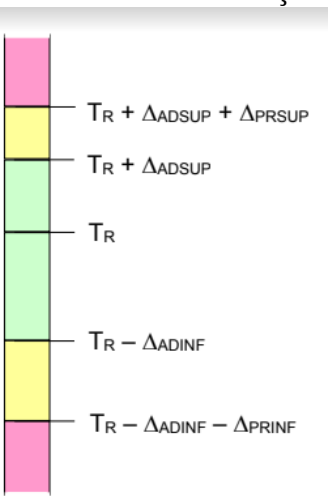
Segundo PRODIST (2021, p.17) “a flutuação de tensão é o fenômeno caracterizado pela variação aleatória, repetitiva ou esporádica do valor eficaz ou de pico da tensão instantânea”. A regulamentação deste distúrbio permite avaliar o incômodo provocado pelo efeito da cintilação luminosa para o consumidor, principalmente aqueles que possuem ponto de iluminação alimentados em baixa tensão (PRODIST, 2021).

A variação de frequência é limitada em regime permanente a operar dentro dos limites de 59,1 Hz e 60,1 Hz. As distribuidoras devem garantir no caso de distúrbios no sistema, que a frequência retorne em até 30 (trinta) segundos após a transgressão para a faixa de 59,5 Hz a 60,5 Hz permitindo a recuperação do equilíbrio carga-geração. Portanto, se houver necessidade é gerado um corte de geração ou carga para permitir esse equilíbrio. Por fim, a variação de tensão de curta duração (VTCD) consiste em desvios significativos na amplitude do valor eficaz da tensão durante um intervalo inferior a três minutos (PRODIST, 2021).

2.2 Indicadores de qualidade

O valor da tensão em regime permanente, conforme estabelecido pelo Módulo 8 do PRODIST, deve estar dentro de um valor referência que é a tensão contratada ou nominal, que varia de acordo com o nível do ponto de conexão. Além disso, a tensão contratada deve situar-se entre 95% (noventa e cinco por cento) e 105% (cento e cinco por cento) da tensão nominal de operação do sistema. As medições referentes à tensão de atendimento do consumidor são classificadas em torno do valor da tensão de referência (TR), conforme ilustrado pela Figura 1.

Figura 1 – Faixas de tensão em relação à referência.



Fonte: PRODIST (2021).

Onde:

- Tensão de Referência (TR);
- Faixa Adequada de Tensão (TR-ΔADINF, TR + ΔADSUP);
- ΔADINF - limite de tensão adequada inferior;
- ΔADSUP – limite de tensão adequada superior;
- Faixas Precárias de Tensão (TR + ΔADSUP, TR + ΔADSUP+ ΔADSUP ou TR-ΔADINF- ΔADINF, TR-ΔADINF);
- Faixas Críticas de Tensão (>TR+ ΔADSUP + ΔADSUP ou < TR-ΔADINF- ΔADINF).

De forma mais intuitiva, as faixas de classificação das tensões, para pontos de conexão com tensão nominal igual ou inferior a 1 kV está descrita na tabela 1, cujas informações foram extraídas integralmente do Anexo I: Faixas de Classificação de Tensões do Módulo 8 do PRODIST.

Tabela 1 – Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou inferior a 1kV (220/127).

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (Volts)
Adequada	(202≤Tens. De Leitura≤231)/ (117≤ Tens. De Leitura ≤133)
Precária	(191≤ Tens. De Leitura ≤202 ou 231≤ Tens. De Leitura ≤233) (110≤ Tens. De Leitura ≤117 ou 133≤ Tens. De Leitura ≤135)
Crítica	(Tens. De Leitura <191 ou Tens. De Leitura >233)/ (Tens. De Leitura <110 ou Tens. De Leitura >135)

Fonte: PRODIST (2021).

No presente trabalho foi considerada uma unidade consumidora com alimentação em 127V, logo os valores medidos de tensão precisam estar entre 117 e 133V para serem considerados adequados, conforme tabela 1. As análises de tensão nas faixas adequadas, precárias e críticas subsidiam o cálculo dos indicadores de qualidade de energia elétrica.

O conjunto das medições para gerar os indicadores individuais precisa de um registro com 1008 (mil e oito) leituras válidas obtidas em intervalos consecutivos de 10 minutos cada. Após recolher as medições válidas, devem ser calculados o índice de duração relativa da transgressão para tensão precária (DRP) e para tensão crítica (DRC) de acordo com a expressão matemática:

$$DRP = \frac{nlp}{1008} * 100[\%] \quad (1)$$

$$DRC = \frac{nlc}{1008} * 100[\%] \quad (2)$$

Em que nlp e nlc são os números de leituras situadas nas faixas precária e crítica, respectivamente. O limite do indicador DRP é de 3% (três por cento) e para o DRC é de 0,5% (cinco décimos por cento). Existem alguns outros indicadores que não serão abordados, pois são indicadores para unidades consumidoras coletivas.

2.3 Sistemas Embarcados e Dispositivos Eletrônicos

Os sistemas embarcados são dispositivos com funções específicas para processar

dados e interagir, de acordo com instruções preestabelecidas, com o ambiente utilizando sensores, atuadores, etc. Os sistemas embarcados surgiram no fim da década de 1960, com um pequeno programa de controle funcional de telefones. Esse programa foi escrito em linguagem *Assembly* e em seguida foi customizado para outros dispositivos, adaptando-se os dados de entrada e saída a partir da necessidade da aplicação. Posteriormente, com o surgimento dos microprocessadores foi desenvolvido um *software* específico para os vários tipos de processadores e os primeiros programas eram escritos em linguagem de máquina. Por volta da década de 1970 começam a surgir as bibliotecas e os códigos específicos para cada tipo de microprocessador e atualmente os sistemas embarcados possuem sistemas operacionais e linguagem de alto nível.

Os dispositivos eletrônicos em conjunto com os sistemas embarcados são encontrados em inúmeros equipamentos comuns do dia a dia, como celulares, computadores, eletrodomésticos. Algumas aplicações no setor automobilístico, por exemplo, permitem todas as informações sobre o funcionamento do veículo sejam armazenadas em várias unidades de processamento tornando o veículo melhor, com memorização de posição dos bancos, espelhos, volante, etc.

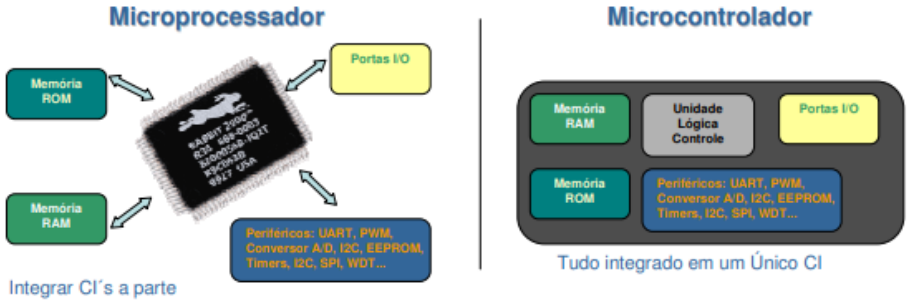
Portanto, esses sistemas podem auxiliar em diversos ramos, sejam industriais, residenciais, prediais, rurais, etc. Nesse trabalho o interesse da utilização de um sistema embarcado é amparar um pequeno produtor rural nas perdas ocasionadas pela interrupção do fornecimento de energia. Para implementar este tipo de sistema, são necessários alguns dispositivos eletrônicos principais como microcontrolador, sensores, determinação de um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), plataforma de interação com a internet, etc. Os elementos necessários para o desenvolvimento do sistema proposto estão detalhados a seguir nos próximos tópicos.

2.4 Microcontroladores

Atualmente, os aparelhos eletrônicos são controlados de alguma forma seja por um microprocessador, microcontrolador ou por um sistema digital sem software (FPGA). O microprocessador é um circuito integrado com vários transistores que armazenam e manipulam os dados, porém essa precisa receber diretrizes externas e necessitam de outros componentes

eletrônicos acoplados para funcionar corretamente. O microcontrolador possui um microprocessador e outros componentes (periféricos) necessários para o funcionamento em seu encapsulamento interno (computador de um chip). As diferenças estruturais entre o microprocessador e os microcontroladores estão ilustradas na Figura 2.

Figura 2 – Diferenças entre o microprocessador e o microcontrolador.



Fonte: Chase (2007).

Os microprocessadores são utilizados para processar informações com capacidade de cálculos matemáticos e endereçamento de memória externa. São usados barramentos de dados, controle e endereços para fazer acesso aos periféricos de entrada e saída e precisam de circuitos integrados externos com memória para armazenar os dados e executar o programa, conversor A/D para adquirir os dados analógicos e sensores nos microprocessadores. A vantagem dos microprocessadores é que possuem uma velocidade de processamento maior e podem ser utilizados em soluções mais complexas (CHASE, 2007), em contrapartida, os microcontroladores são ideais para implementação de sistemas embarcados compactos, proporcionando soluções de baixo custo com facilidade de programação para atender uma demanda específica.

2.5 Internet das Coisas e *ThingSpeak*

A Internet das Coisas (*IoT*) é um conceito responsável por permitir a troca de informações de forma autônoma entre diversos dispositivos. Sendo assim, dados coletados por sensores podem ser acessados pela rede de internet, por exemplo, para auxiliar às tomadas de decisão envolvendo elementos controladores e atuadores.

O termo Internet das Coisas vem do inglês *Internet of Things*, que surgiu por um

pesquisador britânico chamado Kevin Ashton do *Massachussets Institute of Tecnology* (MIT) em 1999. A primeira ideia consistia em etiquetar eletronicamente produtos de uma empresa para facilitar a logística da cadeia de produção da empresa com identificadores de rádio frequência (ROCHA, 2015).

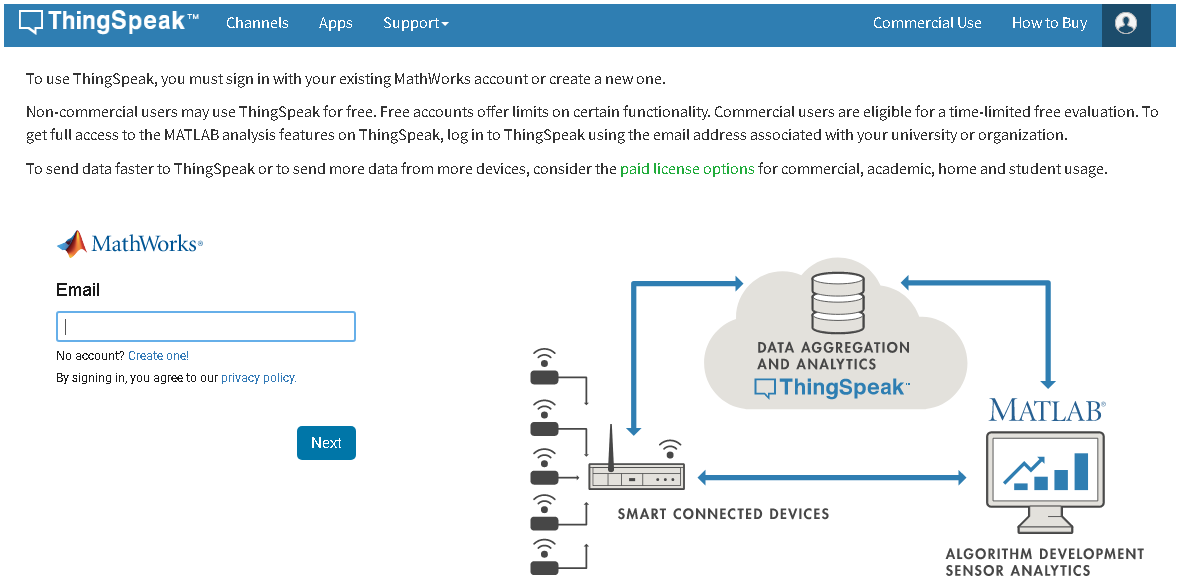
Segundo Souza (2017), a Internet das Coisas surgiu para melhorar a interação e dinamismo na comunicação com a Internet, sendo capaz de armazenar dados em nuvem, processá-los de forma mais rápida e prática, sem a necessidade de ter uma pessoa em campo para analisar se aquela informação está realmente sendo processada em tempo real. Essas "coisas" se referem aos dispositivos que conversam entre si e possuem uma "tomada de decisão" de forma independente da operação humana. Atualmente, observa-se essa tecnologia em diversos segmentos, proporcionando um avanço inovador ao ser implantado em novos produtos e serviços.

A IoT está presente em diversas aplicações residenciais e industriais, porém surge a necessidade de ser utilizada em locais como a área rural. Atualmente, já existem algumas implementações como Irrigação Inteligente, Controle de Pragas, Telemetria (para verificar rotação, temperatura e pressão dos maquinários), Robótica (tratores e máquinas autônomas) e Rastreamento e Monitoramento dos animais. Porém, esta tecnologia ainda é pouco difundida, pois exige um conhecimento avançado dos produtores e o custo pode não ser acessível.

Segundo a IOT *Analytics* (2019), em uma pesquisa feita em 2019, existem até 620 plataformas para implementação de soluções que envolvem o conceito de IoT no mercado. A escolhida para a realização da presente proposta foi a *ThingSpeak*, que é uma plataforma simples, popular que permite trabalhar com dados numéricos. Além do armazenamento dos dados em nuvem, estes podem ser visualizados em forma gráfica.

De forma prática, em um sistema embarcado deve existir um microcontrolador com acesso à internet para realizar o envio das informações relevantes da aplicação, provenientes da leitura de sensores por exemplo, para a plataforma. O cadastro no *ThingSpeak* pode ser feito de forma gratuita com uma conta de e-mail, nesse formato os dados podem enviados via HTTP/HTTPS a cada 15 segundos e há a possibilidade de utilizar um aplicativo no celular para o envio de notificações conforme instruções que forem estabelecidas. A apresentação da plataforma é relativamente simples, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 – Página inicial da plataforma *ThinSpeak*.



Fonte: *ThingSpeak* (2023).

Na página inicial da plataforma, basta efetuar o login, a partir de prévio cadastro, para que seja possível criar um canal para registro das informações de interesse. Na Figura 4 pode ser visualizado o canal criado para atender os requisitos da proposta deste trabalho, demonstrando a evolução de algumas grandezas ao longo do tempo de forma gráfica.

Figura 4 – Plataforma *ThinSpeak.*

Fonte: *ThingSpeak* (2023).

