



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL
MESTRADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL



**DESENVOLVIMENTO DE MONITORAÇÃO NA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM
COMUNIDADES ISOLADAS**

FRANCISCO REGINALDO CONCEIÇÃO GONÇALVES

Belém – PA

Abril/2023

FRANCISCO REGINALDO CONCEIÇÃO GONÇALVES

**DESENVOLVIMENTO DE MONITORAÇÃO NA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA
PARA COMUNIDADES ISOLADAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia industrial, PPGEI, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Mestre em Engenharia Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Petrônio Vieira Junior

Belém – PA

Abril/2023

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

G635d Gonçalves, Francisco Reginaldo Conceição.
 Desenvolvimento de Monitoração na Geração Fotovoltaica em
 Comunidades Isoladas / Francisco Reginaldo Conceição
 Gonçalves. — 2023.
 85 f. : il. color.

 Orientador(a): Prof. Dr. Petrônio Vieira Júnior
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
 Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
 Engenharia Industrial, Belém, 2023.

 1. Geração fotovoltaica. Aquisição de dados. Simulação de
 Sistemas de Geração Fotovoltaica, Computação em nuvem.
 Banco de dados. Sistema de Supervisão.. I. Título.

CDD 621.31

FRANCISCO REGINALDO CONCEIÇÃO GONÇALVES

**DESENVOLVIMENTO DE MONITORAÇÃO NA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA
COMUNIDADES ISOLADAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia industrial, PPGEI, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Mestre em Engenharia Industrial.

Data da Avaliação: ____ / ____ / 2023

Conceito: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Petrônio Vieira Junior (Orientador)

Prof. Dr. Marcos Allan Leite dos Reis(Avaliador)

Prof. Dr. Tércio André dos Santos Barros(Avaliador)

RESUMO

Nos dias atuais a energia solar fotovoltaica representa parcela significativa de toda a energia elétrica consumida no mundo. É crucial o desenvolvimento de ferramentas para monitoramento do sistema solar que visam manter a produtividade da geração e mitigar riscos de segurança. Este trabalho apresenta uma proposta de plataforma de desenvolvimento de monitoração de geração fotovoltaica para comunidades isoladas constituída de simulação da geração, transmissão de dados, banco de dados e sistema supervisório. O modelo matemático usado na simulação baseia-se em um sistema em implementação pelo Grupo de Tecnologia da Automação (GTA) no Laboratório de Engenharia Elétrica do Campus Universitário da UFPA em Belém. Os dados são obtidos por simulação e são transmitidos para a nuvem através de um microcontrolador NodeMCU ESP8266. O computador, além de realizar a simulação, para obtenção de dados de geração fotovoltaica, também acessa as nuvens, adquirindo dados para o supervisório. O sistema supervisório é desenvolvido sobre as plataformas de Internet das Coisas (IoT) Thingspeak e Banco de Dados em Nuvem, permitindo a detecção e diagnóstico de falhas. São analisadas medidas como intensidade de radiação solar, temperatura, umidade, tensão elétrica e corrente elétrica objetivando o diagnóstico de falhas. Por meio da computação em nuvem os dados são armazenados e disponibilizados, em tempo real, com ampla capacidade e mobilidade, permitindo o monitoramento remoto do sistema. São utilizadas ferramentas de banco de dados com interfaces dedicadas, assim como plataformas voltadas à internet das coisas. A geração fotovoltaica está sendo implementada em bancada experimental, e os parâmetros do modelo simulado possuem as mesmas amplitudes do modelo real, que possui 1 painel solar de potência máxima 130W, tensão de potência máxima 17,6V e corrente de potência máxima 7,39A. A perspectiva deste trabalho é melhoria do fornecimento de energia elétrica para comunidades isoladas através de monitoração do sistema de geração à distância, com impacto social e econômico.

Palavras-chave: Geração fotovoltaica. Aquisição de dados. Simulação de Sistemas de Geração Fotovoltaica, Computação em nuvem. Banco de dados. Sistema de Supervisão.

ABSTRACT

Nowadays, photovoltaic solar energy represents a significant portion of all electricity consumed in the world. It is crucial to develop tools for monitoring the solar system that aim to maintain generation productivity and mitigate security risks. This work presents a proposal for a development platform for monitoring photovoltaic generation for isolated communities, consisting of generation simulation, data transmission, database and supervisory system. The mathematical model used in the simulation is based on a system being implemented by the Automation Technology Group (GTA) at the Electrical Engineering Laboratory of the UFPA University Campus in Belém. Data are obtained by simulation and are transmitted to the cloud through a NodeMCU ESP8266 microcontroller. The computer, in addition to performing the simulation to obtain photovoltaic generation data, also accesses the clouds, acquiring data for the supervisory. The supervisory system is developed on the Internet of Things (IoT) platforms Thingspeak and Cloud Database, allowing the detection and diagnosis of failures. Measures such as solar radiation intensity, temperature, humidity, electric voltage and electric current are analyzed in order to diagnose faults. Through cloud computing, data is stored and made available in real time, with ample capacity and mobility, allowing remote monitoring of the system. Database tools with dedicated interfaces are used, as well as platforms focused on the internet of things. The photovoltaic generation is being implemented in an experimental bench, and the parameters of the simulated model have the same amplitudes as the real model, which has 1 solar panel with a maximum power of 130W, a maximum voltage of 17.6V and a maximum current of 7.39A. The perspective of this work is to improve the supply of electricity to isolated communities through remote monitoring of the generation system, with social and economic impact.

Keywords: Photovoltaic generation. Data acquisition. Cloud computing. Database. Supervisory System.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Diagrama do sistema solar em implementação no Laboratório
- Figura 2 - Sistema solar fotovoltaico do Laboratório
- Figura 3 - Diagrama de um Sistema de Geração Fotovoltaico Off-Grid
- Figura 4 - Curvas $I \times V$ para várias condições de temperatura e radiação solar
- Figura 5 - Pontos de operação para análise da máxima potência
- Figura 6 - Esquemas de conversores do sistema fotovoltaico do Laboratório
- Figura 7 - Classificação de falhas nos lados CC e CA do sistema fotovoltaico
- Figura 8 - Técnicas de detecção de falhas
- Figura 9 - Componentes de uma antena IoT
- Figura 10 - Módulo Bluetooth HC-06
- Figura 11 - Módulo Zigbee HC-06
- Figura 12 - Antena escolhida neste trabalho - NodeMCU ESP8266
- Figura 13 - Medição de tensão baseada em divisor de tensão
- Figura 14 - Sensores de tensão CC
- Figura 15 - Sensor de tensão CA
- Figura 16 - Sensores de tensão por efeito hall
- Figura 17 - Sensor de tensão LV25-P
- Figura 18 - Medição de corrente baseada em resistor shunt
- Figura 19 - Resistor shunt
- Figura 20 - Transformadores de corrente
- Figura 21 - Sensor de corrente Faraday - Ampère
- Figura 22 - Sensor de corrente por efeito hall
- Figura 23 - Sensor de corrente LA55-P
- Figura 24 - Sensores de temperatura tipo termopar
- Figura 25 - Sensor de temperatura tipo termistor NTC
- Figura 26 - Sensor de temperatura tipo termistor PTC
- Figura 27 - Circuitos integrados sensores de temperatura
- Figura 28 - Sensor de temperatura LM35DZ
- Figura 29 - Sensor resistivo de umidade
- Figura 30 - Sensor capacitivo de umidade
- Figura 31 - Circuitos integrados sensores de umidade
- Figura 32 - Sensor de temperatura e umidade AM2302

Figura 33 - Piranômetro de Termopilha

Figura 34 - Piranômetro de Fotodiodo

Figura 35 - Piranômetro Fotovoltaico

Figura 36 - Célula de Referência HT304N

Figura 37 - Amplificador na configuração não inversor

Figura 38 - Diagrama do Sistema PV, com pontos de interesse

Figura 39 - Diagrama da aquisição: antena, multiplexador, controle e sensores

Figura 40 - Placa de interligação entre antena, multiplexador e sensores

Figura 41 - Diagrama do Sistema Supervisório para geração fotovoltaica

Figura 42 - Banco de Dados - Modo estrutura

Figura 43 - Banco de Dados – Modo registro

Figura 44 - Página web do Banco de Dados acessada pelo cliente

Figura 45 - Aplicação da Plataforma Thingspeak

Figura 46 - Página web do ThingSpeak acessada pelo cliente

Figura 47 - Fluxograma de aquisição e envio dos dados

Figura 48 - Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica

Figura 49 - Simulação do Painel Solar, de forma isolada

Figura 50 - Simulação do Conversor CC-CC Buck, de forma isolada

Figura 51 - Simulação do Conversor CC-CC Boost, de forma isolada

Figura 52 - Simulação do Conversor CC-CA, de forma isolada

Figura 53 - Simulação do Banco de Baterias e Carregador, de forma isolada

Figura 54 - Simulação do Sistema de Geração Fotovoltaica completo-circuito

Figura 55 - Simulação do Sistema de Geração Fotovoltaica completo-sinais

Figura 56 - Dados enviados exibidos na plataforma Thingspeak

Figura 57 - Painel Frontal no Labview - escrita

Figura 58 - Diagrama de Blocos no Labview - escrita

Figura 59 - Painel Frontal no Labview - leitura

Figura 60 - Diagrama de Blocos no Labview - leitura

Figura 61 - Comunicação microcontrolador e software Labview

Figura 62 - Diagrama de Blocos no software Labview

Figura 63 - Painel Frontal no software Labview

Figura 64 - LCD incorporado ao microcontrolador

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis observadas e pontos de monitoração

Tabela 2 - Seleção de canal no multiplexador

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 PROPOSTA	Erro! Indicador não definido.
1.2 JUSTIFICATIVA	Erro! Indicador não definido.
1.3 OBJETIVO	9
1.4 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS: ON-GRID E OFF-GRID.....	15
1.5 BUSCADOR DE MÁXIMA POTÊNCIA	16
1.6 INVERSOR DE FREQUÊNCIA	17
1.7 CONVERSORES	18
1.8 SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICADO DO GTA	Erro! Indicador não definido.
1.9 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS.....	13
2 MONITORAMENTO DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA	Erro! Indicador não definido.
2.1 PRINCIPAIS EVENTOS E DEFEITOS DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA	19
2.2 MÉTODOS PARA DIAGNÓSTICO DE FALHAS	27
3 SENSORES E ANTENAS	53
3.1 TIPOS DE SENSORES E SUAS SELEÇÕES	56
3.1.1 SENSOR DE TENSÃO	57
3.1.2 SENSOR DE CORRENTE.....	59
3.1.3 SENSOR DE TEMPERATURA.....	61
3.1.4 SENSOR DE UMIDADE	63
3.1.5 SENSOR DE RADIAÇÃO SOLAR	65
3.2 CONDICIONAMENTO DE SINAL.....	66
3.3 TIPOS DE ANTENA E SUA SELEÇÃO	54
3.3.1 BLUETOOTH.....	54

3.3.2 ZIGBEE.....	55
3.3.3 NODEMCU	Erro! Indicador não definido.
3.4 ARRANJO DA GERAÇÃO E PONTOS DE MONITORAMENTO.....	69
4 SISTEMA SUPERVISÓRIO EM ASSISTÊNCIA REMOTA	Erro! Indicador não definido.
4.1 INTERNET DAS COISAS - DEFINIÇÕES E NOMENCLATURAS.....	68
4.2 SISTEMA SUPERVISÓRIO DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA	72
4.3 BANCO DE DADOS	73
4.4 MONITORAÇÃO PELO USUÁRIO NA PLATAFORMA THINGSPEAK	75
4.5 PROGRAMA DO MICROCONTROLADOR- ENVIO DOS DADOS	76
5 SIMULAÇÕES	77
5.1 PAINEL SOLAR	78
5.2 CONVERSORES	79
5.3 BANCO DE BATERIAS E CARREGADOR BUCK-BOOST	82
5.4 INTERLIGAÇÃO DOS MÓDULOS.....	83
5.5 COMUNICAÇÃO LABVIEW E PLATAFORMA THINGSPEAK	85
5.6 COMUNICAÇÃO MICROCONTROLADOR X LABVIEW	74
5.7 DISPLAY DE CRISTAL LÍQUIDO - LCD.....	77
6 CONCLUSÃO	77
REFERÊNCIAS	79
ANEXO 1 - PROGRAMA: ENVIO AO BANCO DE DADOS SQL	82
ANEXO 2 - PROGRAMA: ENVIO À PLATAFORMA THINGSPEAK	84

1 INTRODUÇÃO

Nas comunidades isoladas, distantes da rede de distribuição de energia elétrica, os investimentos em linhas de transmissão mostram-se inviáveis diante da baixa densidade populacional e baixa renda per capita. A geração de energia a partir de combustíveis fósseis também é inviabilizada pela dificuldade no fornecimento contínuo desses combustíveis. A geração por Biomassa é um processo ainda usado em pequena escala, pois seus custos de implantação são altos, mas é apontado com uma das tendências para o futuro (www.ageradora.com.br/tipos-e-fontes-de-geracao-de-energia-eletrica, 06/12/2020). Visando superar essas dificuldades, os programas de eletrificação rural do Governo Federal viabilizam a instalação de significativa quantidade de sistemas de fontes renováveis com armazenamento, em locais afastados dos grandes centros urbanos. Exemplos destes programas são o Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (PRODEEM) e o Programa Luz para Todos (LpT).

Na geração fotovoltaica, a fonte é disponível e abundante. O ranking mundial de fonte solar fotovoltaica em operação é liderado pela China, seguida por Japão, Estados Unidos e Alemanha, com destaque para o crescimento significativo da Índia. O Brasil ocupava a 27ª posição em 2017. Já em 2018, saltou para 21ª e, em 2019, subiu para o 16º lugar (www.absolar.org.br/artigos/a-forca-da-energia-solar-em-tempos-de-pandemia, 09/09/2020).

As comunidades isoladas da Amazônia são atendidas pelo Programa Luz Para Todos através de instalações de geração fotovoltaica. Estes projetos são financiados por órgãos públicos e, tratando-se de recursos públicos, devem possuir arranjos que permitam vida útil suficiente para justificar o investimento pela garantia na continuidade de fornecimento de energia elétrica. A indisponibilidade local de técnicos especializados para realizar manutenção no sistema fragiliza a garantia de continuidade no fornecimento. Por esta razão, é comum serem encontrados sistemas de geração fotovoltaica inoperantes por longos períodos com risco de desintegração de seus componentes e deterioração dos equipamentos pelo desuso.

Os sistemas fotovoltaicos são passíveis de ocorrência de falhas que reduzem a produção de energia e também a vida útil do sistema (Triki-Lahiani; Abdelghani; Belkhdja, 2018; apud Buiatti, 2018). A detecção de anomalias é essencial para

aumentar a eficiência do sistema fotovoltaico, reduzindo custos de manutenção e perdas de produtividade (Harrou et al., 2019).

Na atualidade as tecnologias da indústria 4.0, ou quarta revolução industrial, englobam conceitos de Big Data e Cloud. Neste contexto, encontra-se o armazenamento, o processamento e a recuperação de dados de forma digital e automatizada, assim como os Banco de Dados em Nuvem, com foco na melhoria da eficiência e produtividade dos processos (pt.wikipedia.org/wiki/Indústria_4.0, 17/04/2021).

1.1 OBJETIVOS

Esta dissertação tem como objetivo geral desenvolver e implementar uma plataforma para suportar o desenvolvimento de um Sistema de Supervisão de Geração Fotovoltaica para detecção e diagnóstico de falhas à distância.

O sistema supervisorio proposto subsidia o técnico especializado à distância, para que se desloque até a localidade afastada com recursos suficientes para reparo de cada tipo de falha a partir do conhecimento prévio do diagnóstico do problema.

Os objetivos específicos são:

- Dimensionar e desenvolver hardware e software para aquisição de dados, com especificações de sensores que devem ser observadas na implementação do sistema de fotovoltaica;
- Desenvolver e implementar Banco de Dados em Nuvem, em servidor SQL, com leitura e escrita por PHP;
- Elaborar e implementar a comunicação entre o hardware de aquisição e a Nuvem;
- Simular o sistema de geração fotovoltaica na ferramenta Simulink, parte integrante do software Matlab;
- implementar comunicação entre o Software Labview e a nuvem, com leitura e escrita de dados simulados em computador;

1.2 JUSTIFICATIVA

A relevância deste projeto para a sociedade está na melhoria do fornecimento de energia elétrica para comunidades isoladas, viabilizando a maior disponibilidade

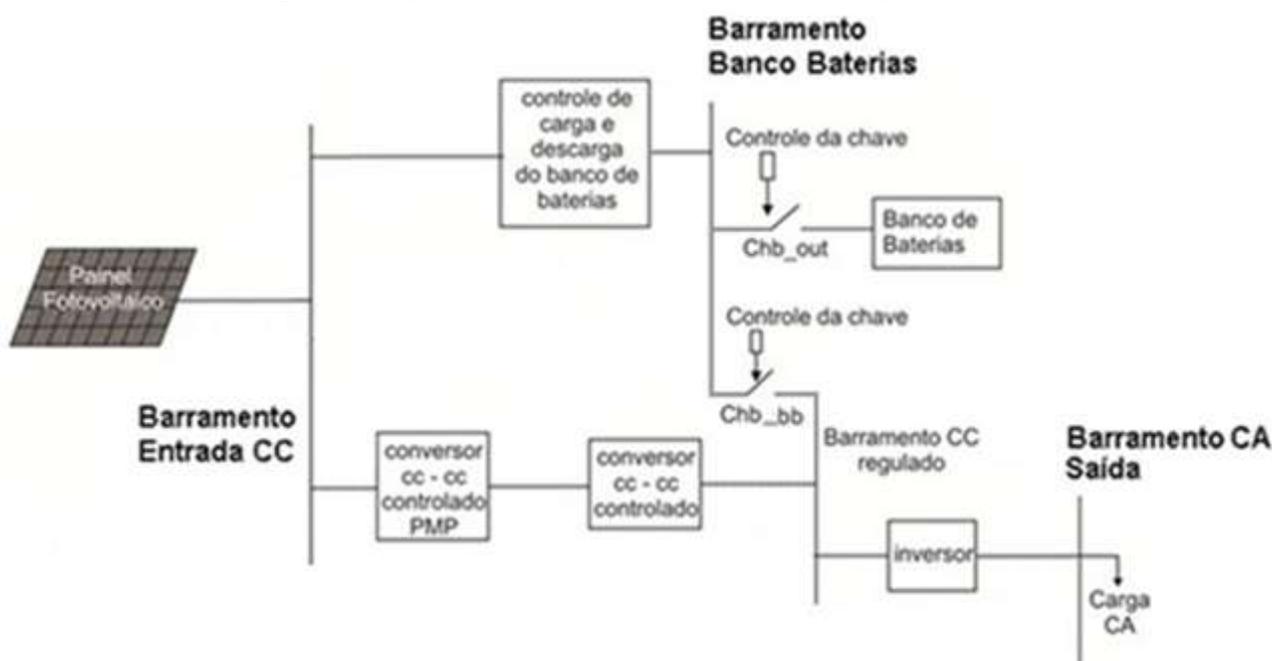
da geração através de monitoração do sistema de geração, empregando internet. Como consequência, esta melhoria eleva a disponibilidade de Internet de banda larga nestas regiões, permitindo o acesso a ferramentas de educação, saúde, segurança, etc.