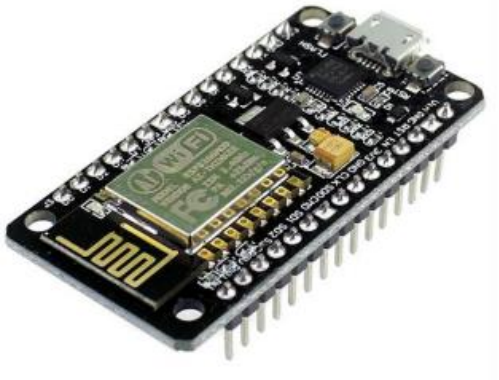
O canal criado possui uma chave ID e um nome, podendo estar configurado como privado ou em modo público. Na aba "*API Keys*" ficam as chaves de escritas e leitura da plataforma IoT e na *Data Import/Export* os dados registrados que podem ser exportados ou importados pela plataforma.

2.6 ESP 8266

Os estudiosos, *markers* e hobbistas afirmam que a referência mundial de plataforma embarcada é o Arduino, porém existem outras plataformas de desenvolvimento similares que podem ter recursos adicionais. O ESP8266, por exemplo, é um microcontrolador criado por uma empresa chinesa chamada *Expressif Systems* que é especializada no desenvolvimento de soluções *WiFi* de ponta e *Bluetooth*.

O denominado *NodeMCU* é uma plataforma *open source*, similar às placas Arduino, que emprega o ESP8266 e possui uma solução de rede WiFi independente com opção de conexão à internet como ilustra a Figura 5.

Figura 5 – Microcontrolador ESP8266.



Fonte: Oliveira (2016).

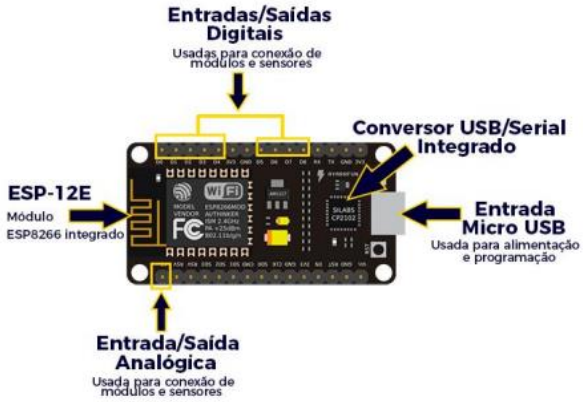
Segundo OLIVEIRA (2016), as suas principais características são:

- Processador ESP8266-12E;
- Arquitetura RISC de 32 bits;
- Processador opera nas frequências de 80MHz/160MHz;
- 4Mb de memória flash;
- 64Kb para instruções;
- 96Kb para dados;
- WiFi nativo padrão 802.11b/g/n;
- Opera em modo AP, *Station* ou AP+ *Station*;
- Alimentação 5VDC através do conector micro UBS (11 pinos digitais);
- 1 pino analógico com resolução de 10 bits;
- Pinos digitais, exceto D0 possuem interrupção, PWM, 12C e *one wire*;

- Pinos operam em nível lógico de 3.3V;
- Pinos não suportam 5V;
- Possui conversor UBS Serial integrado;
- Programável via USB ou WiFi (OTA);
- Compatível com a IDE do Arduino;
- Compatível com módulos e sensores usados no Arduino.

A Figura 6, a seguir, ilustra a localização física dos principais elementos presentes na placa *NodeMCU*

Figura 6 – Composição da placa *NodeMCU*.



Fonte: Oliveira (2016).

Além de possuir um baixo custo, o módulo integra a capacidade de conexão com a internet para o que foi proposto. Outra grande vantagem da plataforma ESP8266 é a possibilidade de programar utilizando a IDE do Arduino.

2.7 Sensor de Tensão

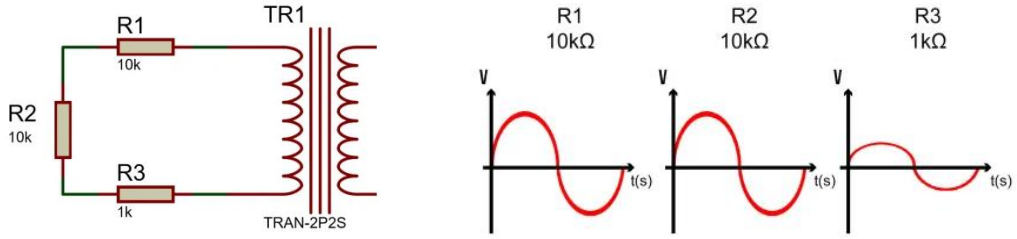
A tensão elétrica é de suma importância em ambientes industriais, residenciais e rurais, pois mantém em funcionamento os equipamentos elétricos e monitorá-la permite realizar manutenções preventivas, evitando que falhas ou perdas tragam prejuízos maiores.

Para realizar a medição de valores de tensão com alguma plataforma

microcontrolada é necessário utilizar sensores/módulos comerciais ou implementar um circuito para adequação do sinal elétrico com transformadores. Neste último caso, um transformador é utilizado para reduzir a tensão alternada da rede, pelo efeito de indução magnética, à níveis compatíveis com o microcontrolador utilizado. Além de reduzir a amplitude da tensão alternada, esta deve ter um ajuste de *off-set* para ser entendida da forma correta, visto que o microcontrolador geralmente realiza leituras de tensão dentro de uma faixa positiva de valores (0 a 5V por exemplo).

Inicialmente, dispõe um circuito divisor de tensão nos terminais do transformador com o intuito de diminuir o pico da tensão de saída para que o ESP8266 leia os valores da tensão, como mostra a Figura 7 (DEMETRAS, 2019). Nesta figura, os fios de alimentação do circuito em monitoramento são conectados nos terminais da direita do transformador, tendo a amplitude de tensão reduzida e disponibilizada para alimentar o ramo do circuito composto pelos resistores R1, R2 e R3.

Figura 7 – Circuito divisor de tensão e formas de onda.



Fonte: Demetras (2019).

Como visto na Figura 7, as formas de ondas encontradas nos resistores variam de acordo com o valor do resistor. Utiliza-se a Lei de Ohm para calcular a tensão de pico nos resistores, considera-se que a tensão de saída do transformador é de 12 Vrms (DEMETRAS, 2019).

$$V = R * I \tag{3}$$

Onde:

- Tensão (V), unidade: Volts [V];
- Resistência (R), unidade: Ohms [Ω];
- Corrente (I), unidade: Ampère [A].

Substituindo os valores:

$$V = R * I$$

$$I = \frac{V}{R} \quad (4)$$

$$I = \frac{12}{21000} = 0{,}57mA \quad (5)$$

O valor de tensão do resistor R3:

$$V = R3 * I \quad (6)$$

$$V = 1000 * 0{,}57\ V \quad (7)$$

$$V = 0{,}57\ V \quad (8)$$

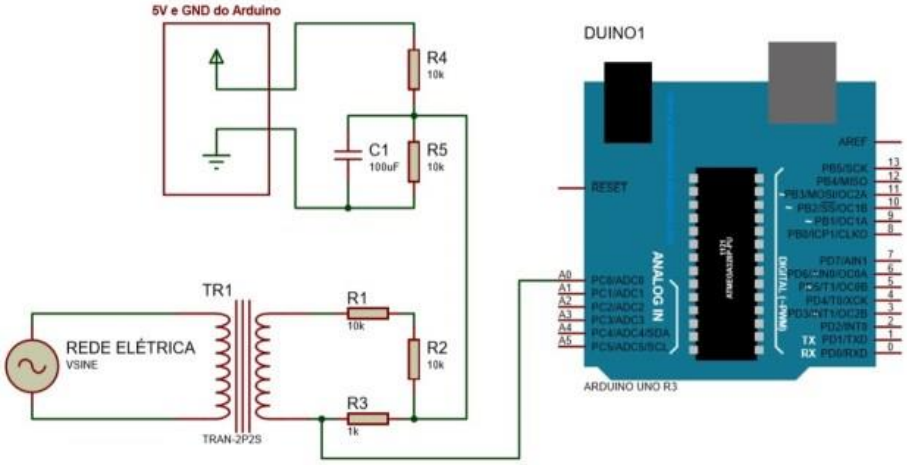
O valor de pico:

$$Vp = Vrms * \sqrt{2} \quad (9)$$

$$Vp = 0{,}57 * \sqrt{2} = 810mV \quad (10)$$

Para Demetras (2019), a corrente do circuito equivale a I=0,57A e a tensão no resistor R3 é de 0,57V. Ao transformar esse valor tem-se o valor de pico de Vp=810mV. Sabe-se que o valor mais alto que esse resistor atinge é de 810mV, portanto é importante adicionar uma tensão de *offset* sobre esse resistor, para que o ESP8266 leia os valores negativos da forma de onda. Para isso, monta-se um segundo divisor de tensão que utiliza uma alimentação de 5V e GND para gerar o valor de tensão DC que será adicionado a forma de onda do resistor R3, como a Figura 8.

Figura 8 – Circuito divisor de tensão e formas de onda.



Fonte: Demetras (2019).

Na Figura 8, o microcontrolador utilizado pelo autor é um arduino, porém nesse trabalho utiliza-se o ESP8266, que possui um funcionamento semelhante. Ao adicionar esse circuito, a forma de onda do resistor tornou-se positiva trazendo um *offset* com o valor mínimo de 0V e o valor máximo de 5V que são valores positivos e importantes para que o ESP8266 realize as leituras das tensões, visto que ele não realiza leitura de tensões negativas e que por fim, possa enviar as leituras ao *ThingSpeak*.

2.8 Sensor de Nível

Para efetuar a medição de nível em um reservatório pode-se utilizar um sensor de distância ultrassônico que funciona detectando a posição de materiais sem o contato direto com o objeto. É um sensor simples, pequeno, com um ótimo custo-benefício, de fácil acesso e que mede distância de milímetros (mm) até metros (m).

Segundo Automação (2022), o princípio de funcionamento desse sensor é baseado na emissão de uma onda sonora de alta frequência e no tempo que leva para a recepção do eco produzido quando esta onda se choca com um objeto capaz de refletir o som. Os sensores emitem pulsos ultrassônicos ciclicamente, quando um objeto reflete esses pulsos o eco resultante é recebido e convertido em um sinal elétrico. O modelo utilizado neste projeto foi o HC-SR04 conforme a Figura 9.

Figura 9 – Sensor Ultrassônico.

Fonte: Oliveira (2019).

O sensor ultrassônico HC-SR04 é capaz de medir distâncias de 2 cm a 4 m com uma excelente precisão. Possui um circuito pronto com emissor e receptor, 4 pinos (VCC, *trigger*, *echo*, GND). Algumas de suas características são:

- Tensão de operação: 5 VDC;
- Corrente de operação: 15mA;
- Faixa de detecção (ângulo): ±15º;
- Alcance: 2 cm a 4 m;

- Margem de erro: ±3 mm.

A distância medida em centímetros (cm), pode ser utilizada para definir a porcentagem de preenchimento de um reservatório conforme equação a seguir:

$$Porcentagem = 100 - \left(100 * \left(\frac{distância - 5}{profundidade}\right)\right) \quad (11)$$

Neste caso, a distância se refere à medição entre o sensor alocado no topo do reservatório e o material presente em seu interior, sendo 5 cm a referência indicativa de reservatório cheio. Esta referência é utilizada para indicar que o sensor está acima do nível máximo, não sendo possível ter contato direto com o material. Por fim, a profundidade se refere à altura total do da posição máxima do líquido, considerado em formato cilíndrico.

2.9 Sensor de Temperatura

Para efetuar a medição de temperatura em um reservatório pode-se utilizar um sensor de temperatura que funciona detectando a temperatura dos materiais com o contato direto com o líquido. Ele contém uma comunicação através de um único fio (1-Wire) e possui uma função chamada *parasite power* permite-se que a alimentação do sensor seja feita a partir de um barramento de dados sem alimentação externa.

O DS18B20 é um sensor de temperatura utilizado para ambientes úmidos ou recipientes líquidos, revestido por material à prova d'água e ponta encapsulada em aço inoxidável, sendo compatível com sistemas embarcados envolvendo microcontroladores das plataformas Arduino e ESP.

Este sensor fornece leituras de temperatura de 9 a 12 bits, e a mesma é feita através de um protocolo de barramento de um fio que usa uma linha de dados para se comunicar com um microprocessador interno, sua configuração física possui 3 fios (VCC, GND, Dados) (LOUSADA, 2020), como visto na Figura 10.

Figura 10 – Sensor DS18B20.

Fonte: Lima (2019).

Suas principais características são:

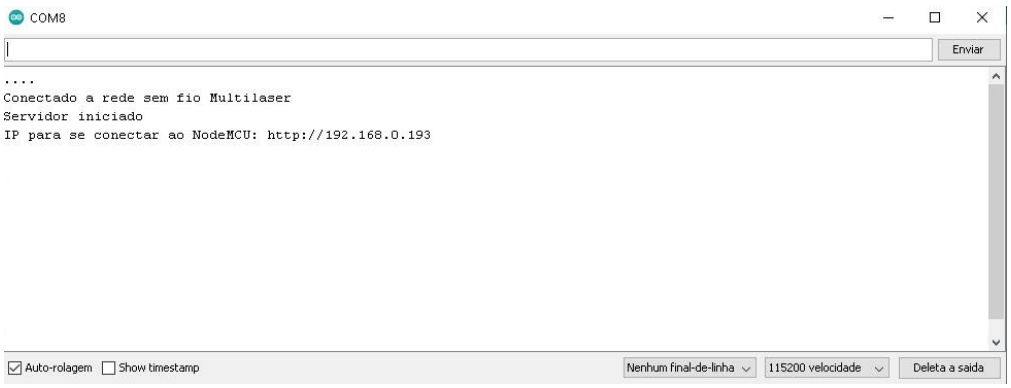
- Tensão de Operação: 3 - 5,5 VDC;
- Faixa de medição: -55ºC a 125º;
- Precisão: ± 0,5 Celsius;
- Resolução: 9 ou 12 bits (configurável);
- Período de atualização: menor que 750ms;
- Encapsulamento em aço inoxidável;
- Dimensão do encapsulamento: 6 mm x 50 mm;
- Comprimento do cabo: 1 m.

3 METODOLOGIA

Nesta seção serão abordados os aspectos metodológicos do sistema implementado, descrevendo-se os procedimentos necessários para sua construção. Esse estudo tem por finalidade apresentar os sensores utilizados, os testes realizados, bem como o funcionamento e características de cada um. Por fim, o protótipo final desenvolvido.

Inicialmente é feita a configuração da IDE (*Integrated Development Environment*) do Arduino para o uso do ESP8266, conforme o Tutorial disponibilizado no Apêndice A. Realizada a configuração da placa e seu reconhecimento pelo computador é importante realizar um teste com um código simples para verificar a conexão com o *Wi-Fi*, visualizada na Figura 11.

Figura 11 – Conexão do ESP8266 ao *Wi-Fi*.