Este trabalho se justifica pelo impacto social e econômico que seus resultados possibilitarão. O sistema proposto contribui para a sustentabilidade de negócios das tecnologias limpas, adotada por fontes de financiamento como bancos e instituições financeiras. Este conhecimento pode ser utilizado para melhorar a capacidade de avaliação de tecnologias de geração em financiamentos para atender comunidades isoladas.

1.3 METODOLOGIA

Este trabalho baseia-se em um sistema de geração de energia fotovoltaica Off-Grid que foi projetado e está sendo implementado pelo Grupo de Tecnologia da Automação (GTA) no Laboratório de Engenharia Elétrica do Campus Universitário da UFPA em Belém, com o esquemático mostrado na figura 1.

Figura 1. Diagrama do sistema solar em implementação no Laboratório



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

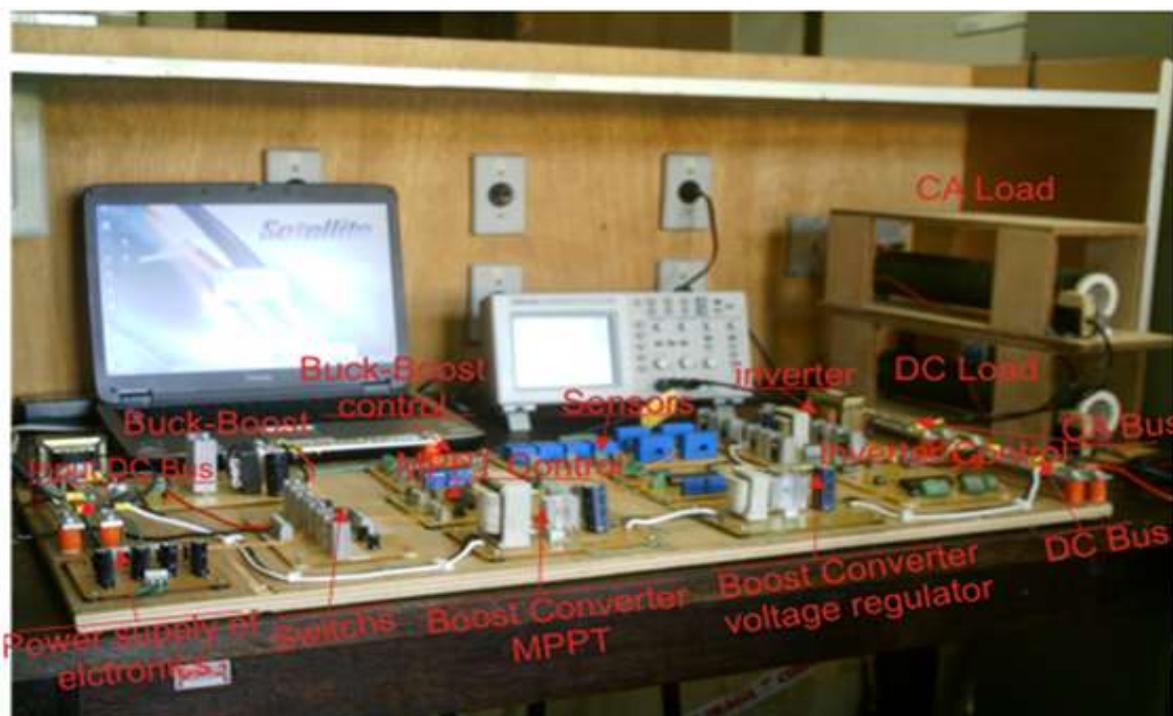
O Painel Fotovoltaico usa a radiação solar para gerar tensão e corrente, alimentando o Barramento CC de entrada. O conversor CC - CC controlado PMP busca o ponto de máxima potência. O segundo conversor CC - CC Boost (Conversor

CC – CC Controlado) adequada a tensão aos níveis de operação do inversor que gera a corrente alternada para a carga. A energia excedente é armazenada no banco de baterias pelo controle de carga e descarga.

O sistema que está sendo implementado permite que seja entregue à carga sempre a potência máxima para cada nível de radiação solar. Foi desenvolvido um arranjo para seguir continuamente o ponto de máxima potência do painel solar. Este arranjo é composto por sensores de tensão e corrente, conversores CC/CC e microprocessador. A figura 2 traz uma visão geral do sistema em implantação no Laboratório.

A estratégia de controle do sistema de geração fotovoltaica, se baseia em dois parâmetros: na capacidade de geração do painel solar e no estado de carga do banco de baterias.

Figura 2. Sistema solar fotovoltaico do Laboratório



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

Quando o painel solar não for capaz de manter a carga, o banco de baterias passa a ser utilizado para isso. Quando as condições de operação do painel solar são restabelecidas este passa a alimentar as cargas e a recarregar as baterias. Caso o tempo de inoperância do painel seja longo o suficiente para que o banco de baterias seja descarregado a 30% de sua carga nominal, o sistema corta a alimentação das cargas, ficando ligado ao banco de baterias somente o sistema de

controle, e ocorre a retomada da alimentação das cargas e da recarga de baterias logo que o painel solar atinja sua tensão nominal de operação.

A seguir são apresentadas as características dos elementos do sistema implementado no Laboratório.

- PAINEL SOLAR:

Potência máxima: 130 W

Tensão de potência máxima: 17,6 V

Corrente de potência máxima: 7,39 A

Tensão de circuito aberto: 21,90 V

Corrente de curto circuito: 8,02 A

Modelo: KC 130TM

Fabricante: KYOCERA

- CONVERSOR CC/CC MPPT:

Tensão de entrada: 16,43 a 19,7 V

Tensão de saída: 17,6 a 19,7 V

Corrente: 6,6 a 7,4 A

- CONVERSOR CC/CC ELEVADOR:

Tensão de entrada: 19,7 V

Tensão de saída: 48 V

Corrente: 2,71 A

- CONVERSOR CC/CC CARREGADOR DE BATERIAS:

Tensão de entrada: 48 V

Tensão de saída: 57,6 V

Corrente: 1 A

- CONVERSOR CC/CA:

Tensão de entrada: 48 V

Tensão de saída: 127 V

Frequência da tensão de saída: 60 Hz

Corrente de saída: 0,5 A

THD: 2 %

A seleção e especificação de sensores apresentadas devem ser observadas na implementação do sistema de geração. A transmissão dos dados para a nuvem, assim como os enlaces entre os serviços de IoT, foram implementados.

Foi desenvolvido, em computador, supervisor com uso de Banco de Dados em Nuvem com servidor SQL, da Plataforma ThingSpeak e do software Labview. O projeto foi concluído com testes de funcionamento através de falhas provocadas.

Simulações da transmissão de dados foram realizadas para verificar a efetividade da solução. Foram definidas adequações das placas de circuito do sistema de geração fotovoltaico para instalação de sensores e antena e para transmissão e recepção de dados.

1.4 CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA

Ao longo do desenvolvimento desta dissertação, algumas contribuições científicas foram realizadas. As contribuições estão manifestadas em artigos científicos, como citado abaixo:

- "A Internet das Coisas em Sistemas de Geração Fotovoltaica". Este artigo foi publicado e apresentado na XIX Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, realizada on-line no período de 13 a 17 de dezembro de 2021, pela Universidade Federal de Uberlândia.
- "A Internet das Coisas em Sistemas de Geração Fotovoltaica". Este artigo foi submetido à Revista Científica Semana Acadêmica – ISSN 2236-6717 – em 02/05/2023, com previsão para a publicação em 09/06/2023.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

No capítulo 1 é apresentada a introdução, os objetivos, a justificativa, a metodologia e a contribuição científica deste trabalho.

No capítulo 2 é discorrido sobre tipos sistemas de geração fotovoltaica, buscador de máxima potência, conversores e o sistema de geração fotovoltaica implantada no Laboratório de Engenharia Elétrica do Campus Universitário da UFPA monitoramento da geração fotovoltaica, abrangendo seus principais eventos e defeitos, assim como métodos para diagnóstico de falhas.

Sensores e antenas são apresentados no capítulo 3, com informações sobre tipos de sensores e sua seleção, características dos sensores e condicionamento de sinal, a antena e o arranjo da geração e pontos de monitoramento.

O capítulo 4 traz informações sobre o software e o hardware da plataforma de supervisão, detalhando o Banco de Dados em Nuvem configurado em um servidor SQL conectado por PHP ao cliente e ao hardware coletor de dados do sistema fotovoltaico, assim como a interface de armazenamento e recuperação de dados desenvolvida na plataforma ThingSpeak.

No capítulo 5 são apresentados projetos e resultados de simulações do sistema de geração e do Supervisório, detalhando a comunicação entre o software Labview e a Plataforma ThingSpeak, a comunicação entre o microcontrolador e o software Labview, assim como a interligação do display de cristal líquido.

O capítulo 6 apresenta a conclusão deste trabalho.

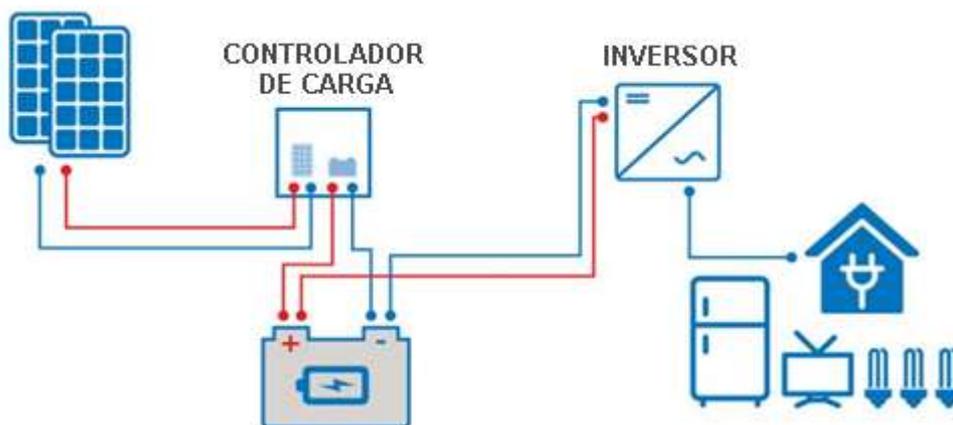
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS: ON-GRID E OFF-GRID

Os sistemas fotovoltaicos podem ser do tipo On-Grid e Off-Grid. O sistema On-Grid, funciona conectado à rede de distribuição de energia e, comumente, não possui baterias, sendo funções do inversor, além de converter a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), sincronizar o sistema com a rede pública. A energia produzida excedente, ou seja, que não é utilizada pelo consumidor, é enviada à rede convencional de energia elétrica, gerando créditos que serão utilizados em momentos quando a demanda é maior que a produção.

O sistema de Geração Off-Grid é desconectado e totalmente independente da energia da concessionária. Nesse sistema, a energia é armazenada em baterias para ser utilizada nos momentos em que há diminuição de radiação solar, como dias nublados ou à noite. Em um sistema fotovoltaico Off-Grid elementar, os painéis solares geram a energia elétrica em corrente contínua que abastece as baterias. Controladores de carga garantem o correto abastecimento das baterias, evitando sobrecargas e descargas profundas, aumentando a sua vida útil. Inversores tem a função de converter corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA) elevando a tensão, por exemplo, de 12V para 220V. Isto é ilustrado de na figura 3.

Figura 3. Diagrama de um Sistema elementar de Geração Fotovoltaico Off-Grid



Fonte: molavisolar.com/off-grid-solar-system-for-villas,06/07/2021

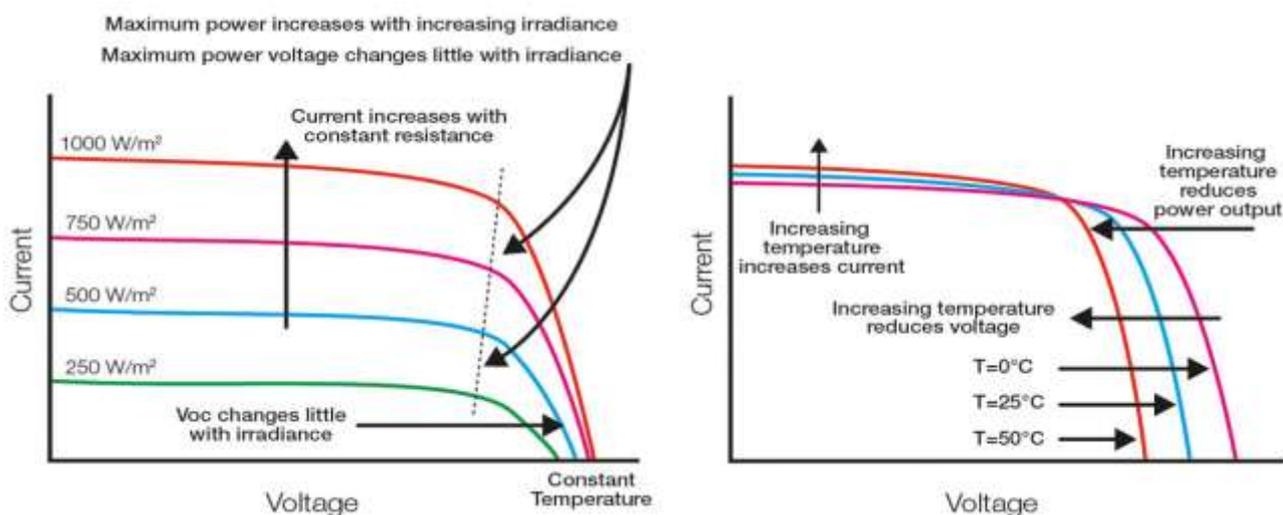
Painéis solares podem fornecer muito mais tensão do que a necessária para carregar as baterias. Associações de painéis solares de 18VCC podem atingir 150VCC enquanto bancos de baterias de 12VCC alcançam tipicamente 48VCC.

Os controladores de carga mais antigos usavam um relé mecânico para abrir ou fechar o circuito, conduzindo ou interrompendo a corrente que carregava as baterias ou alimentava o inversor. Atualmente é empregada a tecnologia PWM ou Modulação por Largura de Pulso (do inglês Pulse Width Modulation) que possibilita o controle da corrente aplicada às baterias, reduzindo-a ou elevando-a de forma controlada. Este tipo de controlador permite que as baterias sejam mais totalmente carregadas com menos estresse na bateria, prolongando sua vida útil. Ele também pode manter as baterias em um estado totalmente carregado, chamado de “flutuação”. Neste processo o PWM abaixa a tensão e mantém a corrente, havendo redução significativa das potências de entrada e de saída.

2.2 BUSCADOR DE MÁXIMA POTÊNCIA

O desempenho do painel solar é afetado pela quantidade de radiação solar que incide sobre o módulo, pela sua temperatura, e pela corrente solicitada pela carga. Quando a temperatura aumenta, devido a mudanças climáticas ou dissipação de energia (calor) durante a geração, a tensão de circuito aberto diminui; quando a irradiância diminui, a corrente de saída diminui; nesses dois casos há redução na potência de saída. No projeto de um sistema de geração fotovoltaico devem ser considerados o coeficiente de temperatura do módulo e a temperatura média de operação esperada. O comportamento elétrico de um painel fotovoltaico pode ser analisado através de sua curva característica que relaciona a corrente com a tensão para várias condições de temperatura e radiação solar, conforme mostra a figura 4.

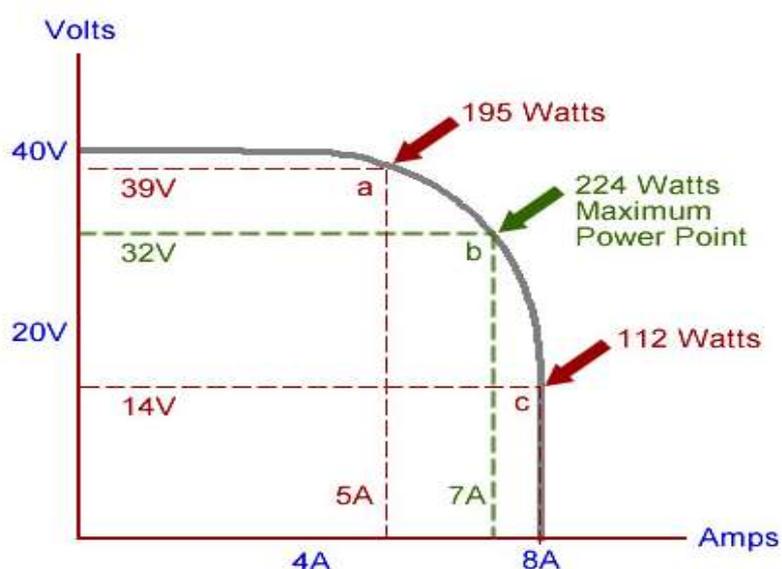
Figura 4. Curvas I x V para várias condições de temperatura e radiação solar



O ponto de maior potência é o ponto de maior valor do produto entre tensão e corrente. Observa-se que este ponto é dinâmico, sendo influenciado por variações na radiação, na temperatura e nas características da carga. Analisando-se os 3 pontos de operação apresentados na figura 5, constata-se que no ponto “a” a potência é 195W (39V x 5A), no ponto “b” a potência é 224W (32V x 7A) e no ponto “c” a potência é 112W (14V x 8A), ocorrendo a potência máxima no ponto “b”.

A busca pelo ponto de máxima potência permite que seja utilizado todo o potencial de geração do painel solar (sites.google.com/site/owafksolar/solar-training-workshop/solar-panel-mppt-explained, 08/12/2020). Essa tecnologia é conhecida como MPPT ou Rastreamento do Ponto de Máxima Potência (do inglês Maximum Power Point Tracker).

Figura 5. Pontos de operação para análise da máxima potência



Fonte: www.engineering.com/story/batteries-and-inverters-in-solar-energy, 06/07/2021

2.3 INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Entre os inversores mais utilizados, tem-se 2 tipos: de onda senoidal pura e o de onda senoidal modificada. Os equipamentos de corrente alternada são projetados para serem alimentados por onda senoidal pura, fornecida pelas concessionárias de energia elétrica, oriunda de geradores girantes cíclicos. Quando recebem onda senoidal pura, os equipamentos funcionam com potência e eficiência totais. Porém encontram-se equipamentos alimentados por ondas modificadas, que também funcionam, mas não nas condições de potência e eficiência totais, gerando harmônicos e produzindo perdas.