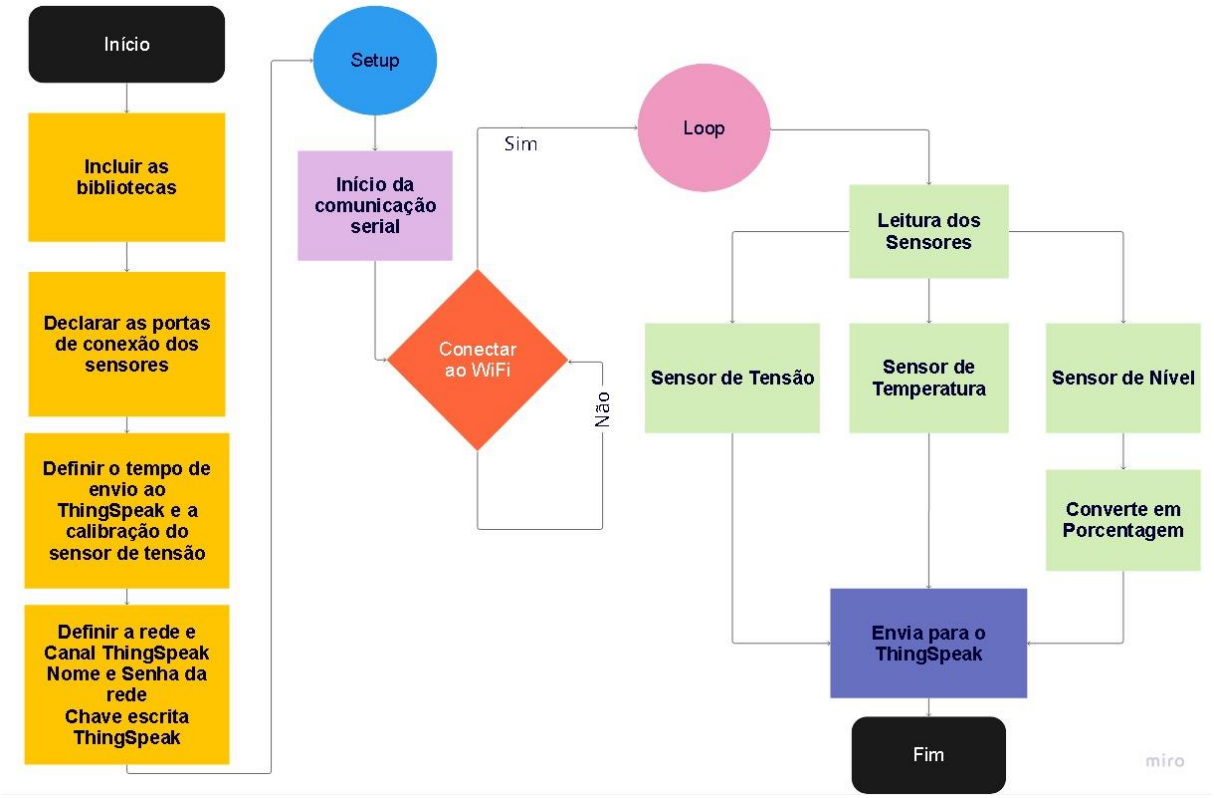
Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Com o acesso à rede *Wi-fi* garantido, é importante verificar se é possível estabelecer comunicação com a plataforma *ThingSpeak*, conforme tutorial apresentado no Apêndice D.

Após os testes de conexão, pode-se realizar as configurações dos sensores que serão utilizados durante todo o trabalho. Esse passo a passo da configuração do Sensor Ultrassônico e do Sensor de Temperatura DS18B20 pode ser verificada no Apêndice B. E no Apêndice C, tem-se um código base para configuração do Sensor de Tensão.

Posteriormente, após todos os testes realizados individualmente em cada um dos sensores é feito um código com todos os sensores enviando os dados para a plataforma IoT do *ThingSpeak*. Esse código foi elaborado conforme o Fluxograma da Figura 12.

Figura 12- Fluxograma do Código do Sistema Embarcado.

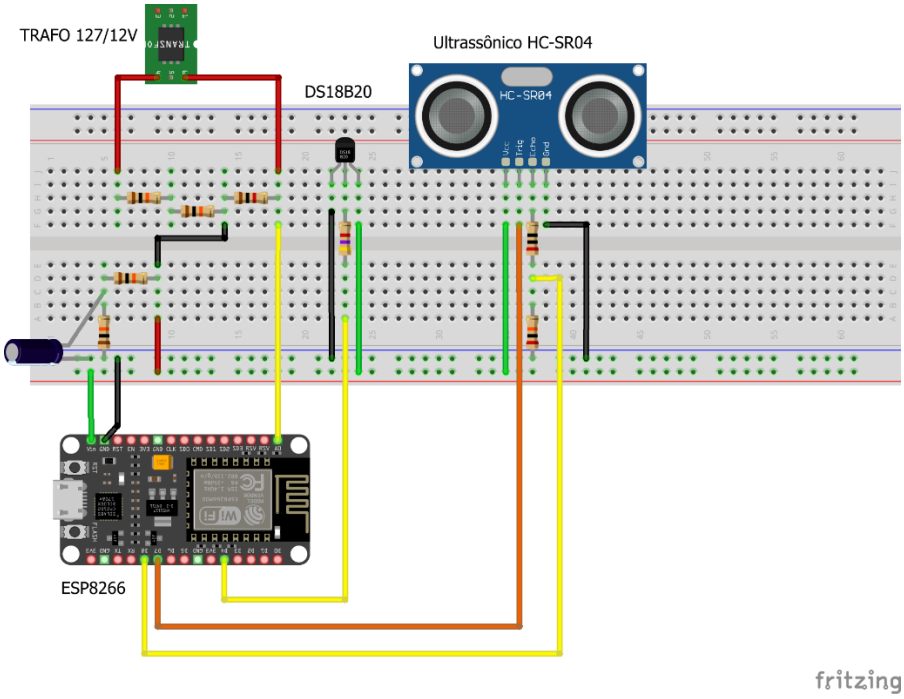


Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Em síntese, o código é responsável por fazer a leitura dos dados separadamente de cada sensor e depois enviá-los ao *ThingSpeak*. Os dados de temperatura são utilizados para verificar se o conteúdo do reservatório está com a temperatura ideal de armazenamento, os dados de nível são utilizados para verificar quando será necessário retirar ou armazenar mais leite e os dados de tensão serão analisados para verificar aspectos relacionados com a qualidade da energia elétrica.

O esquemático do circuito montado na prática foi elaborado no software Fritzing, como mostra a Figura 13.

Figura 13- Esquema de ligação do Sistema Embarcado.

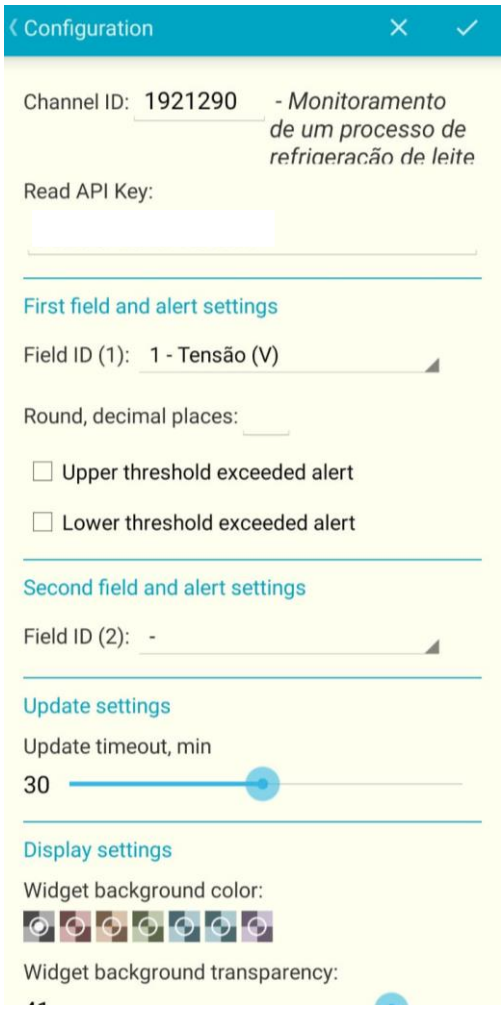


Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Assim como foi explicado no Referencial Teórico, nesse projeto utilizou-se um circuito medidor de tensão e um circuito divisor de tensão, os valores de tensão são enviados ao ESP8266 através do pino analógico A0 e a alimentação do circuito pelo VCC e GND da placa. Para aferir a temperatura, utiliza-se um resistor de 4,7kΩ em série com a porta (D4) que recebe os dados e envia para o ESP8266 e a alimentação é feita pelo VCC e GND. Para o sensor ultrassônico utiliza-se um divisor de tensão para que a tensão no pino do *NodeMCU* esteja em nível compatível com a placa (3,3V) que passa pela porta do *echo*, a alimentação é feita pelo VCC e GND, os pinos *trig* (D7) e o *echo* (D8).

De forma complementar ao *ThingSpeak*, utilizou-se um aplicativo para smartphone, denominado *Widget IoT ThingSpeak*, para criar alertas e enviar as notificações para o usuário. Esse aplicativo permite configurar os valores do protótipo de acordo com os dados que são enviados ao *ThingSpeak*, basta colocar a chave do canal e ajustar os valores de alerta, conforme a Figura 14.

Figura 14- Configuração do *Widget IoT ThingSpeak.*



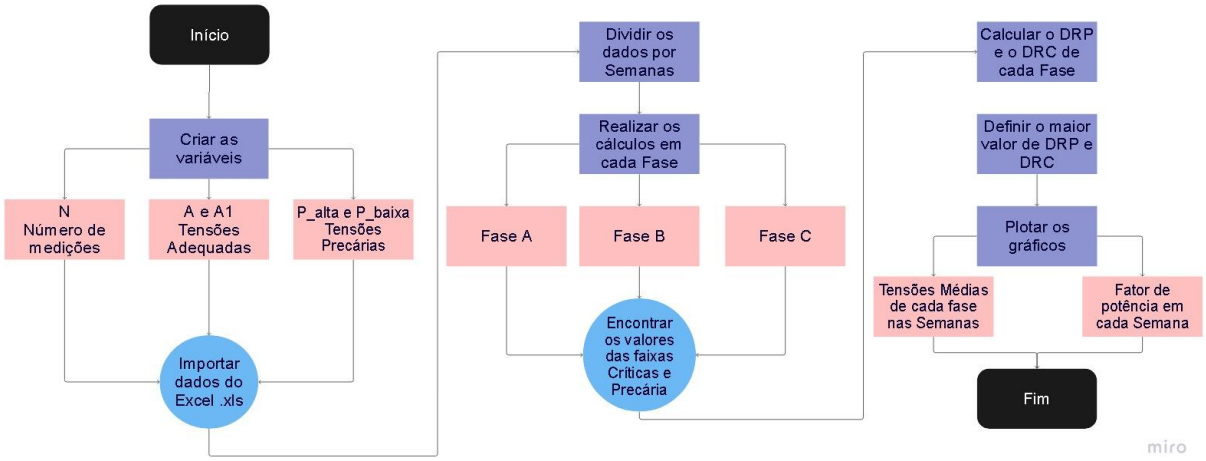
Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Conforme a Figura 14, coloca-se a chave do canal utilizado no *ThingSpeak*, configura-se o gráfico que será analisado (tensão), o valor limite superior e inferior da tensão e ajusta o tempo de atualização dos dados, com isso o alerta foi criado no celular e atuará quando os limites forem atingidos detectando alguma falha no sistema de fornecimento de energia do produtor.

Além do monitoramento da temperatura, do nível do reservatório e da tensão de alimentação da rede, que inclusive possui recurso de alerta para condições críticas e precárias, o registro das medições de tensão pode ser exportado em forma de planilha da plataforma *ThingSpeak* para maior detalhamento e cálculo de indicadores de qualidade de energia, conforme especificações do Módulo 8 do PRODIST. Para isto, foi implementada uma rotina computacional capaz de importar os dados e efetuar os cálculos necessários para exibir, de

forma numérica e gráfica, a evolução das grandezas e indicadores. Esta rotina computacional foi implementada seguindo o fluxograma mostrado na Figura 15.

Figura 15- Fluxograma do Código de Qualidade de Energia Elétrica.



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Nota-se, que são criadas variáveis para armazenar os parâmetros fundamentais de conformidade especificados pelo PRODIST e, em seguida, é realizada a importação dos valores de tensão de uma planilha do Excel, que pode ser proveniente da plataforma *ThingSpeak*. Na prática, os dados utilizados para validar esta rotina computacional não foram medidos pelo protótipo implementado, tendo em vista que seria necessário que o mesmo estivesse em operação por tempo suficiente para coleta de um volume de dados adequado. Sendo assim, optou-se por extrair medições provenientes de um analisador de qualidade de energia (modelo 5051-C da Minipa), as quais foram realizadas no período entre 26/05/2019 e 08/06/2019, com o registro da tensão de cada fase de alimentação do IFMG – *campus* Formiga, em intervalos de dez em dez minutos[1]. Desta forma, a cada semana foram registradas as 1008 medições, sendo possível realizar uma análise efetiva dos indicadores de qualidade de energia de acordo com as recomendações do Módulo 8 do PRODIST.

Após a importação dos dados, realiza-se o cálculo do número de vezes que ocorre a tensão crítica (nlc) e do número de vezes que ocorre a tensão precária (nlp) em cada uma das fases, para quantificar os valores de DRPs e DRCs, selecionando-se a fase mais crítica para plotar gráficos.

[1] O processo de medição foi conduzido pelo professor Dr. Patrick Santos de Oliveira como atividade prática da disciplina de Qualidade de Energia Elétrica do curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do IFMG – *Campus* Formiga, sendo os dados disponibilizados para uso no presente trabalho.

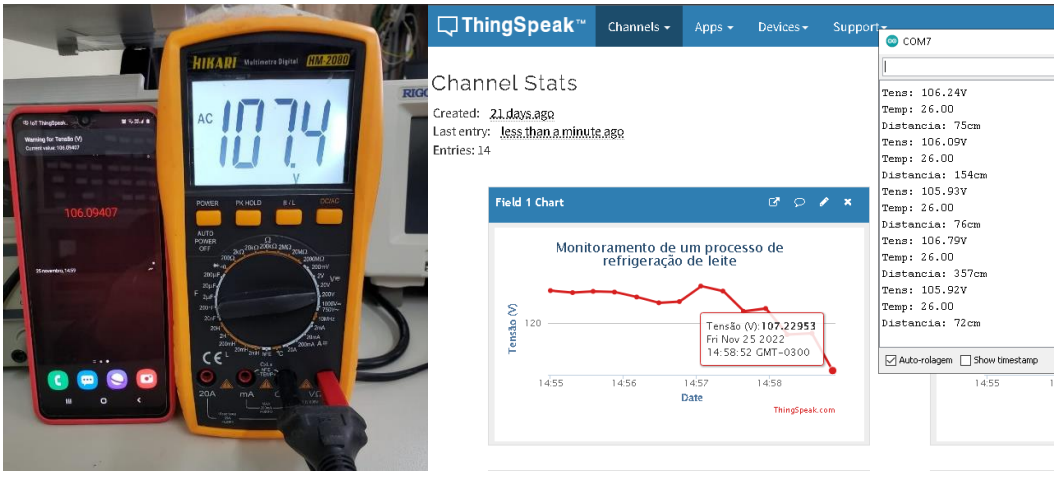
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após todos os testes desenvolvidos é importante verificar o funcionamento do modelo proposto. São necessários ajustes para que todos os sensores funcionem em conjunto dentro da rede de um produtor rural, unificando a medida de tensão da rede, o nível e a temperatura em ambiente de simulação de um processo de resfriamento de leite em tanque.