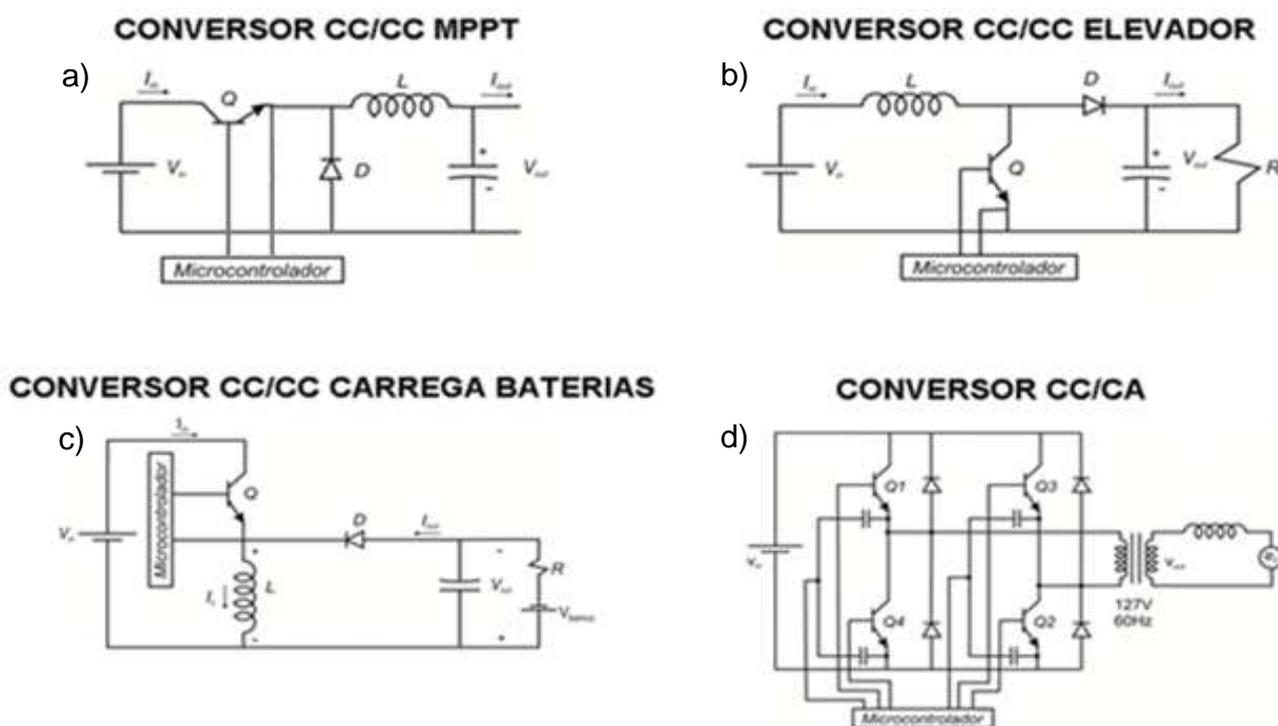
Os inversores de onda senoidal pura são mais eficientes do que os de onda modificada devido à redução de harmônicos. O maior custo dos de onda senoidal é justificado pela utilização de mais tecnologias.

2.4 CONVERSORES

Um conversor pode alterar a amplitude e conformar a forma de onda, diferentemente de um transformador que somente pode alterar a amplitude de uma onda alternada. Os conversores são utilizados tanto na elevação quanto na redução de tensão. Mesmo apresentando o inconveniente da produção de harmônicos, tanto para a fonte de alimentação quanto para a carga, os conversores são utilizados em larga escala, com a aplicação de filtros de entrada e saída que limitam os harmônicos para a quantidade máxima de distorção permitida por normas específicas.

Conversores CC-CC são usados para converter uma tensão CC não regulada em uma tensão CC regulada de acordo com o nível de tensão desejado. Na figura 6 mostra-se os esquemáticos dos conversores do sistema de geração fotovoltaica em implementação pelo Grupo de Tecnologia da Automação (GTA) da UFPA.

Figura 6. Esquemas de conversores do sistema fotovoltaico do Laboratório



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

Os conversores CC - CC são utilizados para buscar a máxima potência (MPPT), com circuito ilustrado na figura 6 (a) e para regular a tensão CC fornecida ao conversor CC - CA, com circuito mostrado na figura 6(b). O conversor CC - CA, também chamado de inversor, tem como função conformar a forma de onda para fornecer uma onda senoidal à carga, com seu circuito ilustrado na figura 6(d). O conversor CC - CC Buck-Boost opera como elevador e como abaixador de tensão, com circuito mostrado na figura 6(c), é do tipo acumulativo indutivo, operando em dois estágios de potência, e é empregado para controle da carga das baterias.

Para o processo de carga e descarga do banco de baterias o nível de tensão é controlado. A tensão de saída deste conversor deve variar a partir da tensão nominal do banco de baterias, em caso de descargas profundas, a energia do banco deve ser reposta gradualmente controlando a corrente de carga da bateria. Se o banco de baterias for carregado na tensão nominal estando com tensão muito abaixo do valor da tensão nominal, a corrente de carga será alta, causando danos tanto no conversor quanto no banco de baterias.

2.5 PRINCIPAIS EVENTOS E DEFEITOS DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

O desenvolvimento de técnicas para detecção e localização das falhas melhoram a confiabilidade e a vida útil desses sistemas de geração de energia. Nesta seção será discorrido sobre os eventos e os defeitos observados na Geração Fotovoltaica, assim como sinais a serem monitorados.

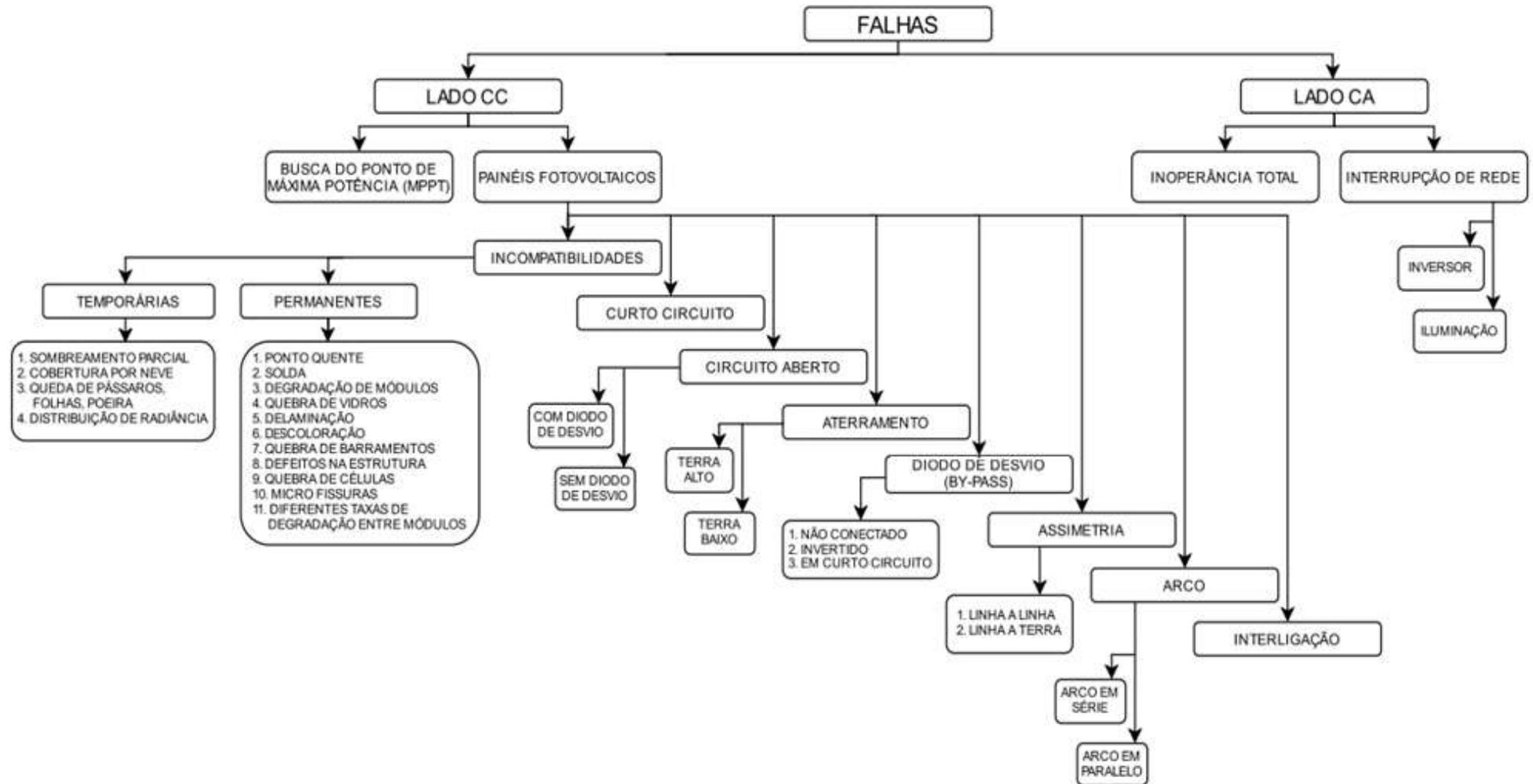
Falha pode ser compreendida como o evento onde um item é incapaz de desempenhar uma função requerida, diferente de pane (ou quebra) que representa um estado. A falha tem caráter transitório, enquanto a pane é permanente.

Em qualquer um dos componentes do sistema fotovoltaico pode ocorrer falha, causando diferentes efeitos no desempenho e na vida útil do sistema. Portanto torna-se essencial identificar o tipo e o local das falhas no sistema em tempo real.

Por serem instalados em ambiente externo, os painéis solares são continuamente expostos a condições ambientais adversas, como chuva, poeira e vegetação; também ocorrem defeitos por fadiga nos outros componentes do sistema (Madeti; Singh, 2017). Uma classificação das possíveis falhas nos sistemas fotovoltaicos é mostrada na figura 7.

Como ocorre em outros processos industriais, um sistema fotovoltaico pode estar sujeito a defeitos e anomalias durante sua fabricação, levando a uma redução do desempenho do sistema ou mesmo à total indisponibilidade. Essas conseqüências negativas obviamente reduzirão a produtividade de um sistema PV e, portanto, o retorno de investimento do sistema. Assim, a detecção e o diagnóstico de falha precoce adequada em tempo real são cruciais para reduzir o custo e o tempo de manutenção, para evitar gastos de perdas de energia, prevenir danos ao equipamento e mitigar riscos de segurança (Daliento; Chouder; Guerriero; Pavan; Mellit; Moeini; Tricoli, 2017).

Figura 7. Classificação de falhas nos lados CC e CA do sistema fotovoltaico



Fonte: MADETI; SINGH, 2017

Diversos fatores podem fazer com que um sistema fotovoltaico tenha sua capacidade de geração diminuída, cenário considerado como falha. Tais fatores são classificados em temporários e permanentes. Como exemplo de fatores temporários que afetam os painéis solares tem-se sombreamento, acúmulo de poeira ou neve, queda de pássaros ou folhas e distribuição de radiação; já como fatores permanentes pode-se ter pontos quentes, soldas defeituosas, degradação de módulos, quebra da camada de vidro protetora, da célula ou dos barramentos de interconexão, delaminação, descoloração, defeitos na estrutura, microfissuras e diferentes taxas de degradação entre os módulos (Madeti; Singh, 2017).

Há casos em que sombras em geradores fotovoltaicos são produzidas por prédios, árvores ou antenas, surgidos após a instalação do sistema. O acúmulo de poeira na superfície de um módulo fotovoltaico diminui a radiação que atinge a célula solar reduzindo a geração de energia, causando perdas após longos períodos sem chuva. A obstrução pode cobrir partes de um módulo fotovoltaico, como no caso de excrementos de pássaros, folhas caídas e vegetação.

Diante de sujeira localizada ou degradação de um módulo específico, uma célula tem sua capacidade de geração reduzida em relação a outras do conjunto, e esta passa a operar em reverso, dissipando energia em vez de produzi-la, aumentando a temperatura. O ponto quente (hot spot) ocorre quando as características elétricas das células e módulos conectados em série se tornam incompatíveis. Dependendo da duração e da intensidade, um ponto quente pode danificar permanentemente a célula PV (Appiah; Zhang; Ayawli; Kyeremeh, 2019).

No decorrer do tempo, a intempérie causa falhas nas conexões e nos isolamentos dos cabos, dando início a oscilações, curto-circuito e circuito-aberto. Estas falhas são compreendidas como permanentes, visto que não são resolvidas sem a intervenção humana com materiais e ferramentas necessárias para reparos no local.

Já no caso de acúmulo de sujeira nos painéis solares, a ocorrência de chuva pode restabelecer as condições de radiação solar incidindo nas células fotovoltaicas, que permitem a operação do sistema nas condições de projeto. Todavia, nos casos em que a remoção da obstrução não é tão fácil, novamente tem-se a dependência da intervenção humana para restabelecimento das condições de projeto.

Por sua vez, as baterias também podem apresentar alterações. Uma diminuição da capacidade de acumular carga, leva ao desequilíbrio de carga entre

baterias e à diminuição da autonomia do sistema. A inoperância de uma bateria pode comprometer todo o banco de baterias, o armazenamento da energia gerada e o desempenho do sistema fotovoltaico como um todo.

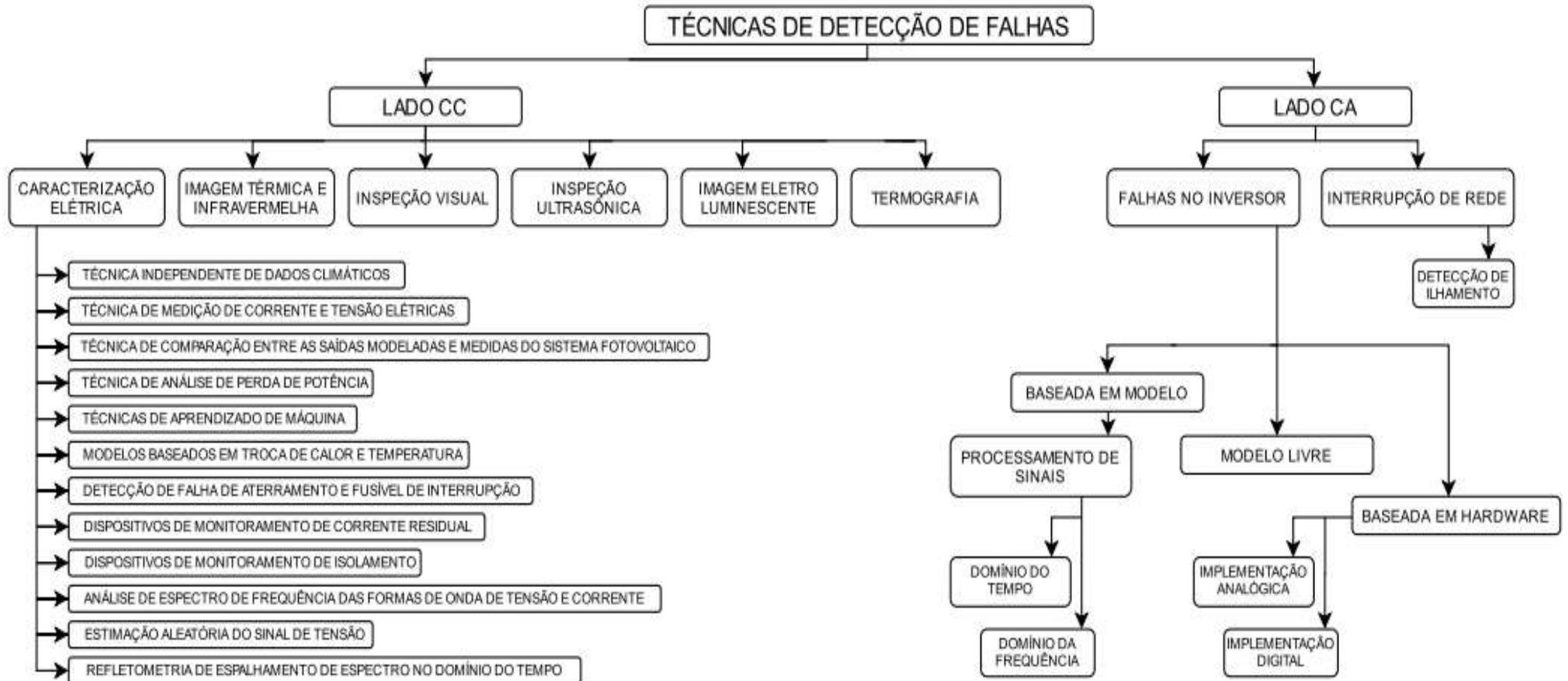
Os conversores, onde são encontrados componentes eletrônicos como transistores, diodos, transformadores, circuitos integrados, capacitores, indutores, resistores além de placas de circuito impresso e soldas, podem ser afetados por diversos fatores como curto circuito e sobrecarga, falhas no aterramento, descargas atmosféricas, temperatura e umidade.

2.6 MÉTODOS PARA DIAGNÓSTICO DE FALHAS

Quando é percebida a diminuição da capacidade de geração, os módulos são submetidos à inspeção visual, mede-se tensão e corrente nos barramentos do sistema, verifica-se temperatura e irradiação no ambiente. A análise das características físicas e elétricas da parte CC do sistema conduz à identificação da causa da falha. Também podem ser analisadas as características elétricas da parte CA do sistema, buscando alterações no fluxo de energia, ou seja, quanto de tensão e corrente disponibilizadas pelo inversor é consumido pela carga. Já foram exploradas, pela literatura, várias técnicas de detecção de falhas para eletrônica de potência, porém sem a definição de alguma técnica generalizada confiável (Madeti; Singh, 2017). Uma alternativa adequada é a localização exata e a determinação do tipo de falha no lado CC e CA do sistema, que podem ser obtidas pelas técnicas relatadas em Hund e King (1995) como mostrado na figura 8.

Alguns métodos de diagnóstico de falhas para Sistemas PV utilizam uma base de imagens infravermelhas que permitem comparar a diferença de temperatura entre os arranjos fotovoltaicos defeituosos e não defeituosos. Já, os métodos que aplicam quantidade razoável de sensores, mesmo diante de limitações como elevação do custo e da complexidade do tratamento dos dados, tem encontrado lugar no desenvolvimento de tecnologias para diagnóstico de falhas em Sistemas Fotovoltaicos (Cheng, Wang e Cheng, 2014).

Figura 8. Técnicas de detecção de falhas



Fonte: MADETI; SINGH, 2017

Os métodos de monitoramento indireto apresentam menor custo de implementação, pela ausência de sensores e infraestrutura de transmissão; todavia oferecem menor precisão, sendo facilmente afetados pelas condições climáticas.

Já os métodos de monitoramento direto apresentam maior rapidez e precisão, com análise de sinais coletados por sensores em diversas partes do sistema, sendo possível a percepção de alterações nas condições operacionais antes que ocorram efeitos representativos na geração de energia. Observa-se que a percepção de desvios das variáveis em relação aos valores de projeto é importante para um diagnóstico eficiente de falhas do sistema fotovoltaico.

Uma forma elementar de indicação de falha no sistema de geração fotovoltaico é a redução de energia na saída dos painéis solares. Em um cenário com vários conjuntos de painéis, caso a tensão na saída de um deles estiver reduzida, isto pode significar que há falha e que é somente neste conjunto, e que não há uma causa que afeta todos os conjuntos de painéis como a redução da radiação solar na região. Investigando mais ainda, pode-se detectar um painel invertido, um diodo de by-pass curto-circuitando um painel ou um painel solar degradado.

Monitorando a tensão do banco de baterias pode-se acompanhar a evolução do tempo de carga, assim como as alterações da autonomia ao longo dos ciclos do sistema. Tem-se, então, condições de prever a substituição de baterias. Tensão baixa no banco de baterias concomitante a tensão normal na saída dos painéis solares e a uma corrente baixa na saída do controlador de carga pode indicar falha neste elemento do sistema.

Uma corrente nula na saída do sistema pode significar a inoperância do inversor ou do sistema por completo. Se houver tensão na entrada do inversor a falha está neste elemento do sistema. Se não houver tensão na entrada do inversor e houver tensão no barramento de saída dos painéis solares a falha está no controlador de carga. Por sua vez, uma corrente alternada de saída maior que a de projeto pode indicar a alimentação de mais cargas do que o suportado pelo sistema, ou seja, sobrecarga na saída.

Se o projeto do sistema de geração foi elaborado ou se a carga não for a recomendada podem ocorrer elevação de temperatura nas conexões e cabos. Temperaturas altas produzem maiores perdas de potência, piores tempos de carga

de baterias e menor autonomia. Caso em que se justificaria a adequação da seção de cabos e componentes de forma a reduzir as perdas.

Danos relacionados à temperatura podem ser percebidos em curto prazo, como destruição do isolamento de cabos, derretimento de soldas e explosão de baterias. Mas também podem acarretar falhas perceptíveis em longo prazo, como degradação precoce de painéis solares e diminuição da vida útil de controlador de carga, inversor e baterias. Medidas preventivas devem ser adotadas antes que os efeitos da temperatura elevada causem danos ao sistema.

A umidade elevada associada a oscilações de tensão e corrente pode indicar falha de contato em conexões gerada por oxidação. Em outra análise, tensão baixa na saída dos painéis solares ocorrendo no mesmo instante que umidade elevada, pode significar a redução da radiação solar pela cobertura dos painéis por nuvens. Detalhando mais a influência da umidade na operação do sistema fotovoltaico, vê-se que, a ocorrência de chuvas pode fundamentar a expectativa de redução ou aumento de cargas alimentadas pelo sistema, no caso do funcionamento de condicionadores de ar e de bombas hidráulicas, respectivamente.

Portanto o diagnóstico de defeitos em sistemas de geração fotovoltaica depende da monitoração do sistema em sensores de tensão, corrente, temperatura, umidade e irradiação. No Capítulo 3 são apresentados os sensores utilizados neste trabalho para monitoração no Sistema de Geração Fotovoltaico em implementação no GTA.

2.7 SENSORES E ANTENAS

Esta seção é dedicado aos sensores e condicionamento de sinal, para a aquisição de dados nos diversos pontos do sistema, e aos dispositivos que realizam a transmissão desses dados.

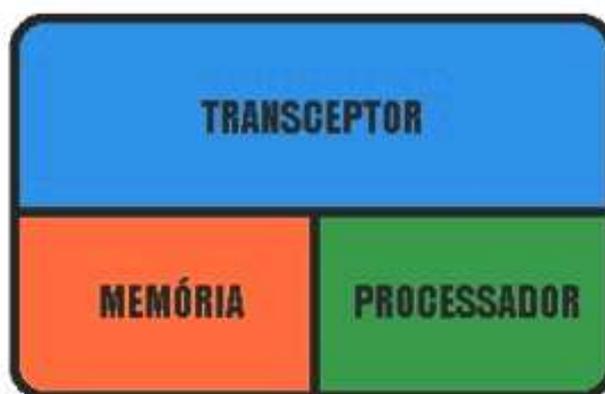
O avanço ocorrido na área de microprocessadores, novos materiais de transdução, comunicação sem fio e a miniaturização da eletrônica tem estimulado o desenvolvimento e uso de Sensores Inteligentes, que são circuitos integrados contendo sensores e interfaces de comunicação sem fio, com capacidade de processamento de sinais e comunicação de dados. Sensores Inteligentes incluem um sistema de controle requerido para uma determinada aplicação, protocolos de

comunicação, memória, conversores digitais-analógicos ou analógicos-digitais, entre outros (Ramírez; Jiménez; Carreño, 2014).

A transmissão é fator determinante na eficiência dos sistemas de aquisição de dados. Com aplicação do Sistema de Monitoração em áreas remotas, a transmissão de dados por meio de cabos de par trançado, coaxial ou fibra óptica se mostra inviável. Por outro lado, a transcepção de dados no contexto de Internet das Coisas (IoT), detalhado no Capítulo 4, mostra-se eficiente na medida em que esses dados passam a ser registrados, acessados e processados por serviços em nuvem.

Atualmente, o termo antena é aplicado a dispositivos capazes de realizar processamento e transmissão de dados, indo além do elemento que apenas concentrava a energia da onda eletromagnética em determinados sentidos para maior alcance. Neste contexto, a figura 9 mostra os componentes de uma antena.

Figura 9. Componentes de uma antena IoT



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

2.8 BLUETOOTH

A tecnologia Bluetooth permite a transmissão de dados em curto alcance e com baixo consumo de energia. A taxa de transmissão é de até 3 Mbps em uma frequência de 2.4 GHz, a uma distância de até 100 metros entre transceptores, em uma rede formada por até 8 dispositivos (Piconet), sendo 1 mestre e os demais escravos. No mercado há dispositivos, como o ilustrado na figura 10, que podem ser conectados a microcontroladores para transmissão de dados através da tecnologia bluetooth.

Figura 10. Módulo Bluetooth HC-06



Fonte: roboark.com/product/hc-06-bluetooth-module, 22/07/2021

2.9 ZIGBEE

Diversas aplicações podem não requerer altas taxas de transferência de dados, caso em que se encaixa a tecnologia Zigbee, para controle remoto, automação industrial e doméstica, com baixo consumo de energia. Esta tecnologia é capaz de conectar 65.535 equipamentos a um mesmo nó coordenador.

Figura 11. Módulo Zigbee HC-06



Fonte: www.elementsonline.com, 22/07/2021

Os módulos Zigbee, como o mostrado na figura 11, funcionam em apenas dois estados de operação, active e sleep, favorecendo aplicações que necessitem de fonte de energia duradoura, e também podem ser conectados a microcontroladores para transmissão de dados.

2.10 NODEMCU ESP8266

Neste trabalho, a transmissão dos dados do gerador fotovoltaico à plataforma de supervisão é realizada pelo modelo NodeMCU ESP8266, da fabricante Espressif Systems, mostrado na figura 12, que é uma placa de desenvolvimento com

microcontrolador de 32 bits, Wi-Fi integrado, interface usb-serial, um conversor analógico-digital, 16 portas digitais e analógicas de entrada e saída, memória flash de 4 MB, faixa de alimentação CC de 5 a 12V.

Figura 12. Antena escolhida neste trabalho - NodeMCU ESP8266



Fonte: www.espressif.com, 23/01/2021

Na atualidade este dispositivo é inserido no contexto de Indústria 4.0 e Internet Of Things e pode ser programado com as linguagens de programação Lua, Python, JavaScript ou até mesmo com a IDE do Arduino.

A escolha deste dispositivo ocorre porque possui diversos pinos de entrada e saída, inclusive conversor analógico digital, e incorpora microcontrolador e transmissor Wi-Fi em um só dispositivo, sendo direcionado para plataformas móveis com restrições de espaço e energia.

2.11 TIPOS DE SENSORES E SUAS SELEÇÕES

Sensor é um termo empregado para designar dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente, relacionando informações sobre uma grandeza a ser mensurada, como temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, entre outras. Um sensor nem sempre possui as características elétricas necessárias para ser utilizado, sendo empregado um circuito de interface que produz sinal elétrico que é lido pelo controlador (Thomazini; Albuquerque, 2020).

Sensores analógicos apresentam sinal contínuo, admitindo infinitos valores, na saída. Já sensores digitais apresentam sinal discreto, ou seja, com valores finitos entre seus intervalos. Nos dois casos, há características relevantes, como segue:

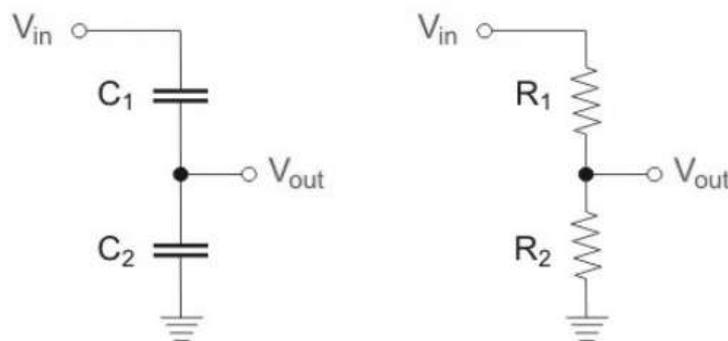
- Sensibilidade - razão entre a variação do sinal de saída e a variação do sinal de entrada; um sensor é mais sensível se fornece uma variação na saída para uma pequena variação da grandeza medida;

- Exatidão - quanto a medida realizada pelo sensor se desvia em relação à realizada por um medidor padrão; aptidão para dar respostas próximas ao valor verdadeiro;
- Precisão - grau de repetibilidade do valor medido; quantidade de valores iguais dentro de um conjunto global de medições.
- Linearidade - comparação entre a curva dos valores medidos pelo sensor e a curva de calibração; um sensor é linear se a relação entre saída e entrada é linear;
- Alcance - toda a faixa de valores de entrada de um sensor;
- Velocidade de resposta - velocidade com que a medida fornecida pelo sensor alcança o valor final do processo; um sensor com velocidade de resposta lenta pode trazer efeitos indesejados a depender da dinâmica do sistema.
- Outros como: Dimensões, custo, vida útil e disponibilidade no mercado.

2.12 SENSOR DE TENSÃO

Um sensor de tensão mede a quantidade de tensão CA ou CC em um determinado objeto. A técnica comumente utilizada para a medição é baseada em divisor de tensão, que pode ser do tipo resistivo e do tipo capacitivo, como ilustrado na figura 13.

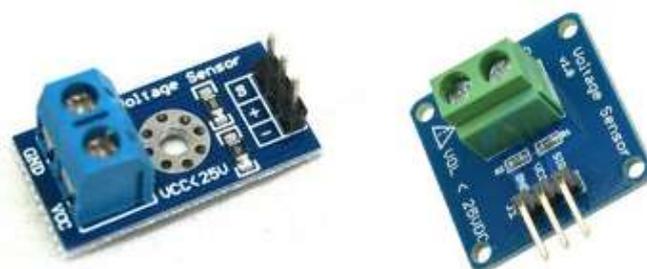
Figura 13. Medição de tensão baseada em divisor de tensão



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

Alguns desses sensores encontrados no mercado, mostrados na figura 14, medem apenas tensão CC.

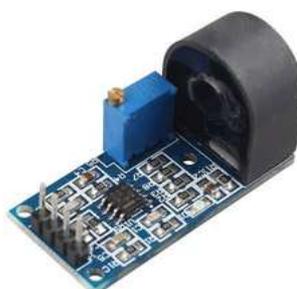
Figura 14. Sensores de tensão CC



Fonte: www.indiamart.com, 12/07/2021

Há, também, os que medem somente tensão CA, como o da figura 15.

Figura 15. Sensor de tensão CA



Fonte: www.indiamart.com, 12/07/2021

Outra técnica atualmente utilizada é baseada em efeito hall, que permite medição de tensão CC e AC. O efeito hall ocorre quando uma corrente em um condutor tem sua trajetória desviada pela ação de um campo magnético, gerando a tensão de hall, que pode ser medida por um circuito externo para fins de quantificação da grandeza de interesse, pois esta tensão é proporcional à intensidade do campo que a cria. A figura 16 mostra exemplos de sensor de tensão por efeito hall encontrados no mercado.

Figura 16. Sensores de tensão por efeito hall



Fonte: www.chenyang-gmbh.com, www.indiamart.com, www.lem.com, 12/07/2021

Neste trabalho, para a medição de tensão utiliza-se o sensor de efeito hall, pois adquire sinais CC e AC, modelo LV25-P, da fabricante LEM, que possui relação de transformação 2500:1000, precisão de 0,9%, separação galvânica entre os circuitos primário e secundário, e é linear. Este sensor é mostrado na figura 17.

Figura 17. Sensor de tensão LV25-P



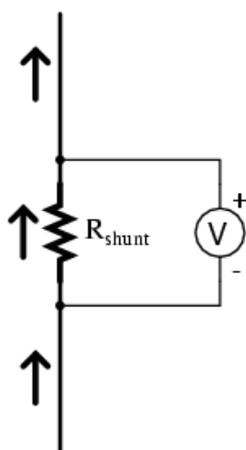
Fonte: www.lem.com, 10/01/2021

2.13 SENSOR DE CORRENTE

Um sensor de corrente mede a quantidade de corrente CA ou CC em um determinado condutor.

Uma das técnicas de medição baseia-se na Lei de Ohm: a queda de tensão em um resistor é proporcional à corrente que passa por ele. Correntes CA e CC podem ser medidas com uso deste resistor, denominado resistor shunt. como ilustrado na figura 18.

Figura 18. Medição de corrente baseada em resistor shunt



Fonte: www.peoi.org/Courses/Coursesen/circuit1/Resources/ztemp0f8.html, 10/01/2021

Com resistores shunt encontrados no mercado, como o mostrado na figura 19, podem ser medidas correntes CA e CC.

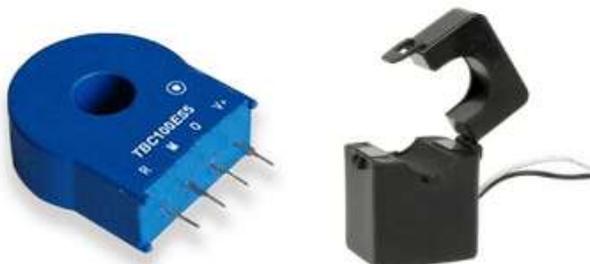
Figura 19. Resistor shunt



Fonte: www.cflexigraf.com, 10/01/2021

Outra forma de medição de corrente baseia-se em transformador, onde uma corrente primária alta é convertida em uma corrente secundária menor. A figura 20 mostra exemplos de transformadores de corrente para medição de corrente CA.

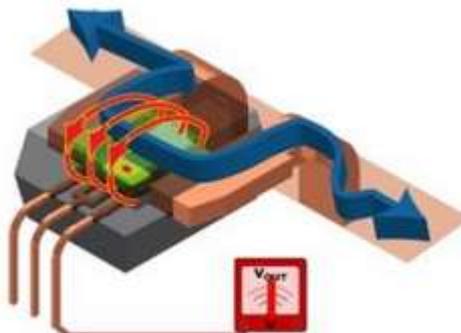
Figura 20. Transformadores de corrente



Fonte: components101.com/article/comparison-between-shunt-hall-and-ic-based-current-sensing-designs, ph.rs-online.com/web/p/current-transformers, 10/01/2021

Correntes CC e CA mais altas podem ser medidas através das Leis de Ampère e Faraday, medindo o campo magnético ao redor de um condutor de corrente. A figura 21 mostra um modelo encontrado no mercado.

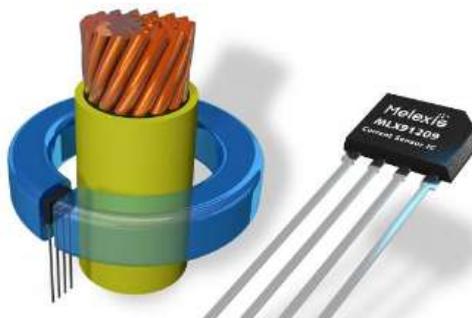
Figura 21. Sensor de corrente Faraday - Ampère



Fonte: engineering.electrical-equipment.org/power-quality/current-and-voltage-sensors.html, 10/01/2021

O efeito hall também pode ser empregado para medição de corrente CC e CA. A figura 22 ilustra um sensor de corrente por efeito hall encontrado no mercado.

Figura 22. Sensor de corrente por efeito hall



Fonte: https://eenews.cdnartwhere.eu/sites/default/files/styles/inner_article/public/import/91209-pr-highcurrent_hres.jpg, 10/01/2021

Para a medição de corrente, neste trabalho, emprega-se o sensor de efeito hall, pois adquire sinais CC e AC, modelo LA55-P, da fabricante LEM, que possui relação de transformação 1:1000, precisão de 0,9%, separação galvânica entre os circuitos primário e secundário, e é linear. Este sensor é mostrado na figura 23.

Figura 23. Sensor de corrente LA55-P



Fonte: www.lem.com, 10/01/2021

2.14 SENSOR DE TEMPERATURA

Entre as tecnologias disponíveis para medição de temperatura, encontra-se os termopares, os termistores, circuitos integrados dedicados, entre outros.

Os termopares possuem sensibilidade alta, boa velocidade de resposta e boa precisão. Existem vários tipos de termopares para várias faixas de temperatura. Eles possuem fios de metal com propriedades específicas que geram uma diferença de tensão termoelétrica entre suas extremidades. Há uma correspondência entre esta tensão nos dois terminais de saída do termopar e a temperatura medida. A figura 24 mostra exemplos de termopar.

Figura 24. Sensores de temperatura tipo termopar



Fonte: www.termometrorc.com.br, www.sensores temperatura.com.br, 17/07/2021

Um termistor é um dispositivo semiconductor com uma resistência elétrica dependente da temperatura, de forma não linear. Possui alta sensibilidade, porém com limitada faixa de operação. Há dois tipos: com coeficiente de temperatura negativo (NTC), onde a resistência diminui com o aumento da temperatura; e com

coeficiente de temperatura positivo (PTC), onde a resistência aumenta à medida que a temperatura aumenta. Nas figuras 25 e 26 são ilustrados exemplos de termistores NTC e PTC encontrados no mercado.

Figura 25. Sensor de temperatura tipo termistor NTC



Fonte: <http://www.rethacomponentes.com/termistores-ntc>, www.novusautomation.com, 17/07/2021

Figura 26. Sensor de temperatura tipo termistor PTC



Fonte: www.rethacomponentes.com/termistores-ptc, sensors.lv/en/produkti/procesa-sensori/temperaturas-sensori, 17/07/2021

Circuitos integrados projetados para operar como sensores de temperatura possuem recursos que permitem obter uma resposta linear. Outra vantagem desse tipo de sensor é sua alta compatibilidade com microprocessadores, uma vez que os sinais de saída apresentam amplitudes de tensão e corrente suficientes para utilização. A figura 27 mostra exemplos de circuitos integrados sensores de temperatura.