Para agregar o funcionamento do sistema, utilizam-se dos dados de tensão como parâmetro de alerta para cenários com classificação crítica, precária e adequada. O *ThingSpeak* possui um aplicativo que pode ser encontrado nas bibliotecas de aplicativos dos *smartphones* chamado *Widget IoT ThingSpeak Monitor Widget*. O aplicativo foi configurado adicionando a chave do canal do *ThingSpeak* e escolhe qual medida vai ser monitorada, além de colocar os níveis onde o alerta vai ser adicionado. Para este estudo utilizou-se para monitorar a tensão, os níveis de alerta definidos para valores abaixo de 110V e acima de 135V.

Os testes para validação do funcionamento do sistema foram realizados no Laboratório de Eletrônica do IFMG- *Campus* Formiga utilizando-se um Regulador de Tensão (Varivolt), para reproduzir as situações de tensão abaixo, acima ou dentro do especificado. Na primeira hipótese, utiliza-se uma tensão abaixo de 110V conforme a Figura 16.

Figura 16 - Teste prático de tensão abaixo de 110V.

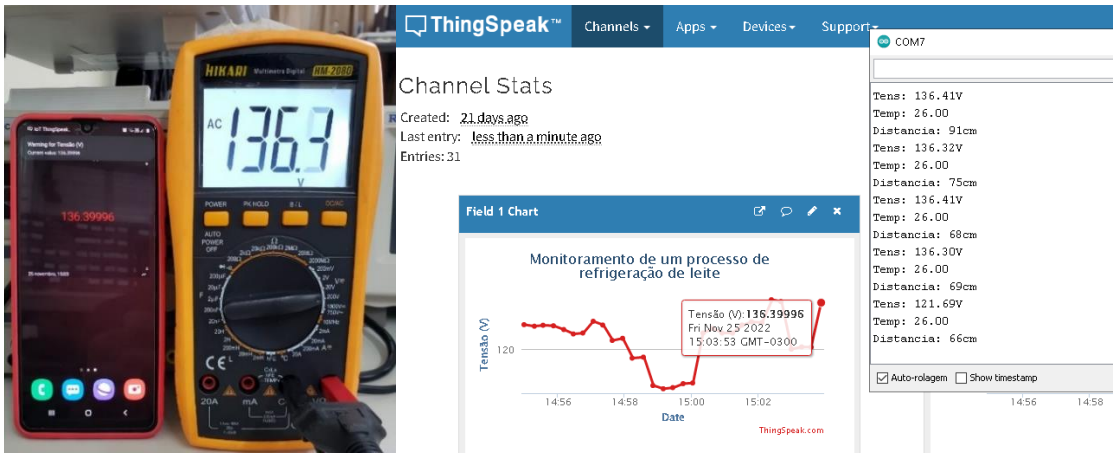


Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Portanto, os dados coletados do sensor para o *ThingSpeak* são também enviados ao produtor através do aplicativo, o alerta é acionado quando o valor da tensão está abaixo de 110V emitindo um sinal sonoro no celular ou vibrações, e este alerta continua acionado até que o

problema seja solucionado ou quando o aplicativo é desligado. O multímetro foi utilizado para validar os valores medidos pelo sensor e nota-se que a diferença dos dados é mínima como qualquer teste prático, onde os erros experimentais são comuns. O mesmo foi feito para o valor acima de 135V que é um valor de tensão crítica segundo o PRODIST, o teste realizado encontra-se na Figura 17.

Figura 17 - Teste prático de tensão acima de 135V.



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Por fim, o último teste feito simula-se uma tensão normal de aproximadamente 127V, que é o indicado pelo PRODIST como tensão adequada para as unidades consumidoras, Figura 18.

Figura 18 - Teste prático de tensão adequada.

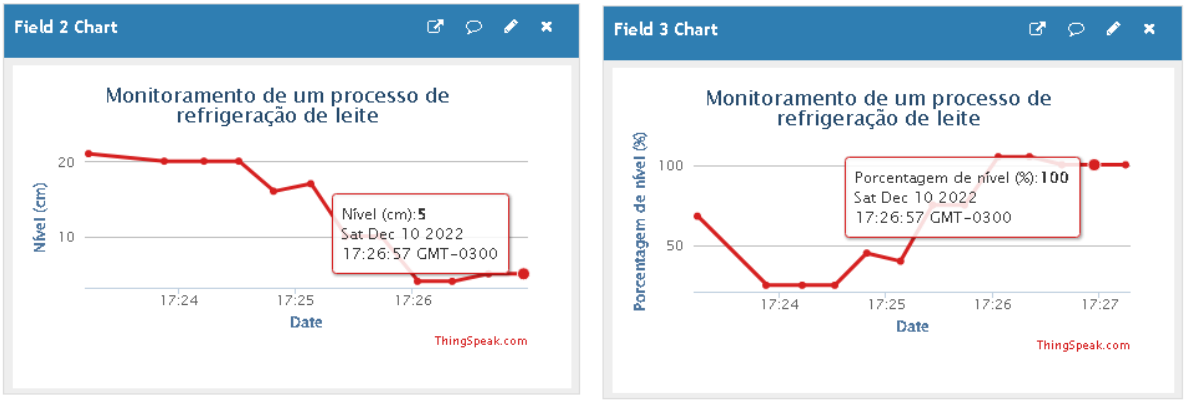
Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Neste caso, ainda de acordo com Figura 18 o aplicativo só mostra ao produtor o

valor da tensão da sua rede e o alerta não é acionado, pois o valor de tensão está dentro dos limites que foram estabelecidos ao configurar o aplicativo baseados nos dados estudados de níveis de tensão adequado.

Em sequência, são validadas as medidas do sensor de nível, que neste caso são medidos em cm e convertidos em porcentagem, representando a quantidade de leite presente no tanque do produtor. De acordo com a Figura 19, nota-se que um dado é de 5cm e o outro de 100%.

Figura 19 - Teste prático de nível com 100%.

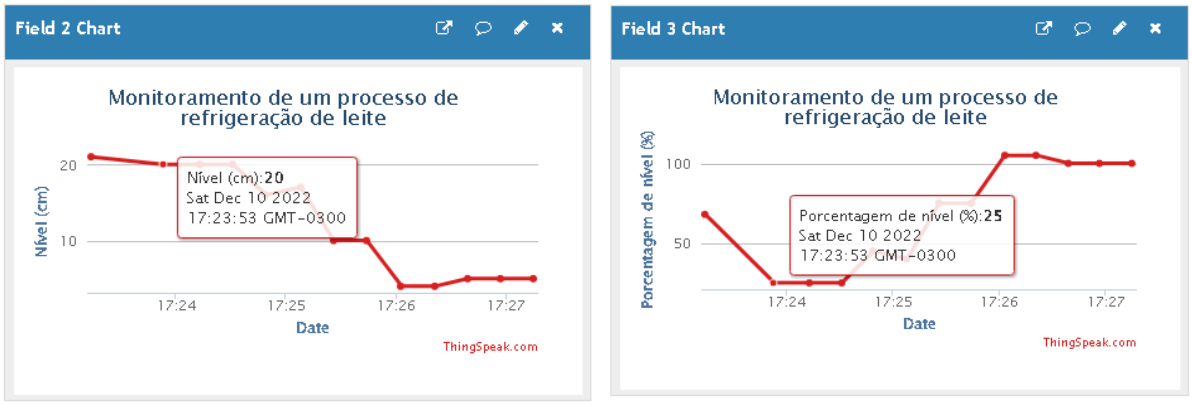


Fonte: Elaborada pela autora (2023).

No gráfico à esquerda da Figura 23, os dados estão sendo medidos em cm, e o outro gráfico ao lado à direta estão sendo medidos em porcentagem (%), foi considerado que 5cm de aproximação do líquido ao sensor o tanque está cheio, para que o sensor não seja danificado caso o líquido suba demais. Esses valores medidos nos gráficos são dados em cm o valor de nível que é a distância que o líquido está do sensor. Como o sensor está no topo do tanque e o mesmo possui uma distância de segurança de 5 cm, portanto o tanque está cheio com 100%.

Com a finalidade de autenticação, também foi feito um ensaio com 20cm ou seja 25% do tanque com líquido assim como a Figura 20.

Figura 20- Teste prático de nível com 25%.

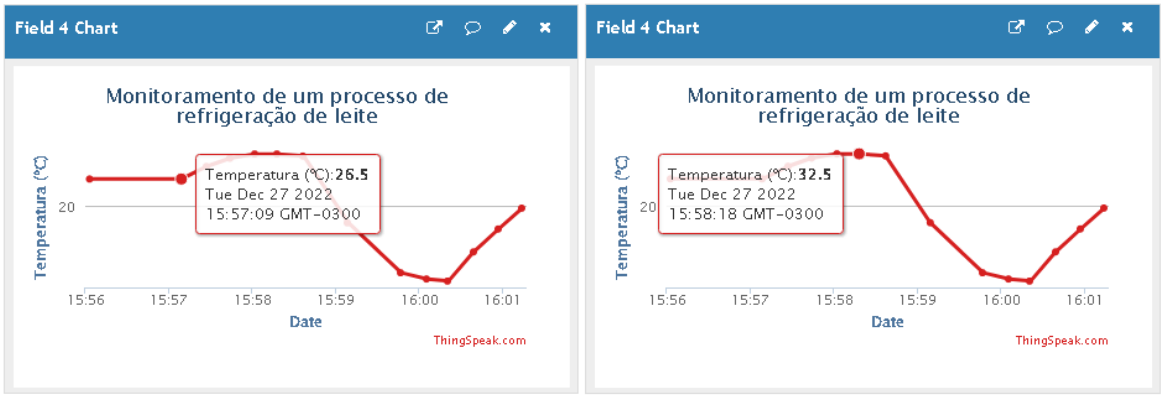


Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Nota-se que foi considerado que o tanque de leite possui 25 cm somente com finalidade experimental, pois um tanque real de leite seria maior, mas neste trabalho a intenção é validar o funcionamento do sistema para utilizar em uma situação real posteriormente.

Em seguida, para autenticar as condições do sensor de temperatura são feitos novos testes, onde inicialmente o sensor é submetido à temperatura ambiente e é aquecido aos poucos, conforme indicação da Figura 21.

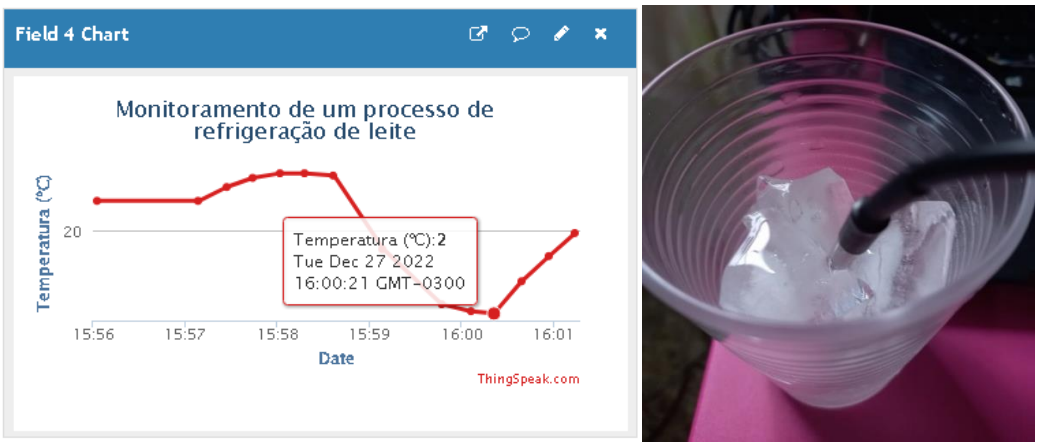
Figura 21- Prática com temperatura ambiente e superior a ambiente.



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

A temperatura ambiente nesse dia estava em torno dos 26º e para aumentar um pouco o valor que o sensor estava captando, o sensor foi submetido à uma compressão manual, chegando-se à uma temperatura de 32,5°C, como mostrado no gráfico mais à direita. Em um segundo teste, o sensor foi resfriado para verificar seu comportamento, conforme mostrado na Figura 22.

Figura 22- Prática com temperatura baixa.



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

O gráfico da Figura 26 mostra a temperatura do sensor próximo de 0ºC. Após retirar o sensor do copo com gelo, a temperatura foi naturalmente aumentando de forma gradativa, fato que pode ser observado pelo gráfico apresentado.

Por fim, a rotina computacional, implementada em ambiente Matlab, foi utilizada para apresentar o índice de duração relativa da transgressão para tensão precária (DRP) e para tensão crítica (DRC), considerando os dados medidos do analisador de qualidade de energia, conforme elucidado no capítulo de Metodologia. Ressalta-se que a plataforma *ThingSpeak* possibilita que os dados registrados pelo sistema proposto nesse trabalho sejam exportados pela aba *Data Import/Export* em formato “xlsl” utilizado pelo Excel, não sendo utilizados de fato devido à necessidade de permanecer em operação por tempo suficiente. Os índices calculados para as medições em estudo podem ser verificados pela Figura 23.