Figura 27. Circuitos integrados sensores de temperatura

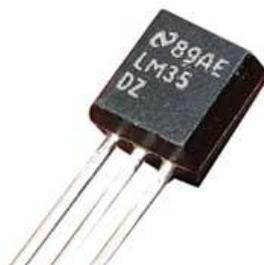


Fonte: br.mouser.com/new/texas-instruments/ti-tmp102-sensor, www.sensortips.com/pressure/solving-medical-sensing-application-problems, 17/07/2021

Neste trabalho mede-se a temperatura através do modelo LM35DZ, da fabricante Texas Instruments, ilustrado na figura 28. Este sensor possui saída linear

na proporção de 10 mV/°C, exatidão típica $\pm 0,5^\circ\text{C}$, faixa de temperatura de operação -55°C a $+150^\circ\text{C}$.

Figura 28. Sensor de temperatura LM35DZ



Fonte: www.ti.com, 10/01/2021

2.15 SENSOR DE UMIDADE

Atualmente, a umidade de um ambiente pode ser medida por tecnologias que empregam resistência com capacitâncias sensíveis à umidade relativa do ar, assim como por circuitos integrados dedicados.

O sensor resistivo, ilustrado na figura 29, usa um polímero orgânico que apresenta variação na resistência elétrica em função da variação na umidade do ar. Através de um circuito auxiliar obtém-se uma tensão corresponde à grandeza medida.

Figura 29. Sensor resistivo de umidade



Fonte: abra-electronics.com/sensors/sensors-temperature-en/sens-hr202-resistor-type-humidity-sensor.html, 17/07/2021

Já o sensor capacitivo, possui uma célula cujo valor da capacitância é alterado com a variação da umidade relativa do ar. A medição da grandeza é obtida através de um circuito auxiliar, que utiliza essa capacitância para variar a frequência de um oscilador, gerando uma correspondência entre a umidade e a frequência do oscilador. A figura 30 ilustra este tipo de sensor de umidade.

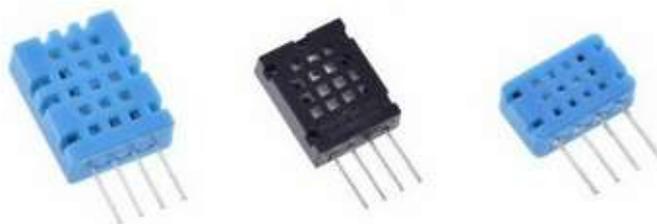
Figura 30. Sensor capacitivo de umidade



Fonte: newkarachielectronics.com/index.php/product/humirel-humidity-sensor-hs1101, 17/07/2021

A umidade também pode ser medida por circuitos integrados dedicados para este fim. São utilizadas duas placas condutoras separadas por uma película de polímero não-condutor, em que é observada uma tensão oriunda do campo elétrico formado. A película polimérica é responsável por captar a umidade do ar e provocar alterações de tensão entre as duas placas. Os circuitos integrados sensores de umidade, como os ilustrados na figura 31, medem as alterações de tensão entre as duas placas condutoras, que possuem correspondência com a umidade a ser medida.

Figura 31. Circuitos integrados sensores de umidade



Fonte: shopee.com.br, 17/07/2021

Para a medição eletrônica de umidade, neste trabalho, usa-se o modelo AM2302 mostrado na figura 32, da fabricante Guangzhou Aosong Electronic. Este sensor possui interface I2C, exatidão típica $\pm 2\%$ e faixa de operação 0 a 100% de umidade relativa.

Figura 32. Sensor de temperatura e umidade AM2302



Fonte: www.aosong.com/en/products-69.html, 17/07/2021

2.16 SENSOR DE RADIAÇÃO SOLAR

A intensidade de radiação solar é associada à densidade de fluxo da radiação solar e é também chamada de irradiação solar. Sensores capazes de medir esta grandeza, denominados piranômetros, são encontrados em três tipos: termopilha, fotodiodo e fotovoltaico.

No piranômetro de termopilha a irradiação solar é calculada a partir da medida diferencial entre a temperatura de uma parte exposta ao sol e a temperatura de outra parte não exposta ao sol. A figura 33 ilustra este sensor.

Figura 33. Piranômetro de Termopilha



Fonte: www.kintech-engineering.com/pt-br/catalogue/solar-pt/sr20, 20/07/2021

O piranômetro de fotodiodo realiza a medição da densidade de radiação solar utilizando o efeito fotoelétrico de um fotodiodo, que converte as frequências de espectro solar em corrente. Na figura 34 é mostrado um modelo deste sensor encontrado no mercado.

Figura 34. Piranômetro de Fotodiodo



Fonte: www.directindustry.com/prod/nrg-systems/product-61562-656761.html, 20/07/2021

Já o piranômetro fotovoltaico, que é uma evolução do piranômetro de fotodiodo, mede o potencial de geração dos módulos fotovoltaicos, sendo conhecido como "célula fotovoltaica de referência", "sensor de irradiância" e "solarímetro". A figura 35 ilustra este sensor.

Figura 35. Piranômetro Fotovoltaico



Fonte: fadaklabequipments.com/photovoltaic-pyranometer/, 20/07/2021

Devido à disponibilidade no mercado e por ser um sensor de referência para geração fotovoltaica, neste trabalho opta-se pelo uso do piranômetro fotovoltaico, modelo HT304N, mostrado na figura 36, da fabricante HT Instruments, que possui exatidão típica $\pm 3\%$, temperatura de trabalho -20°C a 50°C e faixa de operação 50 a 1400 W/m^2 .

Figura 36. Célula de Referência HT304N



Fonte: www.renvu.com/Solar/Troubleshooting-and-Site-Analysis/HT-HT304N, 20/07/2021

2.17 CONDICIONAMENTO DE SINAL

Atualmente, muitas aplicações necessitam de medições de grandezas realizadas a partir de sensores. Os sinais de saída produzidos por sensores de medição requerem condicionamento para convertê-los em uma forma que possam

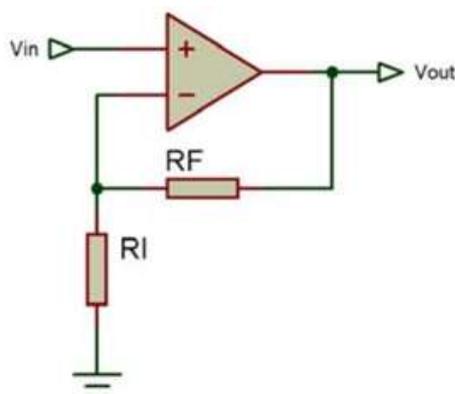
ser usados pelos dispositivos que efetuam a aquisição dos dados. As principais funções do condicionamento de sinal são:

- Alimentação de sensores - muitos tipos de sensores necessitam de alimentação elétrica para funcionar. Essa energia é fornecida pelo dispositivo de medição;
- Conversão de sinais - a saída do sensor pode ser um sinal CC ou CA, assim como uma resistência, uma capacitância ou indutância, entre outros. A correspondência com a grandeza medida pode estar relacionada aos valores CC do sinal ou valores médio, RMS, ou da frequência do sinal CA. A conformação de sinais consiste em dar forma ao sinal de saída dos sensores para torná-lo útil ao dispositivo de aquisição de dados;
- Filtragem de sinais - bloqueia valores indesejados, relacionados a ruídos ou valores incorretos quando a taxa de amostragem é muito baixa em comparação com o conteúdo de frequência dos sinais que estão sendo medidos. A filtragem entrega ao dispositivo de medição apenas dados válidos, evitando leituras incorretas. Neste trabalho é implementada a filtragem por software, como detalhado no Capítulo 4.
- Linearização de sinais - necessária quando os sinais produzidos por um sensor não possuem uma relação linear com a medição física. Atinge-se maior precisão, pois os parâmetros para a linearização são avaliados durante a calibração do sensor.
- Amplificação/Atenuação de sinais - A conversão de sinal analógico para digital (ADC) impõe limites de tensão do sinal de entrada para que possa ser digitalizado. Caso o sinal de saída do sensor tenha nível de tensão muito baixo, é necessária a amplificação do sinal; caso o sensor produza um sinal com nível de tensão muito alto, é requerida atenuação do sinal.

Neste trabalho, os sinais de saída dos sensores passam por um condicionamento, que é realizado por amplificador na configuração não inversor, como mostra a figura 37. Usa-se o amplificador operacional pois sua alta impedância de entrada mitiga a interferência nos sinais fornecidos pelos sensores e sua baixa impedância de saída acrescenta energia aos sinais para que possam ser utilizados pelo dispositivo de aquisição. Os ganhos nos amplificadores foram ajustados para

cobrir a faixa de variação das variáveis na planta, produzindo valores correspondentes na faixa de variação da entrada do conversor analógico-digital do microcontrolador, que é 0V a +5V.

Figura 37. Amplificador na configuração não inversor



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

A escolha do circuito integrado LM324, para este trabalho, ocorreu porque possui 4 amplificadores operacionais em um único invólucro.

2.18 INTERNET DAS COISAS - DEFINIÇÕES E NOMENCLATURAS

Nuvem (Cloud) é o conjunto de recursos e serviços de Tecnologia da Informação (TI), mantidos em servidores, que possibilitam acesso a arquivos ou aplicativos de qualquer lugar da rede (Pflanzner; Kertesz, 2016).

Internet dos Serviços (IoS) é a integração de serviços que oferece soluções de armazenamento e processamento em Nuvem, interligando componentes inteligentes e pessoas para alcançar um objetivo comum.

World Wide Web (WWW) é a rede mundial onde um sistema de documentos em hipermídia são interligados e executados na Internet. Estes documentos podem existir na forma de vídeos, sons, hipertextos e imagens.

Hypertext Transfer Protocol (HTTP) é um protocolo de comunicação utilizado para sistemas de informação distribuídos e colaborativos. É a base de qualquer troca de dados na World Wide Web, através de requisições iniciadas pelo destinatário, geralmente por um programa navegador.

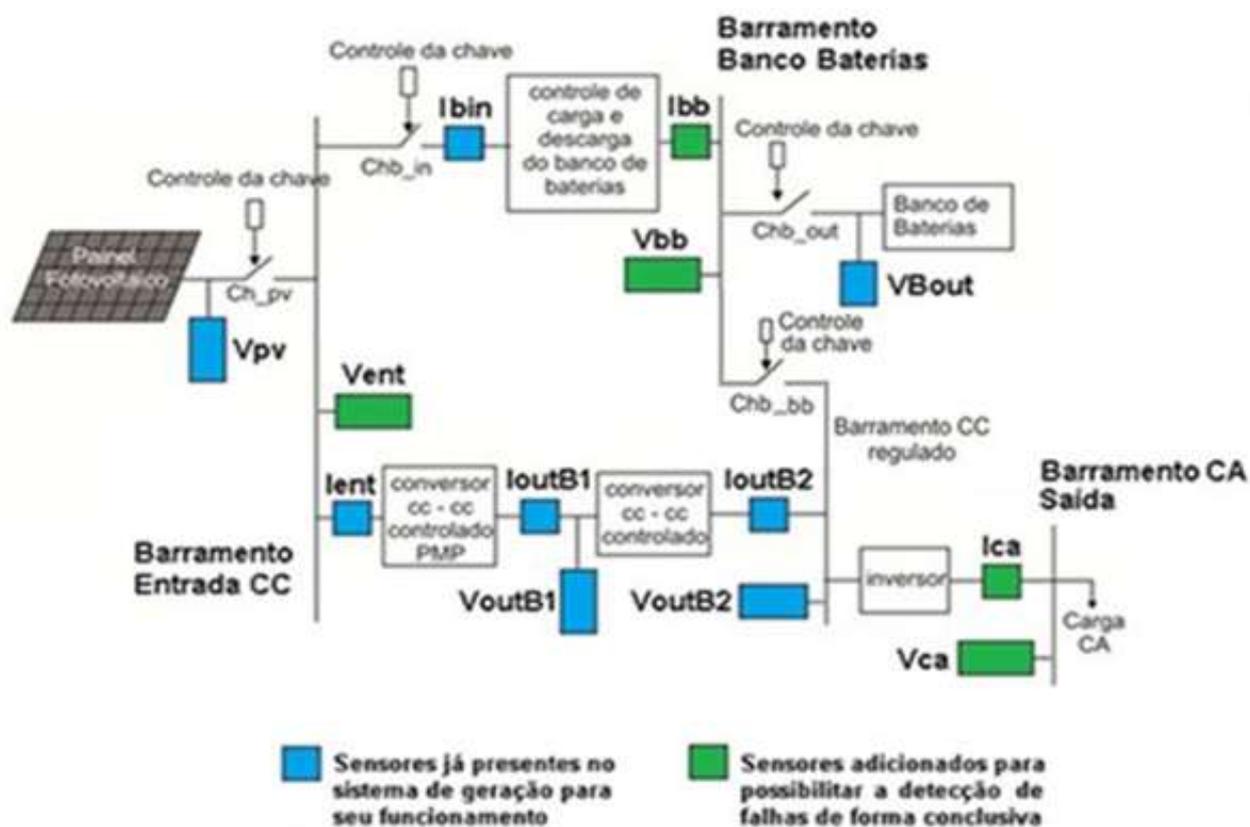
PHP (Hypertext Preprocessor) é uma linguagem de programação utilizada para desenvolver aplicações capazes de gerar conteúdo dinâmico na World Wide Web.

3 RESULTADOS

3.1 ARRANJO DA GERAÇÃO E PONTOS DE MONITORAMENTO

Como já mencionado, este trabalho propõe a utilização de sensores nos pontos de interesse do sistema de geração fotovoltaica. Na figura 38 é mostrada a localização destes pontos chave, assim como as vias de interligação entre os sensores, o controle e a antena.

Figura 38. Diagrama do Sistema PV, com pontos de interesse



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

Monitorando a tensão do painel solar, é analisado se o sistema está usando o banco de baterias quando ocorre diminuição da geração fotovoltaica, ou se o sistema retoma o carregamento de baterias e a alimentação das cargas quando o painel solar volta a gerar na tensão nominal.

Analisando a tensão do banco de baterias, pode-se verificar se o sistema está carregando as baterias na tensão projetada para que não haja corrente de carga elevada; ou mesmo se está desligando a alimentação das cargas após o banco de baterias ter descarregado no percentual projetado.

A partir da análise dos valores de corrente e tensão fornecidos às cargas, conclui-se sobre o funcionamento adequado do inversor CC-CA; ou se há sobrecarga no caso de aumento da corrente concomitante à redução da tensão. A tabela 1 apresenta os pontos de monitoração.

Tabela 1. Variáveis observadas e pontos de monitoração

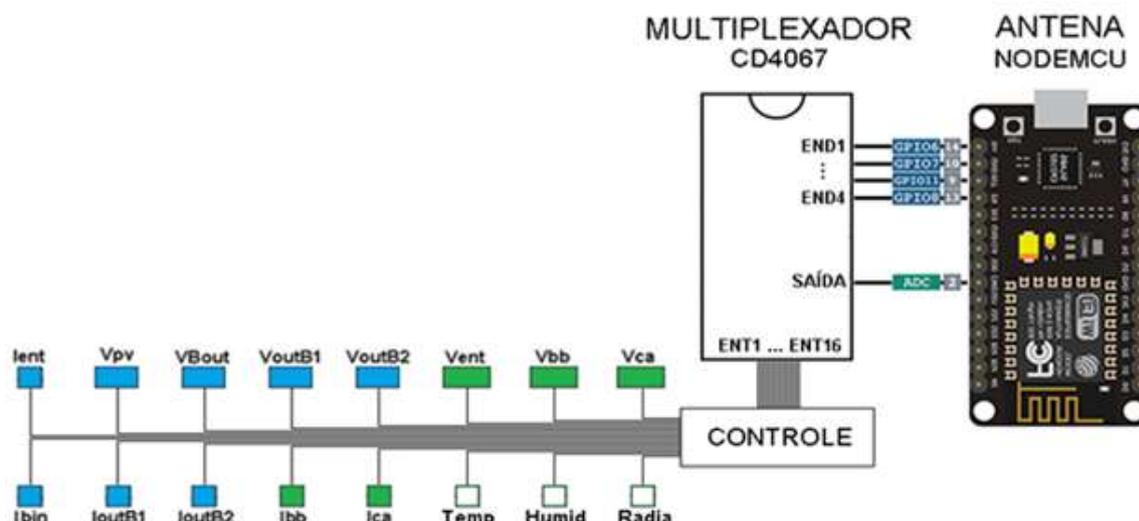
VARIÁVEL	MONITORAÇÃO
Ient	Corrente de entrada do Conversor PMP
Vpv	Tensão de saída do Painel Fotovoltaico
VBout	Tensão de saída do Banco de Baterias
VBoutB1	Tensão de entrada do Conversor CC - CC Controlado
VBoutB2	Tensão de saída do Conversor CC - CC Controlado
Vent	Tensão do Barramento de entrada CC
Vbb	Tensão do Barramento do Banco de Baterias
Vca	Tensão do Barramento de saída CA
Ibin	Corrente de entrada do Controle de Carga e Descarga de Baterias
IoutB1	Corrente de entrada do Conversor CC - CC Controlado
IoutB2	Corrente de saída do Conversor CC - CC Controlado
Ibb	Corrente de saída do Controle de Carga e Descarga de Baterias
Ica	Corrente de saída do Inversor
Temp	Temperatura no local do sistema fotovoltaico
Humid	Umidade no local do sistema fotovoltaico
Radia	Intensidade de radiação solar no local do sistema fotovoltaico

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

A existência de apenas um conversor analógico digital no NodeMCU requer a utilização de um multiplexador. Assim é possível a aquisição de cada um dos 16 sinais de interesse no sistema fotovoltaico. O multiplexador CD4067 de 16 canais foi escolhido pela alta disponibilidade no mercado e por utilizar tecnologia CMOS, com alta impedância em seus pinos, mitigando interferências nos sinais provenientes dos sensores. Para cada leitura do ADC, o programa no microcontrolador escreve uma palavra de 4 bits nas entradas de endereçamento do multiplexador, que conecta a entrada correspondente à saída.

Na figura 39 tem-se o diagrama de blocos da interligação da antena, multiplexador, sensores e controle, que realiza o envio das variáveis da planta que são: sete valores de tensão, seis valores de corrente, 1 valor de temperatura, 1 valor de umidade e 1 valor de radiação solar.

Figura 39. Diagrama da aquisição: antena, multiplexador, controle e sensores



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

O microcontrolador escreve uma palavra de 4 bits (END1 ... END4) nas entradas de endereçamento do mux que, por sua vez, seleciona o canal de entrada correspondente (ENT1 ...ENT16). A conversão analógico digital do canal selecionado é realizada pelo microcontrolador. O ciclo se repete até que todos as 16 variáveis sejam medidas. A tabela 2 demonstra o funcionamento da seleção de canal.

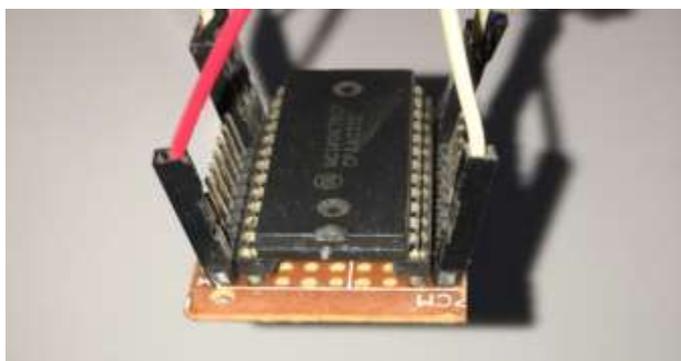
Tabela 2. Seleção de canal no multiplexador

END1	END2	END3	END4	SELECTED CHANNEL
0	0	0	0	1
1	0	0	0	2
0	1	0	0	3
1	1	0	0	4
0	0	1	0	5
1	0	1	0	6
0	1	1	0	7
1	1	1	0	8
0	0	0	1	9
1	0	0	1	10
0	1	0	1	11
1	1	0	1	12
0	0	1	1	13
1	0	1	1	14
0	1	1	1	15
1	1	1	1	16

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

Percebeu-se necessária a organização dos cabos de interligação entre antena, multiplexador e sensores. Na figura 40 é apresentada a placa de circuito impresso desenvolvida e implementada para conexão desses dispositivos.

Figura 40. Placa de interligação entre antena, multiplexador e sensores

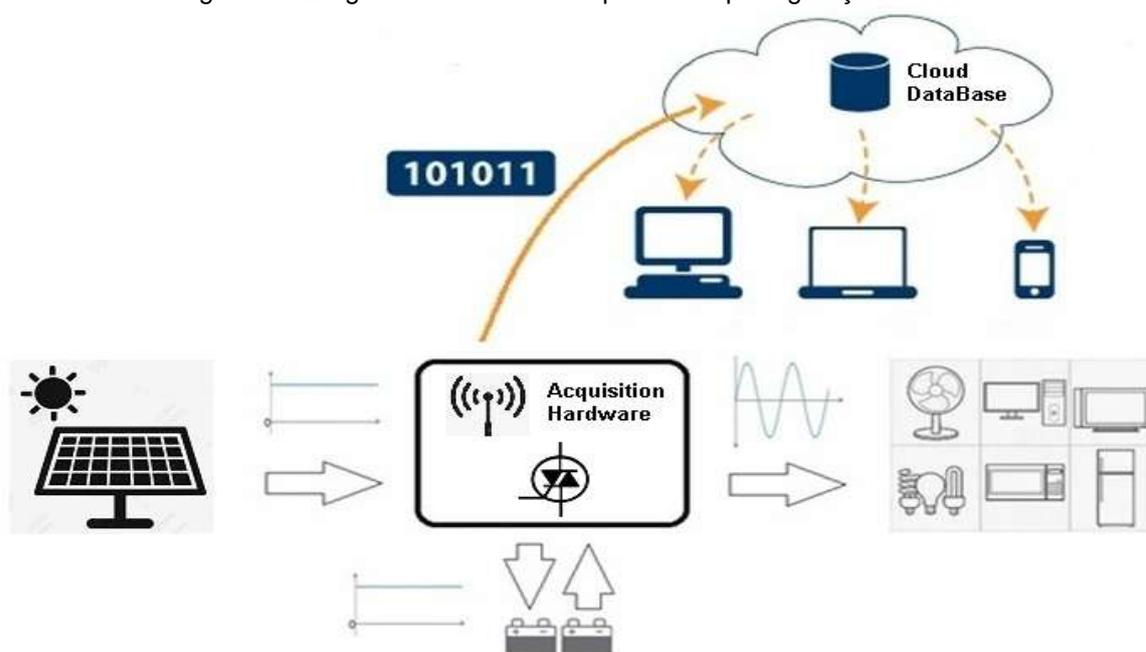


Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

3.2 SISTEMA SUPERVISÓRIO DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

A Internet das Coisas (IoT) é a base da Indústria 4.0 e pode ser vista como uma infraestrutura global de informações conectada à rede mundial de computadores para trocar informações entre pessoas e “coisas” e somente entre “coisas”. O sistema supervisório deste trabalho emprega na IoT: Transmissão de informação, Processamento na Nuvem, Banco de Dados na Nuvem e Monitoração pelo usuário através de dispositivo conectado à internet. Isto é ilustrado na figura 41.

Figura 41. Diagrama do Sistema Supervisório para geração fotovoltaica



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

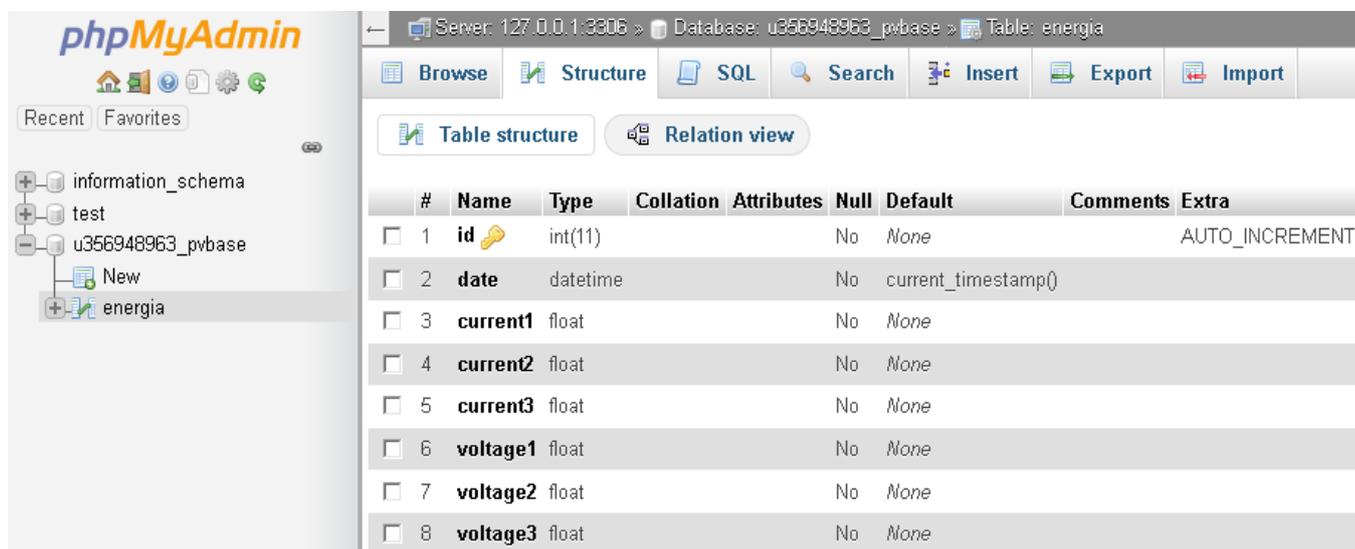
É realizada a aquisição de dados em pontos interessantes do sistema fotovoltaico. Esses dados são enviados a um Banco de Dados em Nuvem através de rede sem fio. Os clientes obtêm as informações acessando uma página web, que recupera os registros do banco de dados de forma periódica e automática.

3.3 BANCO DE DADOS

No contexto de armazenamento, processamento e recuperação de dados de forma digital e automatizada, os Bancos de Dados em Nuvem proporcionam rapidez, acesso a qualquer momento e de qualquer lugar, ampla capacidade e escassez de falha humana, sendo cada vez mais utilizados (Balachandran; Prasad, 2017).

Neste trabalho é desenvolvido um Banco de Dados em Nuvem configurado em servidor SQL. A escolha do SQL deve-se pela disponibilização de plataforma de gerenciamento e pela compatibilidade com a linguagem de programação PHP. As figuras 42 e 43 apresentam, respectivamente, o modo estrutura e o modo registro desenvolvido no SQL.

Figura 42. Banco de Dados - Modo estrutura



#	Name	Type	Collation	Attributes	Null	Default	Comments	Extra
<input type="checkbox"/>	1	id		int(11)	No	None		AUTO_INCREMENT
<input type="checkbox"/>	2	date		datetime	No	current_timestamp()		
<input type="checkbox"/>	3	current1		float	No	None		
<input type="checkbox"/>	4	current2		float	No	None		
<input type="checkbox"/>	5	current3		float	No	None		
<input type="checkbox"/>	6	voltage1		float	No	None		
<input type="checkbox"/>	7	voltage2		float	No	None		
<input type="checkbox"/>	8	voltage3		float	No	None		

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

As informações registradas no Banco de Dados, que refletem a situação do sistema fotovoltaico em tempo real, são exibidas de forma organizada ao cliente por uma página web acessível de qualquer lugar, a qualquer momento.

Figura 43. Banco de Dados - Modo registro

Showing rows 0 - 2 (3 total, Query took 0.0003 seconds.)

```
SELECT * FROM `energia`
```

Options: Show all | Number of rows: 25 | Filter rows: Search this table | Sort by key: None

	id	date	current1	current2	current3	voltage1	voltage2	voltage3
<input type="checkbox"/> Edit <input type="checkbox"/> Copy <input type="checkbox"/> Delete	1	2019-12-19 17:38:45	0	1	2	3	4	5
<input type="checkbox"/> Edit <input type="checkbox"/> Copy <input type="checkbox"/> Delete	2	2019-12-19 17:38:50	0	1	2	3	4	5
<input type="checkbox"/> Edit <input type="checkbox"/> Copy <input type="checkbox"/> Delete	3	2019-12-19 17:38:56	3	4	5	6	7	8

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

É também disponibilizado um histórico com valores em instantes anteriores, o que permite análise da evolução dos cenários com vistas à detecção de falhas. Para escrita e leitura dos dados no Banco é utilizada a linguagem PHP e a atualização dessa página ocorre a cada 5 segundos, automaticamente. O supervisorio em Banco de Dados se mostrou estável com tempo mínimo de 1 segundo decorrido entre cada escrita, em link de internet com 16.6 Mbps de velocidade de *download*, 10.3 Mbps de velocidade de *upload* e 67 ms de latência. Esta página web é mostrada na figura 44.

Figura 44. Página web do Banco de Dados acessada pelo cliente

DATA / HORA	CORRENTE 1 (A)	CORRENTE 2 (A)	CORRENTE 3 (A)	TENSÃO 1 (V)	TENSÃO 2 (V)	TENSÃO 3 (V)
2020-09-21 23:06:33	20	21	22	127	128	129
2020-09-21 23:06:33	20	21	22	127	128	129
2020-09-21 23:06:33	20	21	22	127	128	129
2020-09-21 23:06:33	20	21	22	127	128	129
2020-09-21 23:06:33	20	21	22	127	128	129
2020-09-21 23:06:33	20	21	22	127	128	129
2020-09-21 23:06:33	20	21	22	127	128	129

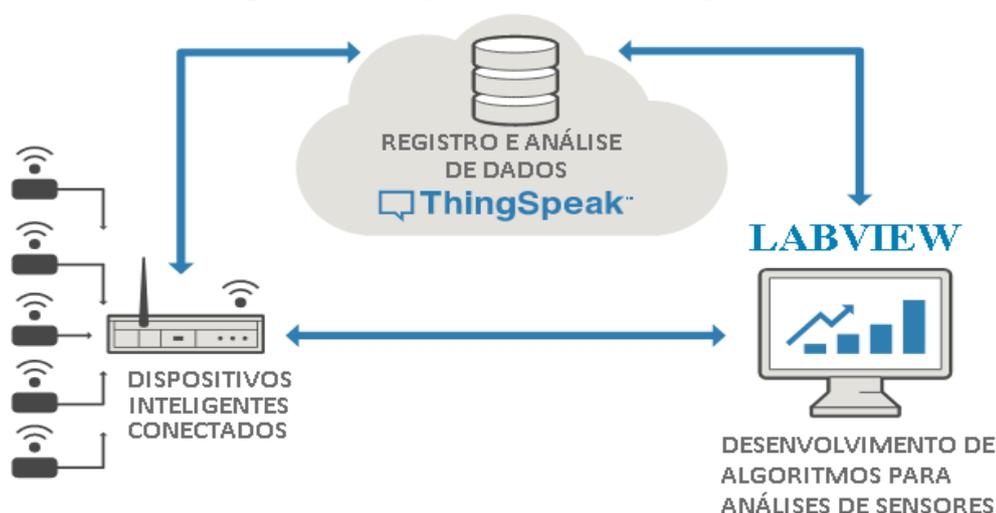
Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

3.4 MONITORAÇÃO PELO USUÁRIO NA PLATAFORMA THINGSPEAK

Nos dias atuais observa-se um número elevado de dispositivos inteligentes que geram e trocam dados, no cenário de IOT (Internet of Things), onde cada vez mais são utilizados Banco de Dados. BDA (Big Data Analytics) refere-se ao processo de coletar, gerenciar, processar, analisar e visualizar dados em constante evolução em termos de volume, velocidade, valor, variedade e veracidade (Rehman; Yaqoob; Salah; Imran; Jayaraman; Perera, 2019).

Essencialmente, a interação Máquina para Máquina permite que dispositivos em rede troquem dados e realizem ações sem a ajuda ou assistência de humanos, por exemplo em monitoramento remoto. Os dados são carregados em uma rede, comumente referida como “a nuvem”, de servidores conectados onde funcionam as aplicações. A plataforma ThingSpeak constitui-se em uma aplicação que fornece recursos de comunicação simples para objetos dentro da IoT (Maureira; Oldenhof; Teernstra, 2014). Escolheu-se esta plataforma pela disponibilização de infraestrutura de TI em nuvem e simplicidade dos mecanismos de invocação. A figura 45 mostra a aplicação plataforma ThingSpeak neste trabalho.

Figura 45. Aplicação da Plataforma Thingspeak

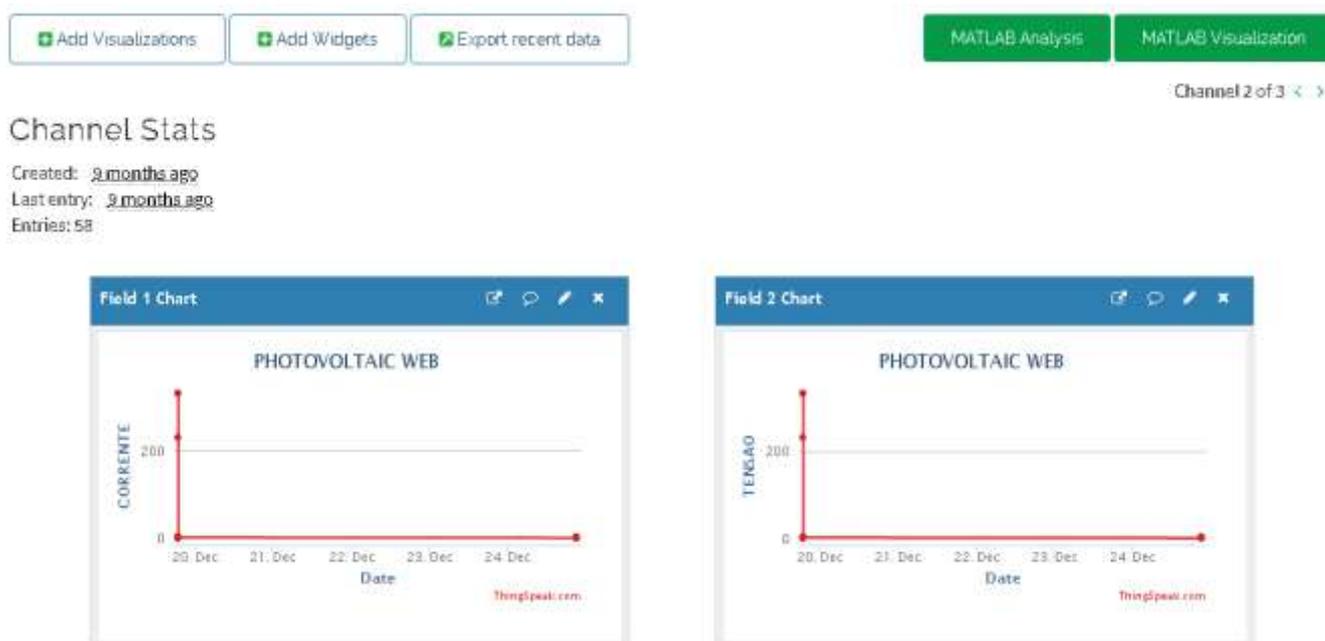


Fonte: www.fossguru.com/iot-platform-best-iot-platforms-for-internet-of-things-framework, 22/07/2021

Os dados recebidos pela plataforma ThingSpeak são armazenados e ficam à disposição para recuperação pelo cliente. É possível descarregar os dados em três formatos, Json, XML, ou CSV, utilizando um navegador conectado à internet, através de requisição HTTP GET do tipo <https://api.thingspeak.com/channels/feeds>.

Também é disponibilizada uma página HTML onde são plotados gráficos com os dados em função do tempo, com escala, forma e aparência editáveis pelo usuário, tornando possível a análise da evolução das variáveis na planta. A figura 46 mostra esta interface.

Figura 46. Página web do ThingSpeak acessada pelo cliente



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

O supervisor plataforma ThingSpeak se mostrou estável com tempo mínimo de 15 segundos decorrido entre cada escrita, que é o tempo exigido pela plataforma, também em link de internet com 16.6 Mbps de velocidade de *download*, 10.3 Mbps de velocidade de *upload* e 67 ms de latência.

Além desta forma de monitoração à distância, o usuário pode visualizar as variáveis monitoradas no sistema através do Software Labview, como descrito posteriormente.

3.5 PROGRAMA DO MICROCONTROLADOR - ENVIO DOS DADOS

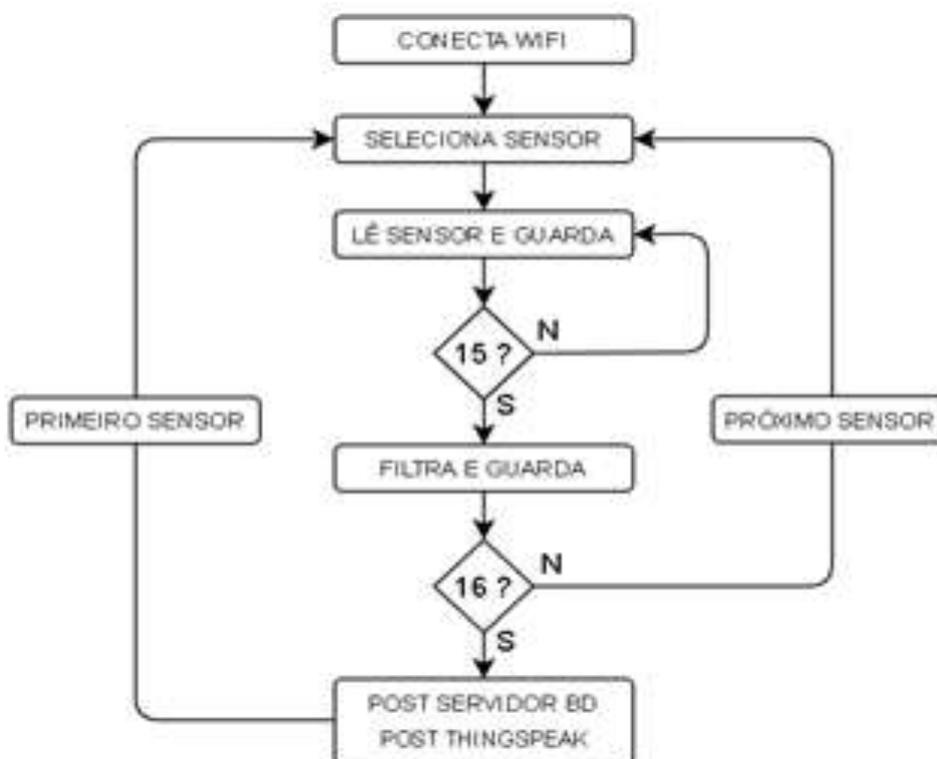
O microcontrolador executa, num primeiro momento, 15 leituras do mesmo sensor no sistema fotovoltaico. Em seguida organiza esse vetor de 15 elementos em ordem crescente, usando o método bolha (organização de valores de vetores em ordem crescente ou decrescente) e, por fim, calcula a média aritmética dos 5 elementos centrais, descartando valores muito menores e muito maiores, como um

filtro. Esse ciclo é repetido até que todos as 16 variáveis do sistema de geração tenham sido medidas.