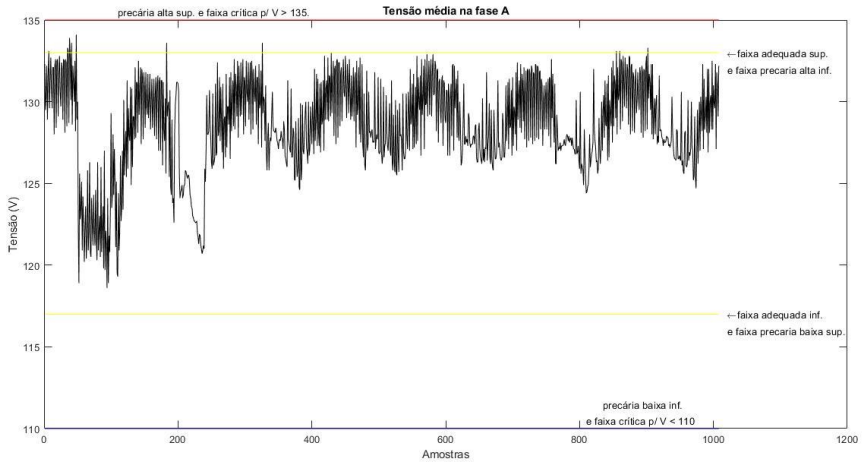
Figura 23- Cálculo dos índices DRP e DRC.

```
Semana 1:

DRP_1 =

   20.8333


DRC_1 =

    5.8532

Semana 2:

DRP_2 =

   27.0833


DRC_2 =

    6.5476
```

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

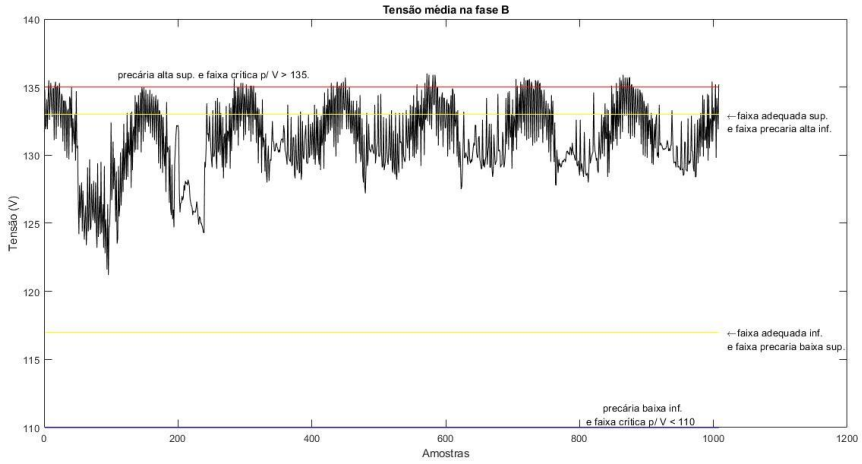
Em seguida foram gerados gráficos com cada uma das fases onde é possível avaliar como a tensão se comportou durante todo o período de teste, conforme as Figura 24, 25 e 26.

Figura 24 - Gráficos de tensão média na fase A.



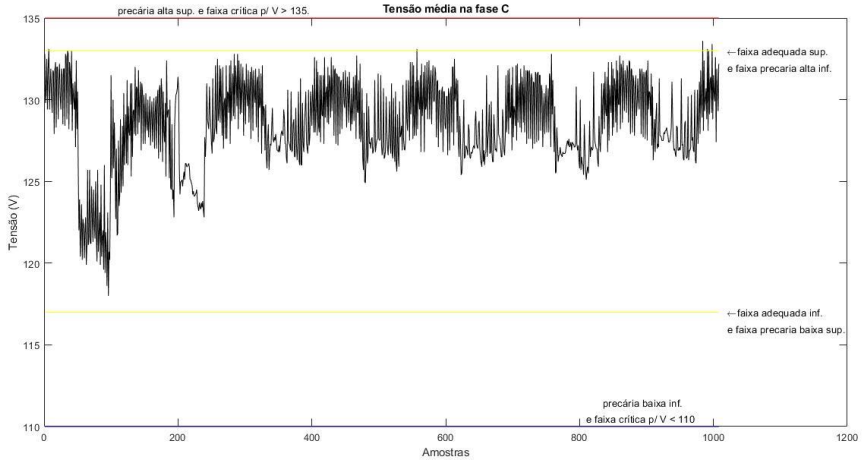
Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Figura 25 - Gráfico de tensão média na fase B.



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Figura 26 - Gráfico de tensão média na fase C.



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Com a avaliação dos indicadores e também da progressão dos valores de tensão ao longo do tempo, o consumidor, no caso o produtor rural, passa a ter condições de solicitar melhorias na rede e, inclusive, terá informações suficientes para associar possíveis falhas em seus equipamentos à má qualidade de energia.

O desenvolvimento do sistema proposto foi realizado observando, além das necessidades tecnológicas do pequeno produtor de leite, suas limitações relacionadas ao investimento financeiro. Sendo assim, os materiais utilizados demonstram-se de baixo custo, conforme mostrado na Tabela 1. Estes seriam os mesmos materiais utilizados em uma aplicação real, diferenciando-se apenas no fato de que os componentes devem ser fixados em uma placa de circuito impresso e alocados em um invólucro que suporte as intempéries características do

local de instalação.

Tabela 2 – Materiais e custos aproximados utilizados na montagem do protótipo.

Material	**Custo Aproximado**
ESP 8266	R$ 26,91
Transformador 127/220V para 12V	R$ 37,90
Resistores (10kΩ/ 1kΩ/ 20kΩ/ 2Ω/ 4,7kΩ)	R$ 6,50
Capacitor 100µF	R$ 0,80
DS18B20	R$ 13,90
Ultrassônico HC- SR04	R$ 8,54
Fios jumpers	R$13,16
Protoboard	R$ 8,98
Total	R$ 116,69

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

5 CONCLUSÃO

Este trabalho procurou desenvolver um sistema capaz de monitorar a temperatura e o volume de um reservatório, assim como os valores de tensão elétrica da rede. A ideia é que o protótipo seja aplicável a propriedades rurais produtoras de leite que utilizam um processo de resfriamento em tanque. Os objetivos principais consistem em amenizar os prejuízos devido à falta de qualidade das instalações rurais, seja com a perda do produto, bem como a falta de ressarcimento dos danos de materiais e equipamentos.

Para realizar as medições de nível, temperatura e tensão, foram utilizados, respectivamente, um ultrassônico HC-SR04, um sensor DS18B20 e um circuito para adequação de tensão com transformador. As informações são coletadas por uma placa *NodeMCU*, que contém o microcontrolador ESP8266, e enviadas à plataforma IoT *ThingSpeak*, onde os valores são armazenados em nuvem para o acompanhamento e futuras análises do produtor.

O intuito de avisar o produtor quanto a queda de energia foi concluída após os dados serem enviados ao celular do produtor por meio de um aplicativo que envia alertas com os limites de tensão definidos “Tensão Crítica” e “Tensão Precária”, de acordo com os valores indicados nas tabelas Módulo 8 do PRODIST. Os valores podem ser acompanhados o tempo todo, mesmo nos casos que o alerta não está ativado, por exemplo nos valores definidos como “Tensão Adequada”. Assim como os dados das outras grandezas físicas medidas de nível e temperatura.

Outro objetivo alcançado se refere à implementação de rotina computacional, em ambiente Matlab, que é capaz de importar os dados de tensão registrados na plataforma *ThingSpeak* e calcular indicadores de qualidade de energia, conforme especificações da PRODIST. Para validação desta rotina computacional, foi utilizado um banco de dados provenientes da medição da tensão da rede de alimentação do IFMG – Campus Formiga, o qual continha dados suficientes para esse tipo de análise. Esta análise torna-se importante para que o produtor tenha em mãos dados para apresentar a concessionária e solicitar uma melhoria de rede, ressarcimento em caso de perdas e danos gerados pela falta da qualidade de energia. Desta forma, o modelo desenvolvido abre caminhos para novos projetos envolvendo monitoramento, qualidade de energia e a agropecuária que atualmente sofre com os impactos devido à falta de qualidade no setor.

Como proposta de trabalhos futuros, sugere-se outros projetos na área que explorem

particularidades não contempladas por esse estudo e que precisam ser melhor exploradas para se obter melhores resultados. Como forma de contribuição sugere-se:

- Unir a ideia do projeto realizado pelo Gabriel Ramos em 2018 no IFMG-Campus Formiga a esse e criar um modelo com baterias e conversor de energia que ao verificar a falta de energia, continue alimentando os principais equipamentos de produção;
- Utilizas fontes renováveis como sistemas de energia solar *off-grid* em conjunto com o monitoramento de energia desenvolvido e em caso de falha na rede elétrica, o sistema comece a funcionar fornecendo a energia para o produtor alimentar a fazenda leiteira;
- Fazer um estudo analisando o impacto das outras grandezas físicas de temperatura e nível na qualidade do leite produzido;
- Incorporar módulos GSM como o SIM7600 para que esse sistema seja implementado em locais sem acesso à internet.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 8.** Qualidade da Energia Elétrica. 2017. Disponível em: https://antigo.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo8_Revisao_8/9c78cfab-a7d7-4066-b6ba-cfbda3058d19. Acesso: 07 mar. 2023.

CARVALHO, R. V. SILVA, G. B. **O emprego de um sensor ultrassônico para medidas de posição versus tempo para um sistema massa-mola**. Universidade Federal do Mato Grosso, 2016.

CHASE, O. **Sistemas Embarcados**. SBAJovem, 2007. Disponível em: http://www.lyfreitas.com.br/ant/pdf/Embarcados.pdf. Acesso em: 07 mar. 2023.

CNA. **Falta de Energia Elétrica e os Prejuízos na Pecuária Leiteira**. Public. 14 jul. 2016. Disponível em: https://cnabrasil.org.br/publicacoes/falta-de-energia-eletrica-e-os-prejuizos-na-pecuaria-leiteira#:~:text=Sempre%20os%20principais%20afetados%20s%C3%A3o,jogados%20fora%20todos%20os%20anos. Acesso em: 24 mar. 2023.

DECKMANN, S. M.; POMILIO, J. A. Universidade Estadual de Campinas IT-012. **Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica**. Campinas, 2017.

DEMETRAS, E. **Medindo tensão elétrica com Arduino e Transformador**. Portal vida de silício, 2019. Disponível em: https://portal.vidadesilicio.com.br/medindo-tensao-ac-com-transformador/. Acesso em: 11 mar.2023.

DIAS, B. G. C.; OLIVEIRA, D. da S.; PEREIRA, H. A. G.; ALCANTARA, H. M. O.; MESQUITA, L. H.; WAGNER, M. S. **Dimensionamento de Sistema Solar *Off-Grid* com Monitoramento de Energia para Área Rural**. 2022 Trabalho de Conclusão Curso - Engenharia Elétrica - Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2022.

KAGAN, N.; ROBBA, E. J.; SHMIDT, H. P. **Estimação de indicadores de qualidade da energia elétrica**. Rio de Janeiro: Blucher, 2009.

KERSCHBAUMER, R. **Microcontroladores. Ministério da Educação Profissional e Tecnológica**. 2018. Engenharia de Controle e Automação. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense Campus Luzerna.

LIMA, C. B. de; VILLAÇA, M. V. M. **AVR e Arduino: técnicas de projeto**. 2. ed. Florianópolis: Ed. dos autores, 2012.

LOUSADA, R. **Guia Completo do Sensor DS18B20 a prova d'água. Blog Eletrogate**. 2020. Disponível em: https://blog.eletrogate.com/guia-completo-sobre-sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-dagua/. Acesso em: 13 mar. 2023.

MEJL, E. **Qualidade da Energia Elétrica**. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Federal do Paraná.

MENDES, L. G. 5 formas de aproveitar a Internet das Coisas na agricultura e tornar sua fazenda mais rentável. **Blog da Aegro**, 22 dez. 2020. Disponível em: https://blog.aegro.com.br/internet-das-coisas-na-agricultura/. Acesso em: 08 mar. 2023.

OLIVEIRA, E. **Como usar com Arduino- Sensor Ultrasonico HC-SR04. Blogmasterwalkershop**. 2019. Disponível em: https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-sensor-ultrasonico-hc-sr04. Acesso em: 12 mar. 2023.

OLIVEIRA, E. **Como usar com Arduino- Sensor de Temperatura DS18B20 prova d'água do tipo sonda. Blogmasterwalkershop**. 2019. Disponível em: https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-sensor-de-temperatura-ds18b20-prova-dagua-do-tipo-sonda. Acesso em: 13 mar. 2023.

OLIVEIRA, G. **NodeMCU – Uma plataforma com características singulares para o seu projeto ioT. Blogmasterwalkershop**. 2016. Disponível em: https://blogmasterwalkershop.com.br/embarcados/nodemcu/nodemcu-uma-plataforma-com-caracteristicas-singulares-para-o-seu-projeto-iot. Acesso em: 09 mar. 2023.

OLIVEIRA, G. **Descomplicando a pinagem do NodeMCU. Blogmasterwalkershop**. 2016. Disponível em: https://blogmasterwalkershop.com.br/embarcados/esp8266/descomplicando-a-pinagem-do-nodemcu. Acesso em: 10 mar. 2023.

PEDROSA, R. T. **Integrando Assistente Pessoal Alexa e Aplicativo de Celular Blynk para controle do ESP8266 NODEMCU em aplicações de automação em geral**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso – Tecnólogo de Automação Industrial- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2021.

PENIDO, E. C. C. TRINDADE, R. S. **Microcontroladores. Rede e-Tec. Pronatec**. 2013. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais Campus Ouro Preto e Universidade Federal de Santa Maria.

PERIM, V. G. de C. F.; NASCIMENTO, J. N. R. **Microcontroladores e microprocessadores**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A. 2017.

RIBEIRO, F. T. **Internet das Coisas**: Da Teoria à Prática. 2019. Monografia de Graduação - Engenharia de Controle e Automação - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.

ROCHA, C. **CES 2015**: o que é a internet das coisas e como ela entrará na sua vida. 08 jan. 2015. Disponível em: http://blogs.estadao.com.br/homem-objeto/o-que-e-a-internet-das-coisas/. Acesso em: 08 mar. 2023.

SILVA, W. M. A.; SANTANA, V. B.; CORDEIRO NETO, M. A.; ALEXANDRE, G. B. **Supervisão de variáveis físico-químicas e elétricas na refrigeração do leite produzido pelo pequeno produtor rural**. *In*: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC, 2021.

SOUZA, T. L. **Internet das Coisas (IoT)**: possibilidades e perspectivas de implantação em bibliotecas universitárias brasileiras. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso – Biblioteconomia e Documentação – Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Ciência da Informação, São Cristóvão, 2017.

TEIXEIRA, G. R. **Desenvolvimento de sistema microcontrolado para redução de perdas associadas ao processo de refrigeração do leite em pequenas propriedades**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso - Bacharel em Engenharia Elétrica – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Formiga, 2018.

WESSLING, R. Desenvolvimento rural esbarra na precariedade da eletrificação. **Folha do Mate**, 2021. Disponível em: https://folhadomate.com/noticias/rural/desenvolvimento-rural-esbarra-na-precariedade-da-eletrificacao/. Acesso em: 23 mar. 2023.

IOT ANALYTICS. **Most recent analyses and market assessments**, 2019. Disponível em: https://iot-analytics.com/. Acesso em: 07 mai. 2023.

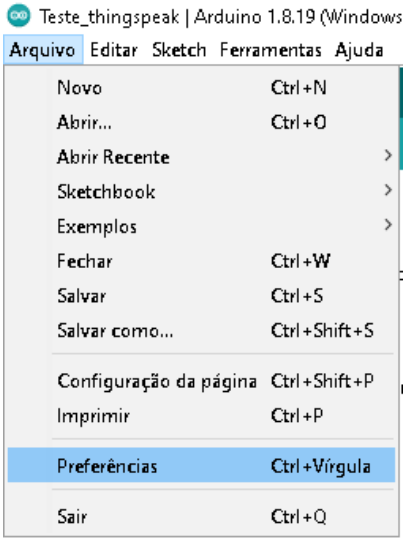
LIMA, S. F. **Sensor ds18b20**. 2019. Disponível em: http://aprendendofisica.pro.br/pmwiki.php/Main/DS18B20. Acesso em: 08 mai. 2023.

APÊNDICE A – TUTORIAL DE CONFIGURAÇÃO DA IDE

Neste apêndice são demonstrados os passos para configuração da IDE Arduino com o objetivo de utilizá-la para criar o código enviado para o ESP8266.

Para realizar a configuração da IDE (*Integrated Development Environment*) do Arduino abre-se a IDE, posteriormente é necessário clicar em Arquivo e depois em Preferências, conforme a Figura 27.

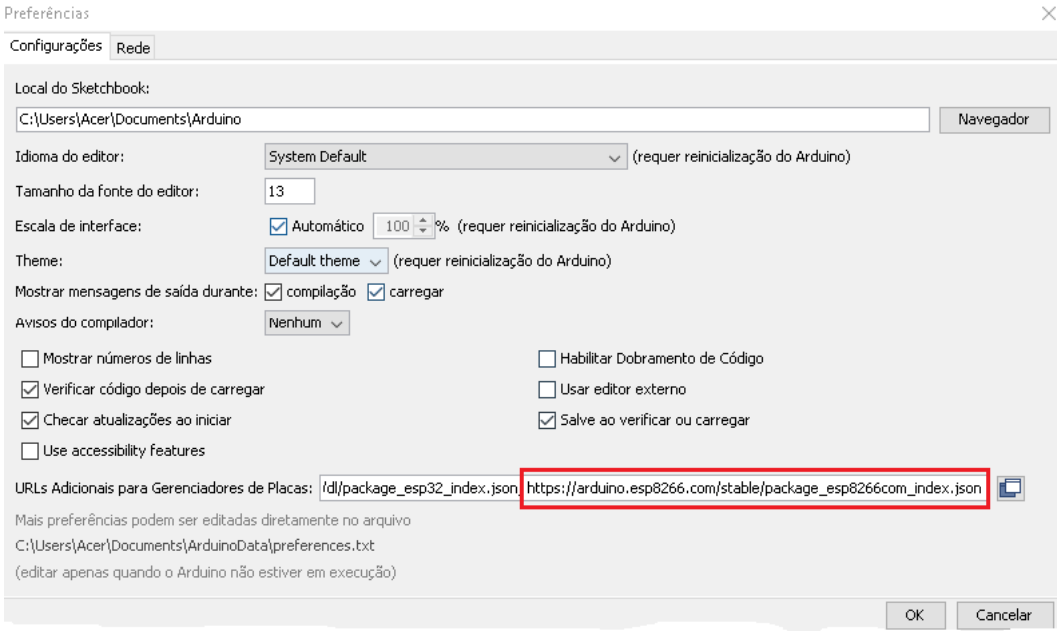
Figura 27 – Configuração do Arduino IDE.



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Procura-se o campo URLs adicionais para Gerenciadores de Placas e o *link* inserido (https://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json) configura a IDE para programar o ESP8266 assim como o Arduino. Este *link* é disponibilizado pela plataforma em seu site, conforme a Figura 28.

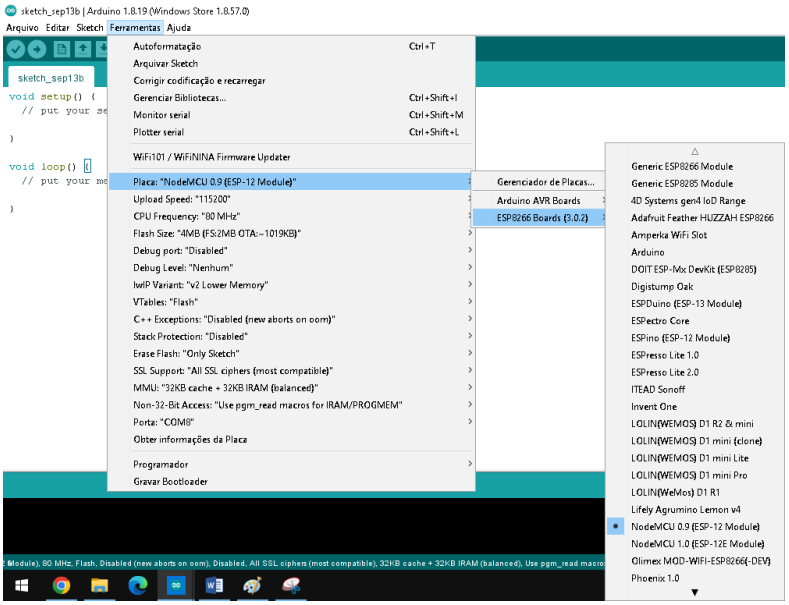
Figura 28 – Gerenciador de Placas da IDE.



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

O próximo passo é selecionar a placa que será utilizada para o trabalho a ser realizado, clicando em Ferramentas -> Placa –> Gerenciador de placas. Após este passo, busca-se pela opção esp8266 *by* ESP8266 *Community* e clica no botão Instalar. Posteriormente, a IDE mostra as opções de placas instaladas, neste trabalho a placa utilizada é a *NodeMCU* 0.9 (ESP-12E *Module*), assim como mostra a Figura 29.

Figura 29 – Configuração da placa do ESP8266.

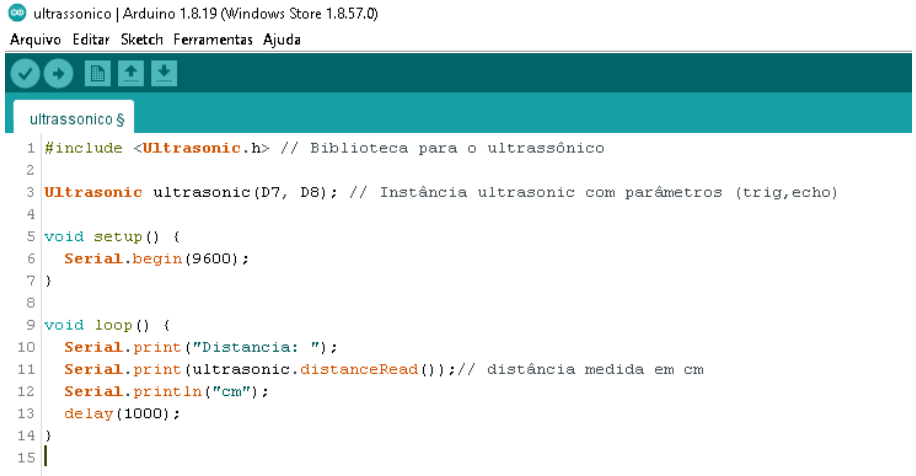


Fonte: Elaborada pela autora (2023).

APÊNDICE B – TUTORIAL DE CONFIGURAÇÃO DO SENSOR ULTRASSÔNICO E DS18B20

O sensor ultrassônico precisa ser testado para verificar o funcionamento, para isso utiliza-se um código simples de verificação, conforme a Figura 30.

Figura 30 - Código de funcionamento para o Ultrassônico.



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Assim como os comentários do código induzem, a biblioteca *Ultrassonic* é utilizada em qualquer código que o sensor ultrassônico esteja em funcionamento para que a leitura seja feita de forma correta. É importante que os pinos *trig* e *echo* seja declarado no código conforme a ligação física, para que não ocorram erros no funcionamento, por fim os dados são enviados para o monitor serial

Um código base para verificar o funcionamento do sensor de temperatura DS18B20 é utilizado, conforme a Figura 31.

Figura 31 - Código de funcionamento para o DS18B20.

sensor_de_temp_sem_internet

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

OneWire barramento(D4);
DallasTemperature sensor(&barramento);

void setup()
{
   Serial.begin(115200);
   sensor.begin();
}

void loop()
{
  sensor.requestTemperatures();
  Serial.println(sensor.getTempCByIndex(0));
}
```

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Neste componente, deve-se utilizar a biblioteca *DallasTemperature* e utiliza-se a *OneWire* também, para a conexão do sensor com o ESP8266 e para o funcionamento e as leituras corretas.

APÊNDICE C – TUTORIAL DE CONFIGURAÇÃO DO SENSOR DE TENSÃO

Para realizar teste do sensor com o ESP8266 utiliza-se um código base, conforme a Figura 32.

Figura 32- Código de funcionamento para o sensor de tensão.

TESTE_VOLTS §

```
#include "EmonLib.h"                   // Inclui a biblioteca EmonLib
EnergyMonitor emon1;                   // Cria um objeto chamado emon01
float leitura = A0;
#define VOLT_CAL 408.67 // Valor de calibração