Num segundo momento, o microcontrolador envia os dados obtidos realizando 2 requisições HTTP com método post (que carrega as informações da requisição de forma oculta) na World Wide Web apontando para: 1) a página PHP que recebe os dados e os registra no Banco de Dados. 2) ao servidor ThingSpeak.

A figura 47 mostra o fluxograma do algoritmo executado pelo microcontrolador. Os programas completos estão nos Anexos 1 e 2.

Figura 47. Fluxograma de aquisição e envio dos dados



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

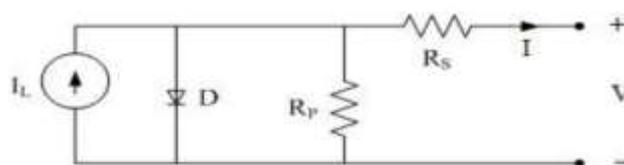
3.6 SIMULAÇÕES

Nesta seção é apresentada a simulação do sistema de geração fotovoltaica realizada na ferramenta Simulink, parte integrante do software Matlab. Os módulos do sistema mostrados na figura 1.8 são simulados de forma isolada a partir de modelos matemáticos e blocos no Simulink. Com a interligação estes módulos operam de forma interdependente, em que observa-se a influência de variáveis em outras, com uma compreensão abrangente do funcionamento do sistema.

3.6.1 PAINEL SOLAR

O circuito equivalente de uma célula fotovoltaica é mostrado na figura 48. O diodo representa a participação da junção pn no escuro, R_s a resistência em série e R_p resistência em paralelo. (Pinho; Gaudino, 2014).

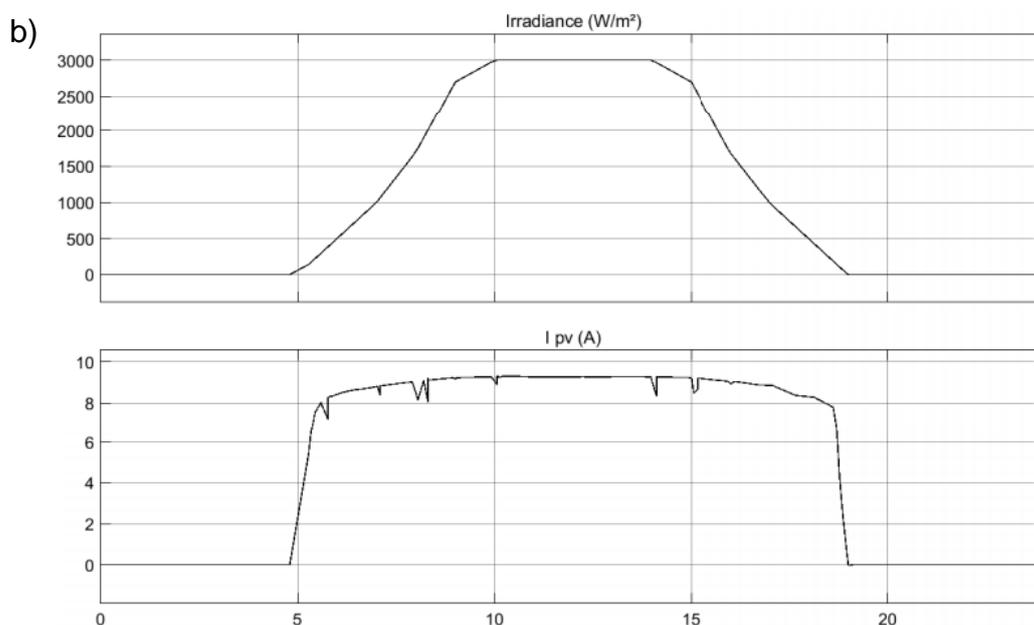
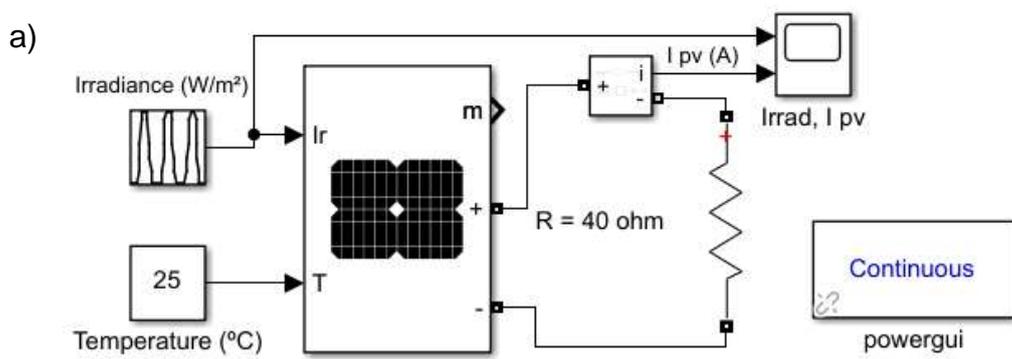
Figura 48. Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica



Fonte: PINHO; GAUDINO, 2014

No Simulink, opta-se pela simulação do módulo fotovoltaico utilizando o bloco PV, com circuito mostrado na figura 49(a) e gráficos de irradiância e corrente em 24 horas na figura 49(b).

Figura 49. Simulação do Painel Solar, de forma isolada

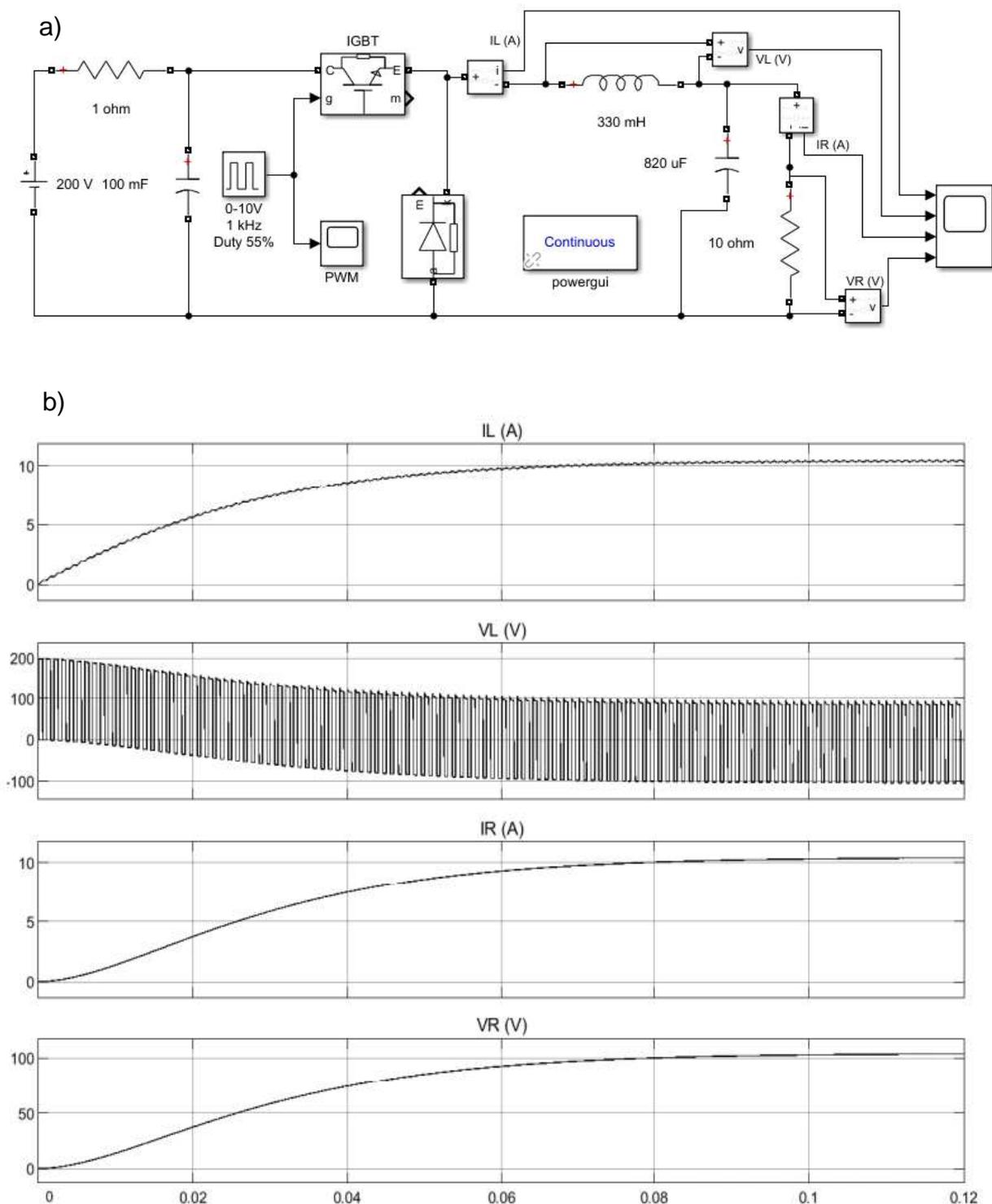


Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

3.6.2 CONVERSORES

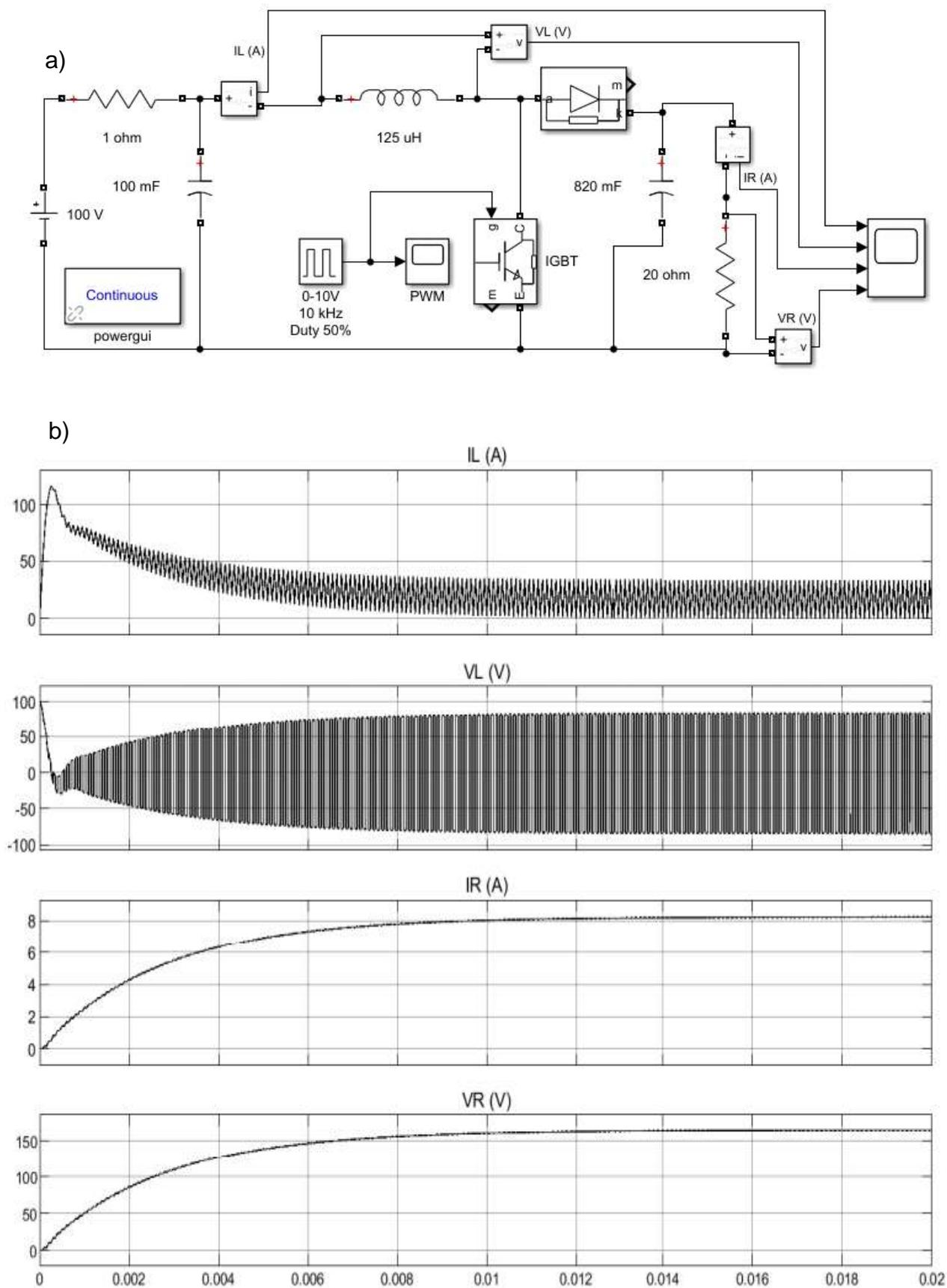
De acordo com os esquemas dos conversores do sistema fotovoltaico mostrados na figura 6, simula-se o conversor CC-CC Buck, o conversor CC-CC Boost e o conversor CC-CA, como apresentado nas figuras 50, 51 e 52.

Figura 50. Simulação do Conversor CC-CC Buck, de forma isolada



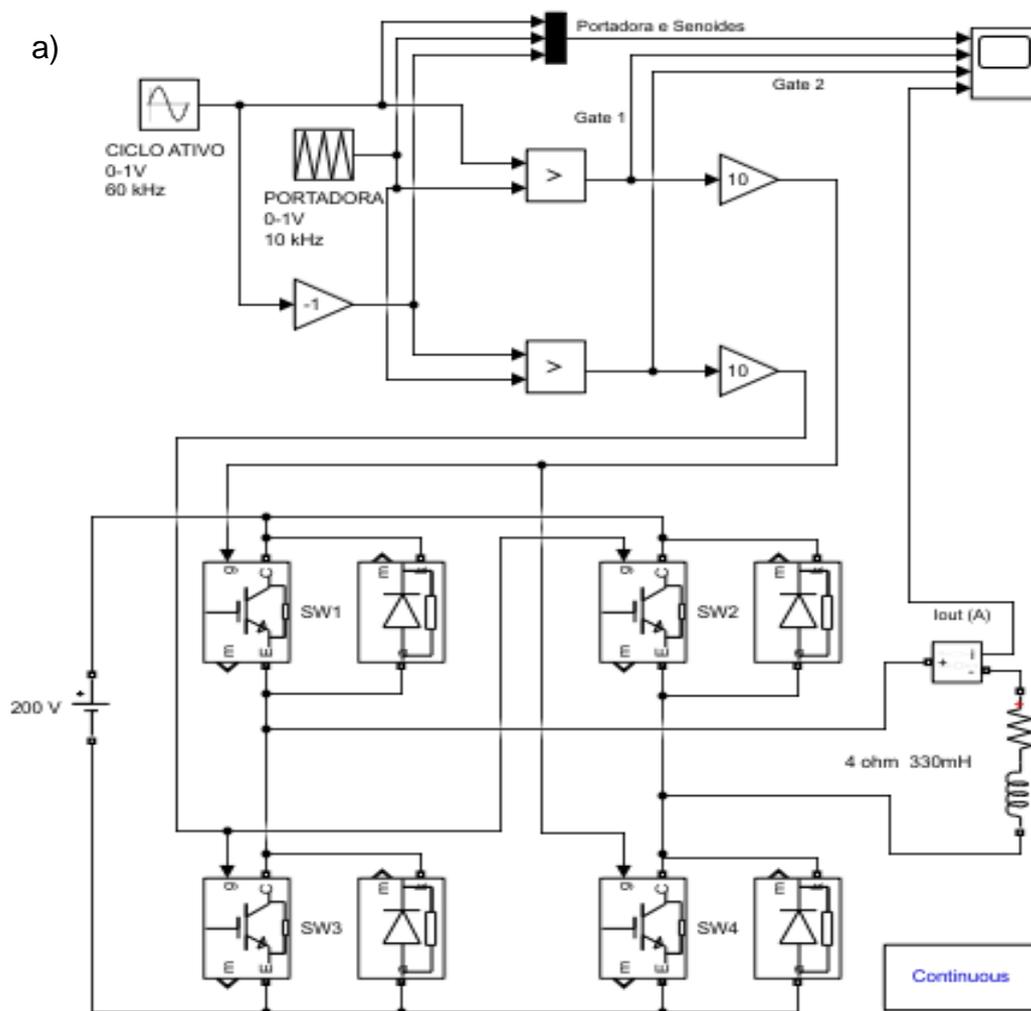
Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

Figura 51. Simulação do Conversor CC-CC Boost, de forma isolada

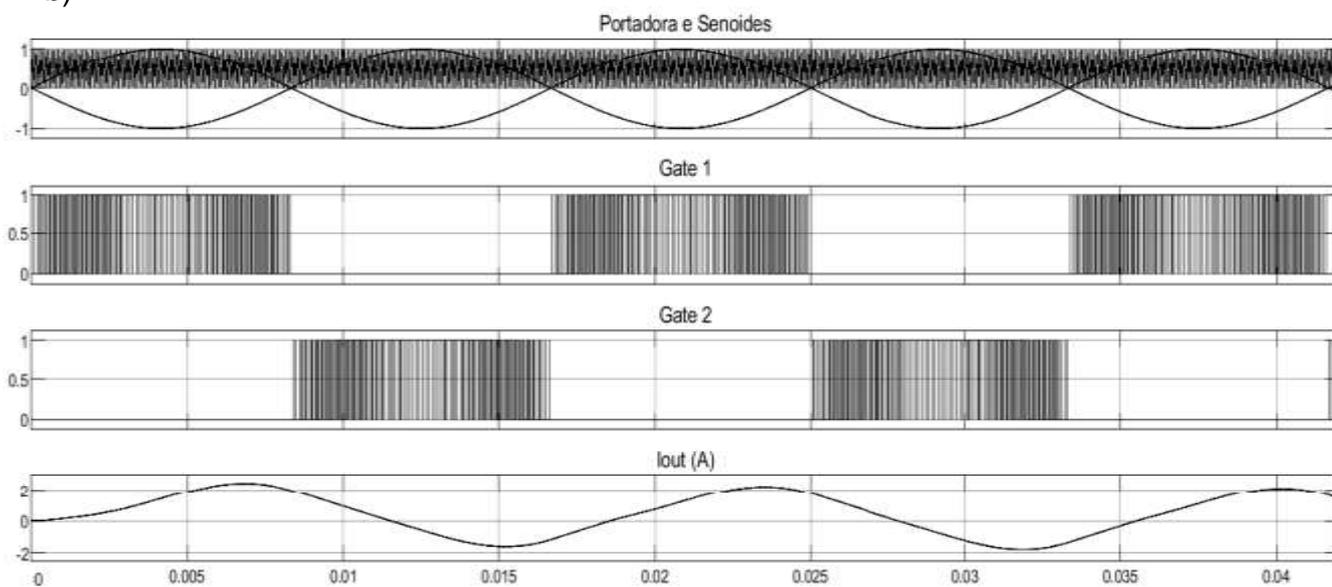


Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

Figura 52. Simulação do Conversor CC-CA, de forma isolada



b)