void setup()
{
    Serial.begin(115200);                    // Inicia a serial com uma taxa de 115200
    emon1.voltage(leitura, VOLT_CAL, 1.7);  // Passa para a função os parâmetros (pino analógio/ valor de calibração/ mudança de fase)
}
void loop()
{
      emon1.calcVI(17, 2000); // Função de cálculo (17 semiciclos, tempo limite para fazer a medição)
      float supplyVoltage   = emon1.Vrms; // Variável recebe o valor de tensão RMS
      Serial.print(supplyVoltage);
      Serial.println("V");
}
```

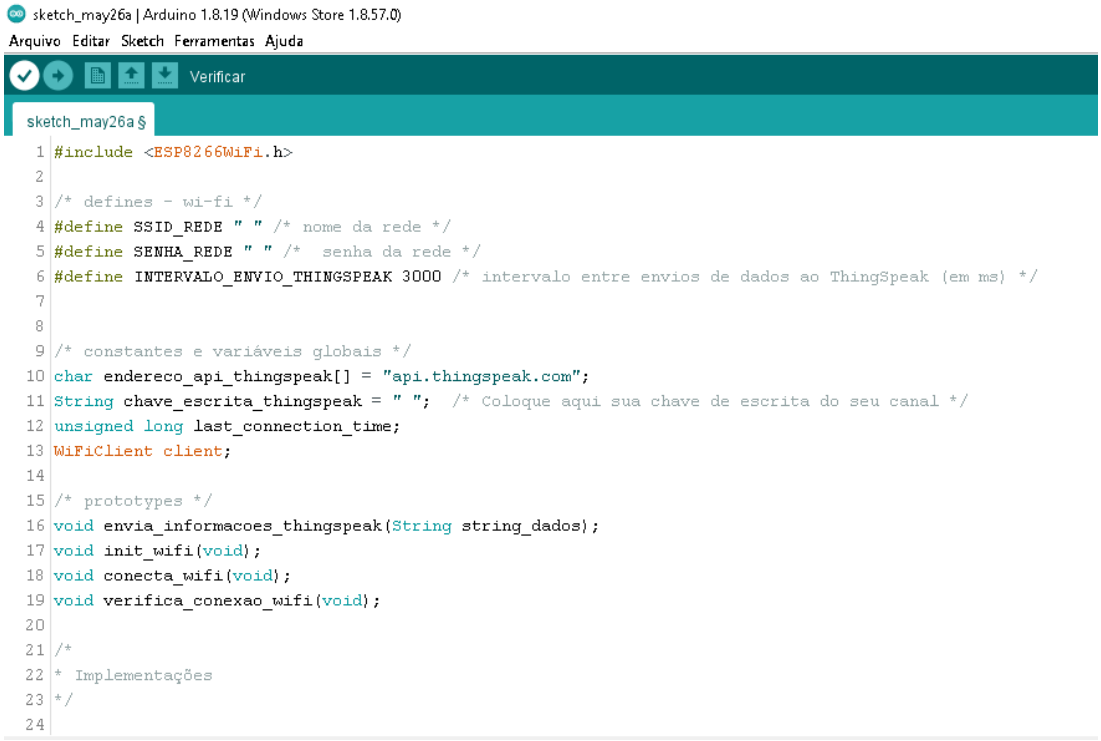
Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Utiliza-se a biblioteca *EmonLib* para a calibração das medições, o valor de calibração é feito a partir da primeira medição, utiliza-se um voltímetro e compara-se os valores medidos no monitor serial e faz-se um ajuste para o valor calibrado. A função emon1 inserida no *void setup* manda para a função os parâmetros pino analógico, valor de calibração e a mudança de fase, no *void loop* a função é utilizada para cálculos com a quantidade de semiciclos e o tempo limite para que a medição seja feita.

APÊNDICE D – TUTORIAL DE ENVIO DE DADOS PARA O *THINGSPEAK*

Para verificar a conexão com o canal do *ThingSpeak*, pode-se criar um código simples de envio de números, como 1 e 3, e verificar se os dados correspondentes aparecem na tela do *ThingSpeak*. Esse código está disponível a seguir.

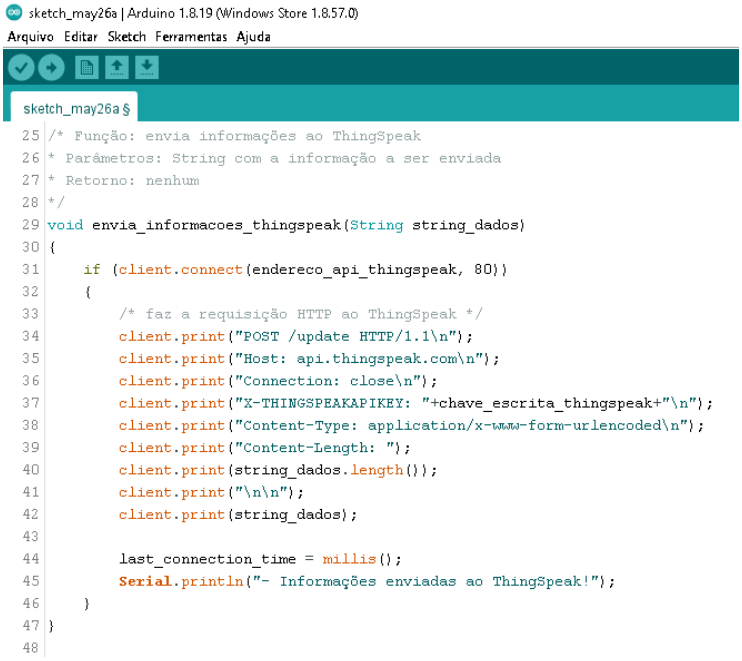
Figura 33- Código de conexão com o *ThingSpeak*.



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Inicialmente, coloca-se os dados importantes, o nome e a senha da rede que será conectado o ESP8266. Posteriormente, define-se o tempo de envio dos dados ao *ThingSpeak* e a chave escrita do canal. Cria-se as variáveis de envio de informações, conexão com *wifi*. As implementações do código estão na Figura 34.

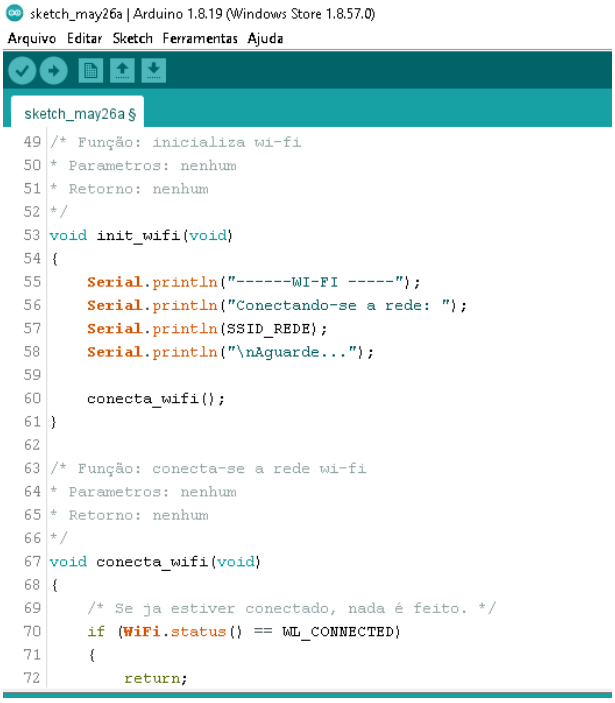
Figura 34- Envio de informações ao *ThingSpeak*.



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Na Figura 34, verifica a função que envia as informações ao *ThingSpeak*. Com isso, é necessário estabelecer a conexão *wifi*, assim como a Figura 35.

Figura 35- Conexão com *wifi*.



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

A função da Figura 35 verifica se a conexão foi estabelecida e informa ao usuário. Caso isso não tenha acontecido, o próximo passo é tentar estabelecer a conexão novamente, como as Figuras 36 e 37 a seguir.

Figura 36- Reconexão com *wifi*.

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Figura 37- Verifica conexão com *wifi*.

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

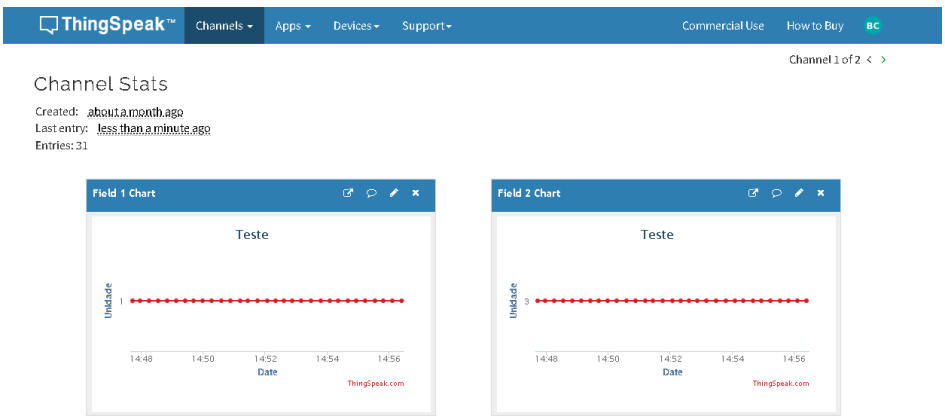
Por fim, o *loop* principal contém as informações que serão enviadas ao *ThingSpeak.* Cria-se as variáveis que neste caso são os números 1 e 3 e envia.

Figura 38- Dados sendo enviados ao *ThingSpeak*.

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Nessa Figura 38, são verificados as conexões, e enviado os dados ao gráficos correspondentes, conforme a descrição foram enviados ao gráfico 1 o número 1 e ao gráfico 2 o número 3. Com o código apresentado, são enviados dados a plataforma *IoT* e verifica-se que essa conexão foi estabelecida conforme a Figura 39.

Figura 39- Teste de conexão com o *ThingSpeak*.



Fonte: Elaborada pela autora.

ANEXO A – CÓDIGO UTILIZADO NA IDE ARDUINO PARA O PROTÓTIPO

Para o protótipo final montado com todos os sensores utilizou-se o código seguinte presente nas Figuras 40, 41 e 42 abaixo.

Figura 40- Código final do protótipo.

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 41- Código final do protótipo.

Fonte: Elaborada pela autora.

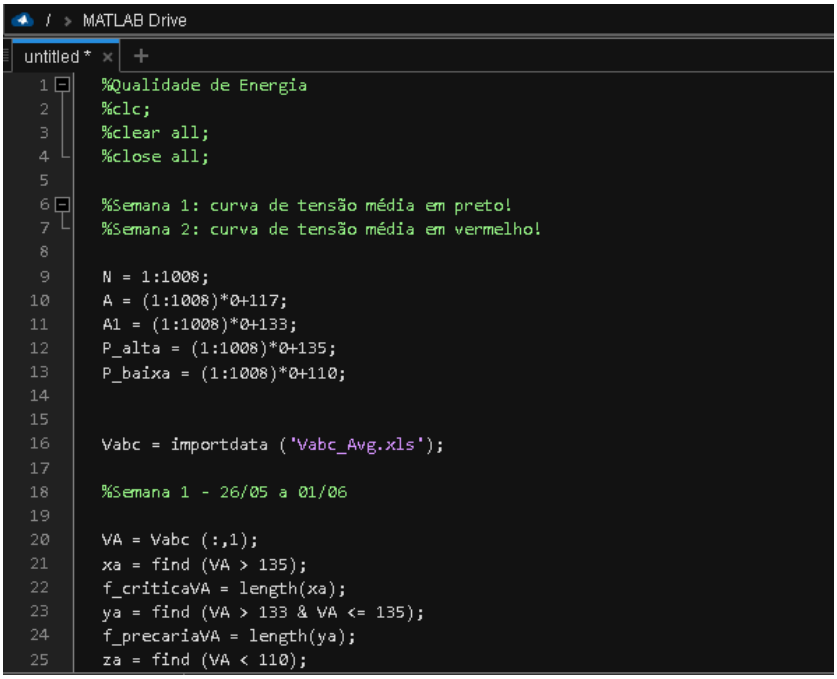
Figura 42- Código final do protótipo.

Fonte: Elaborada pela autora.

ANEXO B – CÓDIGO UTILIZADO NO MATLAB PARA ANÁLISE DE QUALIDADE DE ENERGIA

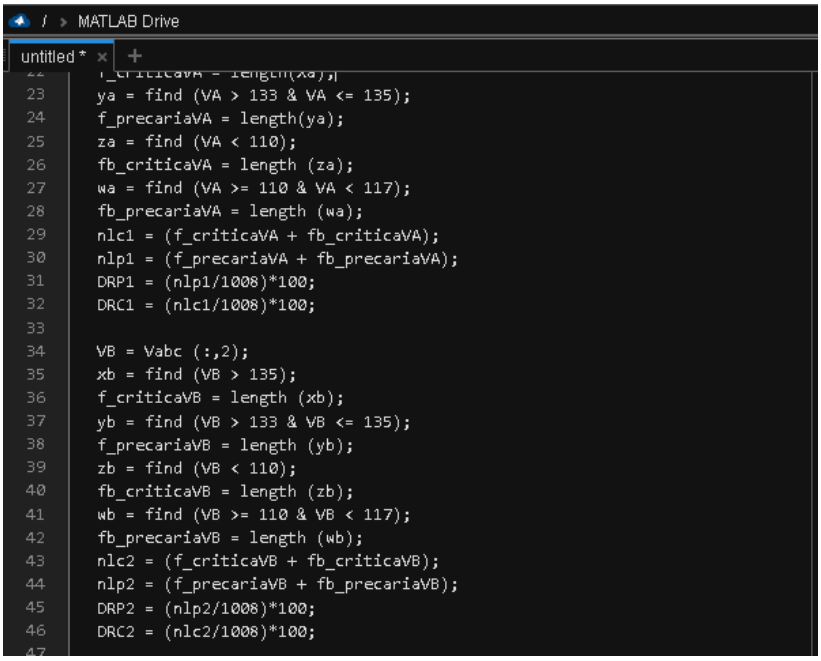
A seguir a sequência de Figuras da 43 a 53 mostram o código utilizado para a análise de qualidade de energia feito através do Matlab.

Figura 43- Código de Análise de Qualidade de Energia.



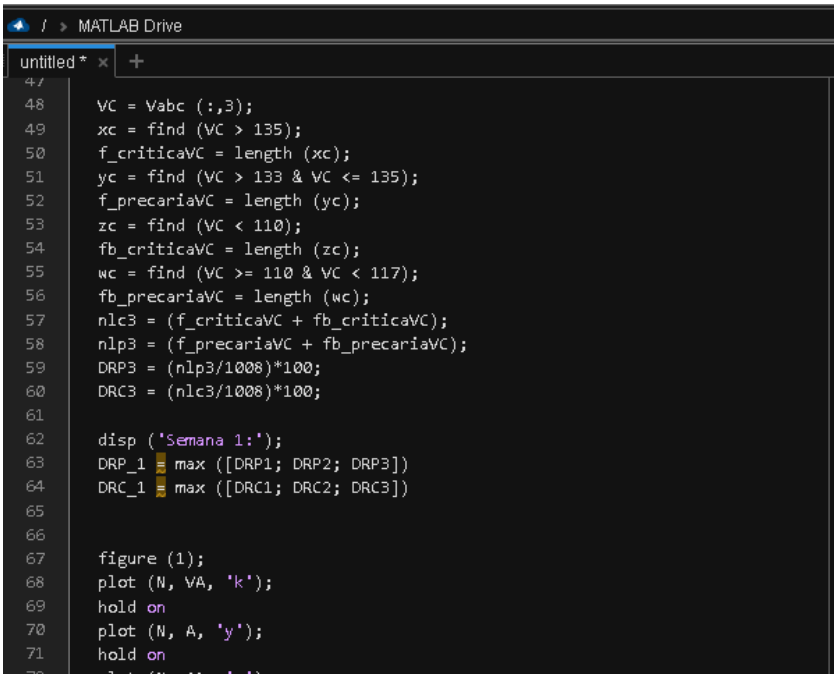
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 44- Código de Análise de Qualidade de Energia.



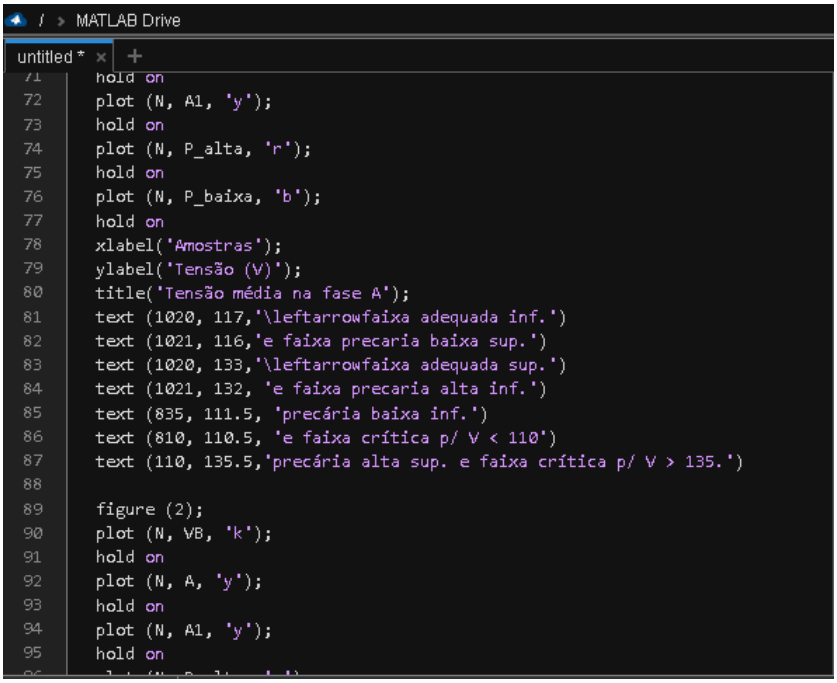
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 45- Código de Análise de Qualidade de Energia.



Fonte: Elaborada pela autora.

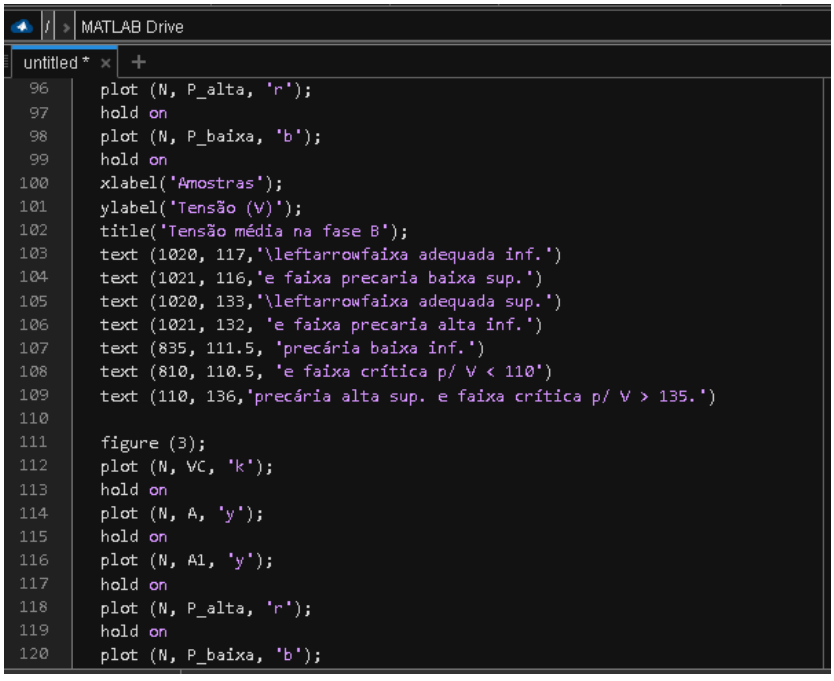
Figura 46- Código de Análise de Qualidade de Energia.



```
hold on
plot (N, A1, 'y');
hold on
plot (N, P_alta, 'r');
hold on
plot (N, P_baixa, 'b');
hold on
xlabel('Amostras');
ylabel('Tensão (V)');
title('Tensão média na fase A');
text (1020, 117,'\leftarrowfaixa adequada inf.')
text (1021, 116,'e faixa precaria baixa sup.')
text (1020, 133,'\leftarrowfaixa adequada sup.')
text (1021, 132, 'e faixa precaria alta inf.')
text (835, 111.5, 'precária baixa inf.')
text (810, 110.5, 'e faixa crítica p/ V < 110')
text (110, 135.5,'precária alta sup. e faixa crítica p/ V > 135.')

figure (2);
plot (N, VB, 'k');
hold on
plot (N, A, 'y');
hold on
plot (N, A1, 'y');
hold on
```

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 47- Código de Análise de Qualidade de Energia.



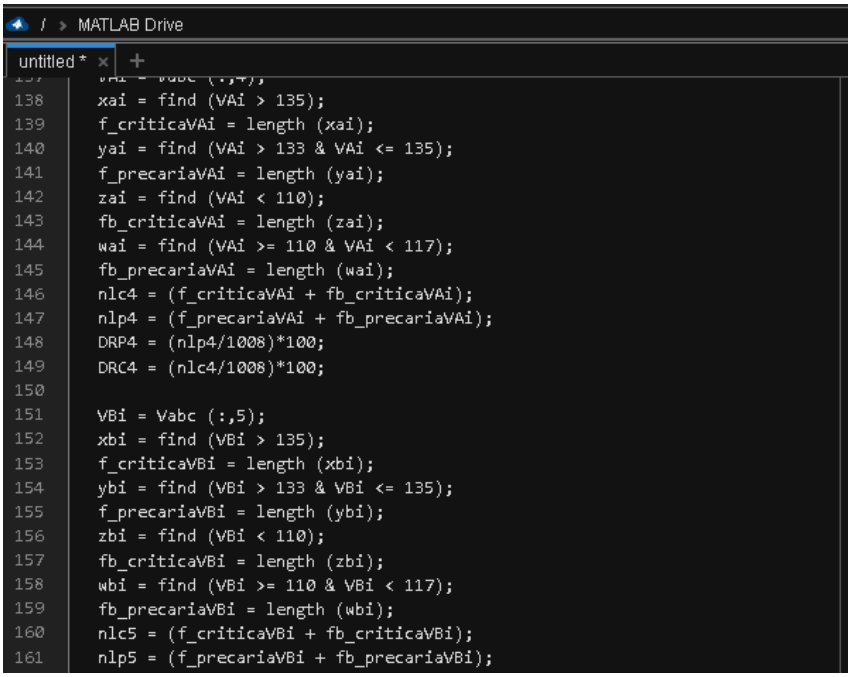
```
plot (N, P_alta, 'r');
hold on
plot (N, P_baixa, 'b');
hold on
xlabel('Amostras');
ylabel('Tensão (V)');
title('Tensão média na fase B');
text (1020, 117,'\leftarrowfaixa adequada inf.')
text (1021, 116,'e faixa precaria baixa sup.')
text (1020, 133,'\leftarrowfaixa adequada sup.')
text (1021, 132, 'e faixa precaria alta inf.')
text (835, 111.5, 'precária baixa inf.')
text (810, 110.5, 'e faixa crítica p/ V < 110')
text (110, 136,'precária alta sup. e faixa crítica p/ V > 135.')

figure (3);
plot (N, VC, 'k');
hold on
plot (N, A, 'y');
hold on
plot (N, A1, 'y');
hold on
plot (N, P_alta, 'r');
hold on
plot (N, P_baixa, 'b');
```

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 48- Código de Análise de Qualidade de Energia.

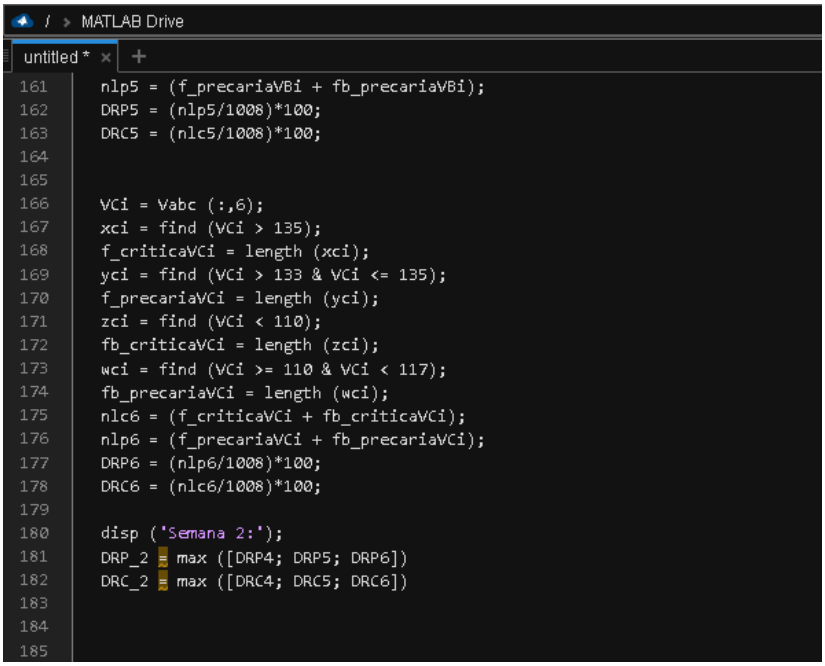
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 49- Código de Análise de Qualidade de Energia.



Fonte: Elaborada pela autora.

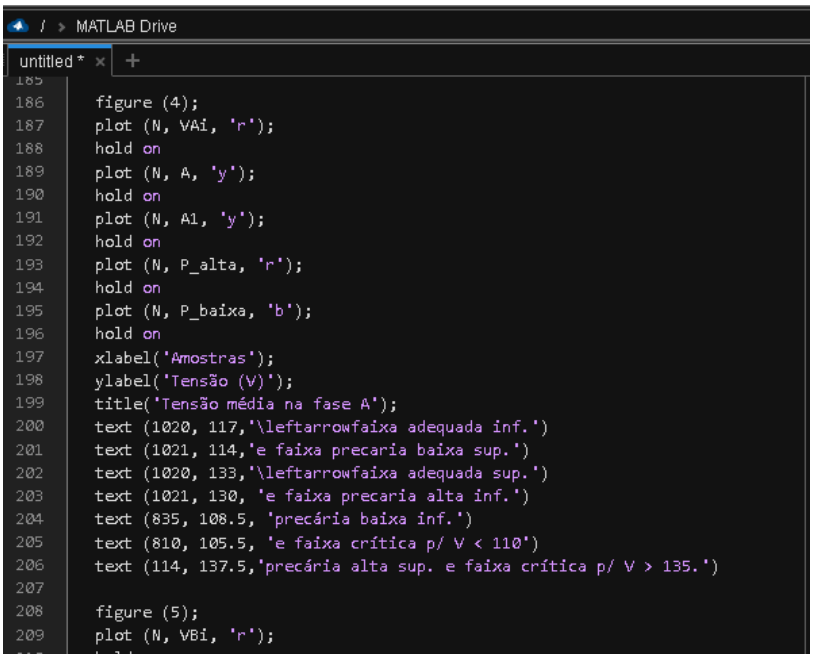
Figura 50- Código de Análise de Qualidade de Energia.



```
nlp5 = (f_precariaVBi + fb_precariaVBi);
DRP5 = (nlp5/1008)*100;
DRC5 = (nlc5/1008)*100;


VCi = Vabc (:,6);
xci = find (VCi > 135);
f_criticaVCi = length (xci);
yci = find (VCi > 133 & VCi <= 135);
f_precariaVCi = length (yci);
zci = find (VCi < 110);
fb_criticaVCi = length (zci);
wci = find (VCi >= 110 & VCi < 117);
fb_precariaVCi = length (wci);
nlc6 = (f_criticaVCi + fb_criticaVCi);
nlp6 = (f_precariaVCi + fb_precariaVCi);
DRP6 = (nlp6/1008)*100;
DRC6 = (nlc6/1008)*100;

disp ('Semana 2:');
DRP_2 = max ([DRP4; DRP5; DRP6])
DRC_2 = max ([DRC4; DRC5; DRC6])
```

Fonte: Elaborada pela autora.

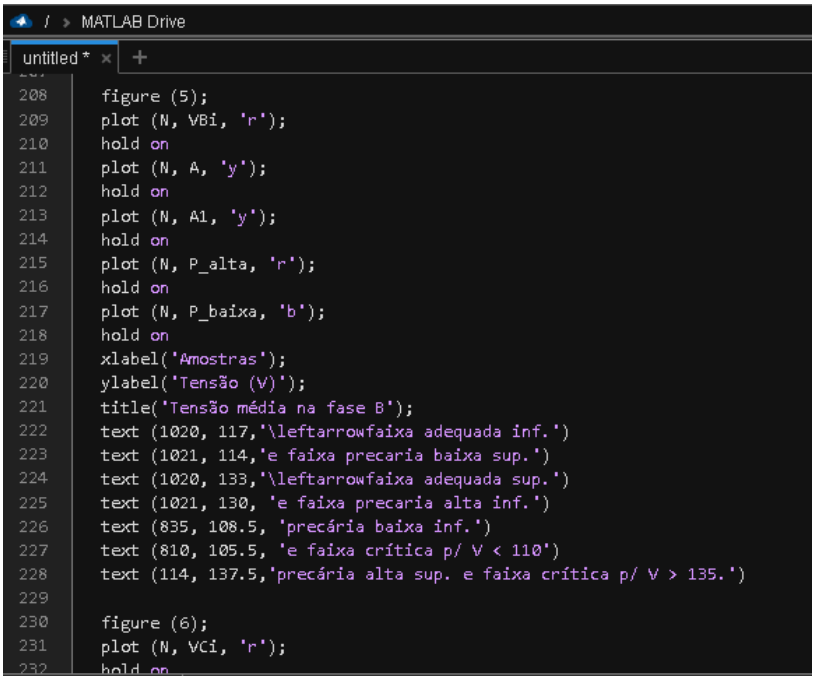
Figura 51- Código de Análise de Qualidade de Energia.



```
figure (4);
plot (N, VAi, 'r');
hold on
plot (N, A, 'y');
hold on
plot (N, A1, 'y');
hold on
plot (N, P_alta, 'r');
hold on
plot (N, P_baixa, 'b');
hold on
xlabel('Amostras');
ylabel('Tensão (V)');
title('Tensão média na fase A');
text (1020, 117,'\leftarrowfaixa adequada inf.')
text (1021, 114,'e faixa precaria baixa sup.')
text (1020, 133,'\leftarrowfaixa adequada sup.')
text (1021, 130, 'e faixa precaria alta inf.')
text (835, 108.5, 'precária baixa inf.')
text (810, 105.5, 'e faixa crítica p/ V < 110')
text (114, 137.5,'precária alta sup. e faixa crítica p/ V > 135.')

figure (5);
plot (N, VBi, 'r');
```

Fonte: Elaborada pela autora.

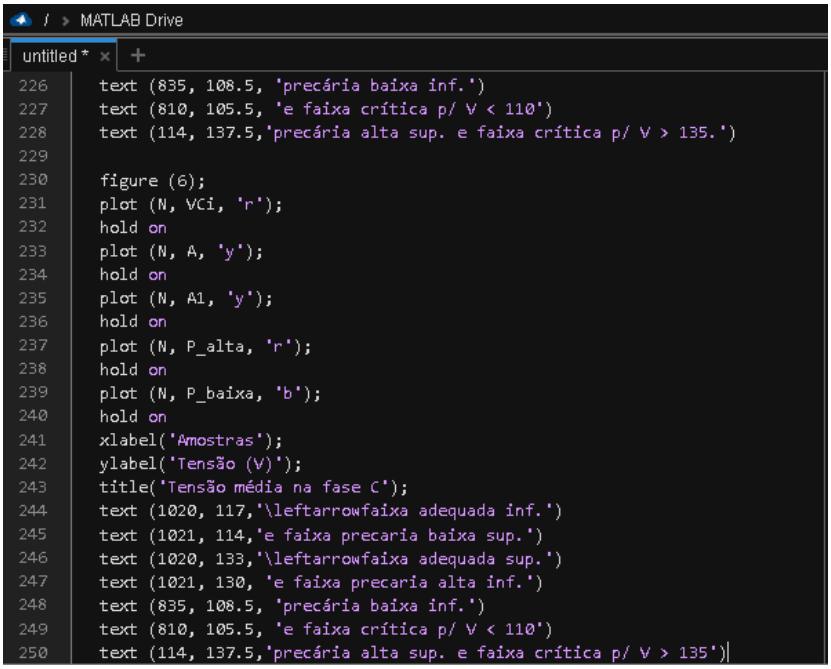
Figura 52- Código de Análise de Qualidade de Energia.



```
208  figure (5);
209  plot (N, VBi, 'r');
210  hold on
211  plot (N, A, 'y');
212  hold on
213  plot (N, A1, 'y');
214  hold on
215  plot (N, P_alta, 'r');
216  hold on
217  plot (N, P_baixa, 'b');
218  hold on
219  xlabel('Amostras');
220  ylabel('Tensão (V)');
221  title('Tensão média na fase B');
222  text (1020, 117,'\leftarrowfaixa adequada inf.')
223  text (1021, 114,'e faixa precaria baixa sup.')
224  text (1020, 133,'\leftarrowfaixa adequada sup.')
225  text (1021, 130, 'e faixa precaria alta inf.')
226  text (835, 108.5, 'precária baixa inf.')
227  text (810, 105.5, 'e faixa crítica p/ V < 110')
228  text (114, 137.5,'precária alta sup. e faixa crítica p/ V > 135.')
229
230  figure (6);
231  plot (N, VCi, 'r');
232  hold on
```

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 53- Código de Análise de Qualidade de Energia.



```
226  text (835, 108.5, 'precária baixa inf.')
227  text (810, 105.5, 'e faixa crítica p/ V < 110')
228  text (114, 137.5,'precária alta sup. e faixa crítica p/ V > 135.')
229
230  figure (6);
231  plot (N, VCi, 'r');
232  hold on
233  plot (N, A, 'y');
234  hold on
235  plot (N, A1, 'y');
236  hold on
237  plot (N, P_alta, 'r');
238  hold on
239  plot (N, P_baixa, 'b');
240  hold on
241  xlabel('Amostras');
242  ylabel('Tensão (V)');
243  title('Tensão média na fase C');
244  text (1020, 117,'\leftarrowfaixa adequada inf.')
245  text (1021, 114,'e faixa precaria baixa sup.')
246  text (1020, 133,'\leftarrowfaixa adequada sup.')
247  text (1021, 130, 'e faixa precaria alta inf.')
248  text (835, 108.5, 'precária baixa inf.')
249  text (810, 105.5, 'e faixa crítica p/ V < 110')
250  text (114, 137.5,'precária alta sup. e faixa crítica p/ V > 135')
```

Fonte: Elaborada pela autora.