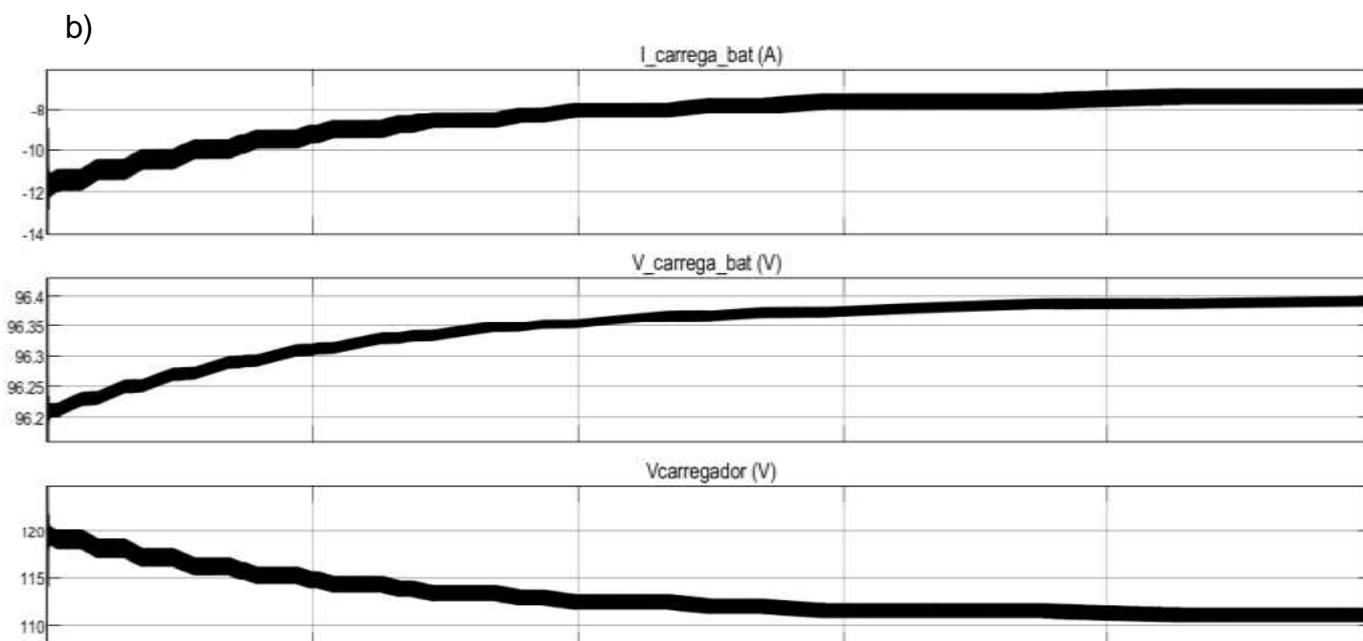
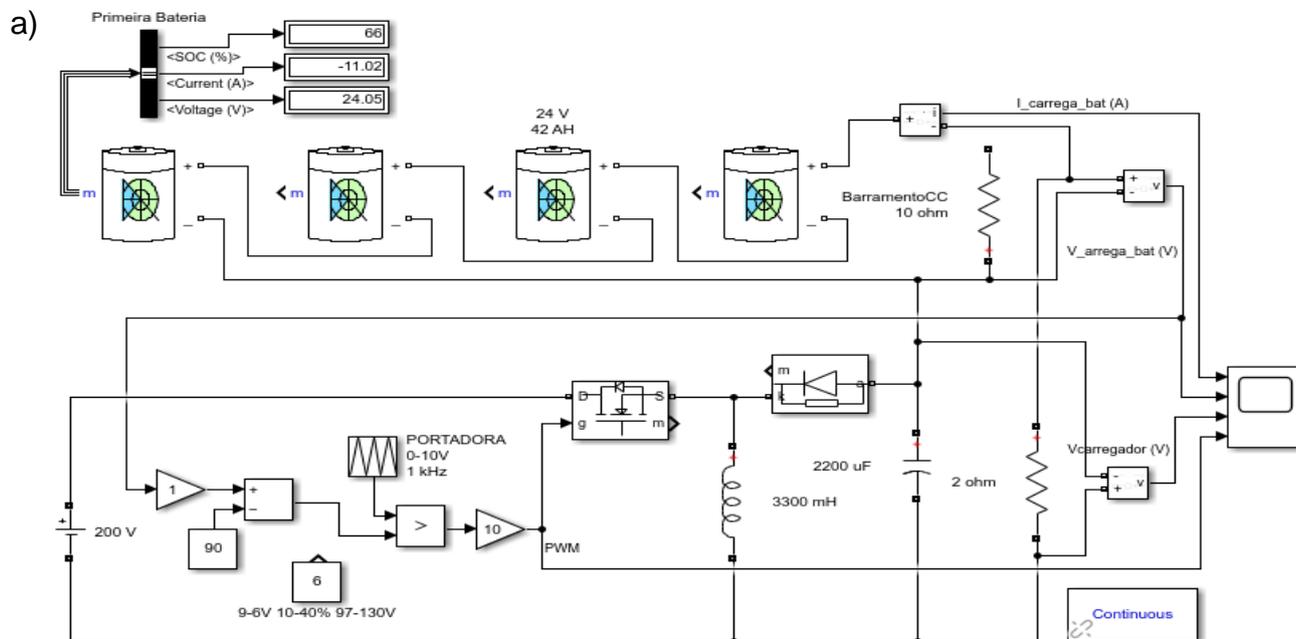


Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

3.6.3 BANCO DE BATERIAS E CARREGADOR BUCK-BOOST

A simulação do banco de baterias e do carregador é mostrada na figura 53.

Figura 53. Simulação do Banco de Baterias e Carregador, de forma isolada



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

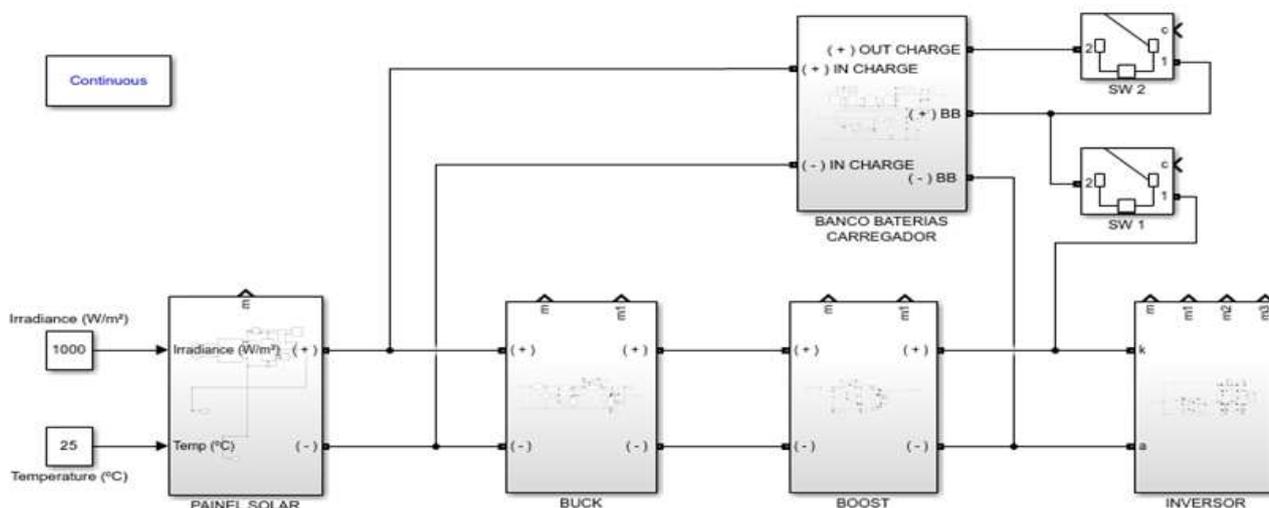
As baterias são carregadas num processo automático que diminui a corrente de carregamento à medida que a carga nas baterias aumenta. Para isto, o sinal PWM aplicado no *gate* é obtido pela comparação entre uma onda triangular e o nível

CC do banco de baterias, que impacta o *duty cycle*. A taxa de redução da tensão de saída do carregador em função do aumento da carga nas baterias, é ajustada pelas constantes dos blocos conectados ao *gate* da chave. Por outro lado, quando a geração fotovoltaica é insuficiente para o funcionamento do sistema, o Inversor é conectado ao banco de baterias, mantendo o sistema funcionando, descarregando as baterias.

3.6.4 INTERLIGAÇÃO DOS MÓDULOS

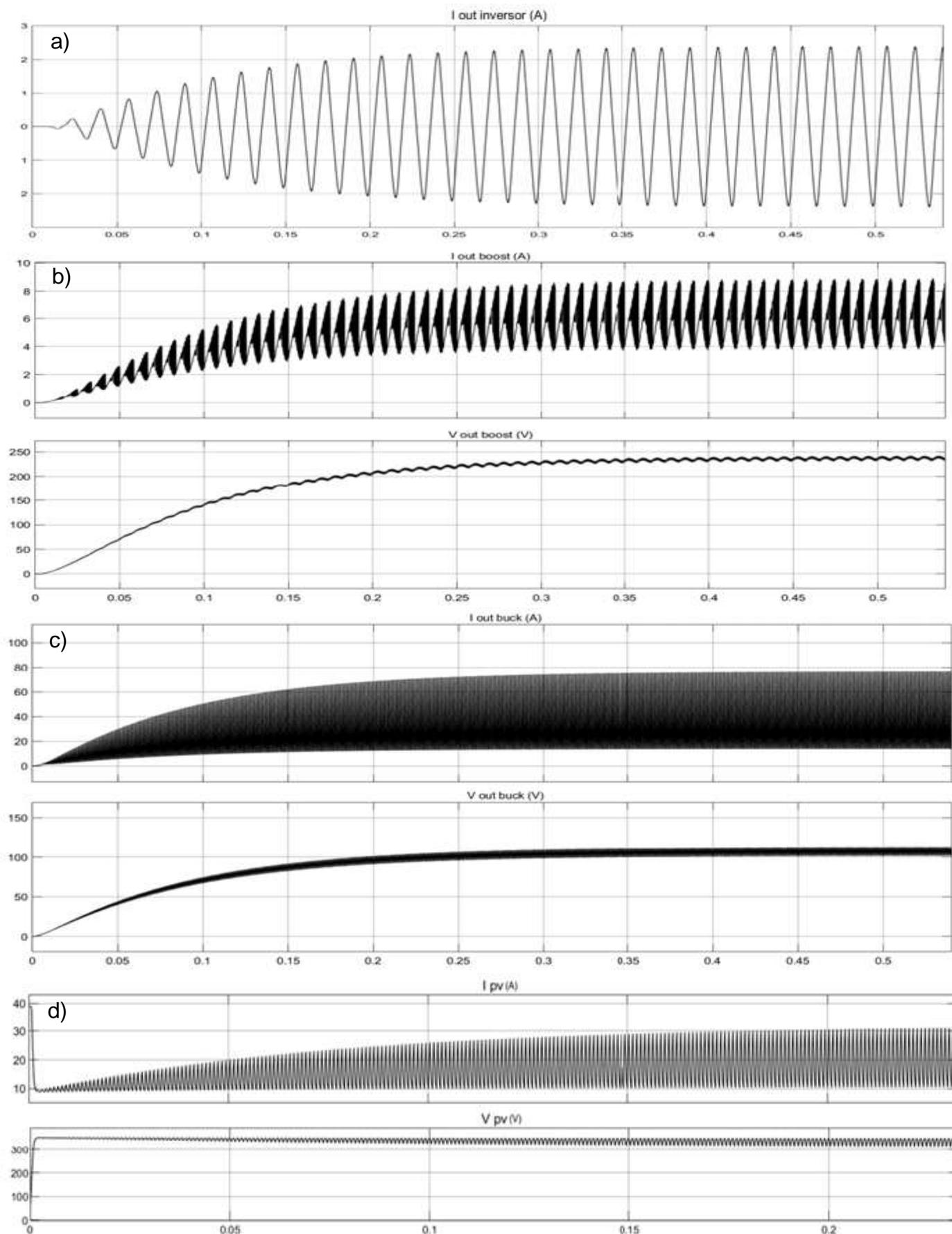
Interligando os módulos, obtém-se a simulação do sistema de geração fotovoltaico completo, com circuito mostrado na figura 54 e gráficos de corrente de saída do inversor na figura 55(a), corrente e tensão saída do conversor *boost* na figura 55(b), corrente e tensão saída do conversor *buck* na figura 55(c), corrente e tensão saída do painel solar na figura 55(d). Pode-se observar que uma redução da irradiação solar causa uma diminuição da tensão no Barramento CC, o que torna necessário um aumento no *duty cycle* do Conversor *Buck* para que a tensão de entrada no conversor *Boost* seja mantida. Mesmo com valores nominais de irradiação solar, um aumento da temperatura no Painel Solar também causa redução da tensão nos seus terminais. Por outro lado, uma redução na carga alimentada pelo inversor causa um aumento na tensão de saída do Conversor *Boost*, tornando necessário uma diminuição no *duty cycle* do Conversor *Boost* para que a tensão de entrada no inversor permaneça. Um aumento da carga no inversor diminui a tensão de saída do Conversor *Boost* e requer o aumento no seu *duty cycle*.

Figura 54. Simulação do Sistema de Geração Fotovoltaica completo - circuito



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

Figura 55. Simulação do Sistema de Geração Fotovoltaica completo - sinais



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

A partir da análise destas variáveis disponibilizadas no supervisor é possível determinar se no sistema há falhas, onde e de que tipo de falha trata-se. Por exemplo, uma diminuição no valor da tensão do Barramento CC, pode estar associada à passagem de uma nuvem, a uma falha temporária, como sujeira acumulada que sairá com a chuva, ou mesmo a uma falha permanente, como painéis danificados ou mal contato em terminais, dependendo do tempo em que ocorre esta diminuição de tensão.

Por outro lado, acompanhando-se o tempo em o sistema funciona alimentado pelas baterias na ausência de geração solar, pode-se avaliar a capacidade de armazenamento de carga das baterias.

Analisando-se correntes e tensões na entrada e saída do inversor, é possível detectar aumento na carga para evitar sobrecarga, aquecimento no sistema, diminuição da vida útil dos módulos e falhas permanentes.

3.6.5 COMUNICAÇÃO LABVIEW E PLATAFORMA THINGSPEAK

Este capítulo apresenta os projetos e resultados de simulações do Supervisor a partir de sinais gerados (para emular sinais da geração), processados e visualizados pelo Software Labview. Largamente utilizado pela comunidade científica, o Labview constitui-se em uma relevante ferramenta computacional para análise de sinais, possui um conjunto abrangente de módulos para desenvolvimento de aplicações de medição ou controle e oferece programação em blocos com interação entre diversos tipos de softwares e plataformas (<http://brasil.ni.com>). Para o estudo da dinâmica de sistemas fotovoltaicos neste software são utilizados modelos que simulam os sinais de um sistema real. A utilização do Labview neste trabalho possibilita a análise de desempenho do sistema supervisor para sistemas simulados, com aplicação de ampla variedade de falhas.

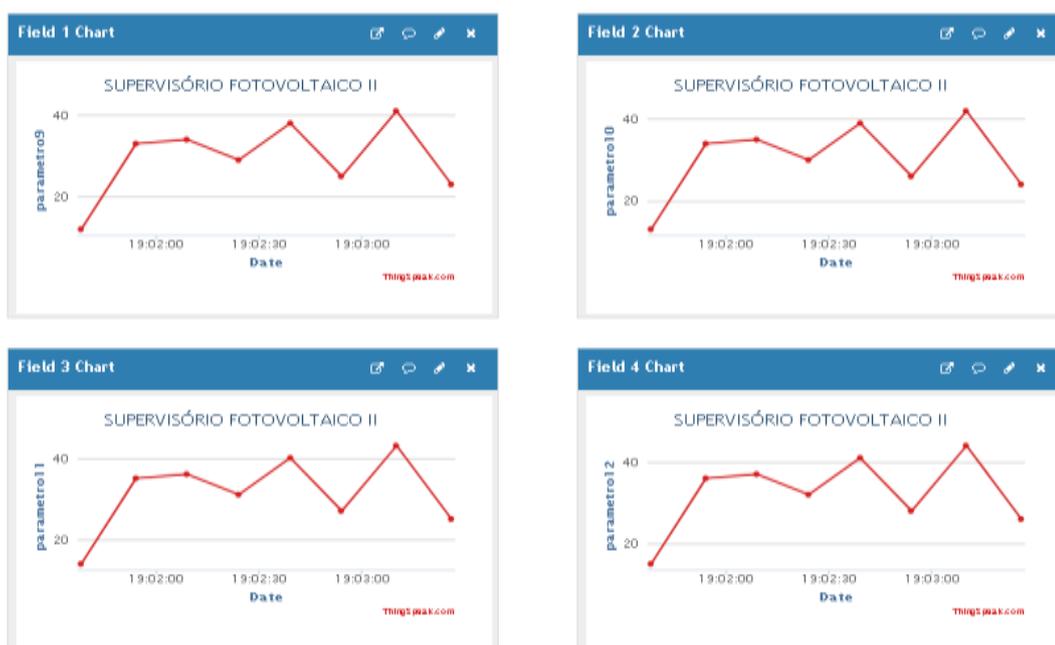
Em capítulos anteriores foi apresentado que o microcontrolador realiza a aquisição dos dados do sistema fotovoltaico e, em seguida, os envia ao Banco de Dados SQL e ao servidor ThingSpeak. Obtém-se esses dados em tempo real utilizando o Software Labview.

No servidor ThingSpeak configura-se 2 canais com 8 variáveis cada. O primeiro módulo GET retorna as 8 variáveis do primeiro canal e, por sua vez, o

segundo módulo GET retorna as 8 variáveis do segundo canal, para tratamento das 16 variáveis coletadas do sistema fotovoltaico no Software Labview.

Além de exibidos no Labview, os dados também podem ser visualizados na plataforma ThingSpeak. Nela é possível configurar a quantidade de amostras, escalas, formatos e aparências, de modo a proporcionar melhor entendimento da situação atual do sistema, como pode-se observar na figura 56.

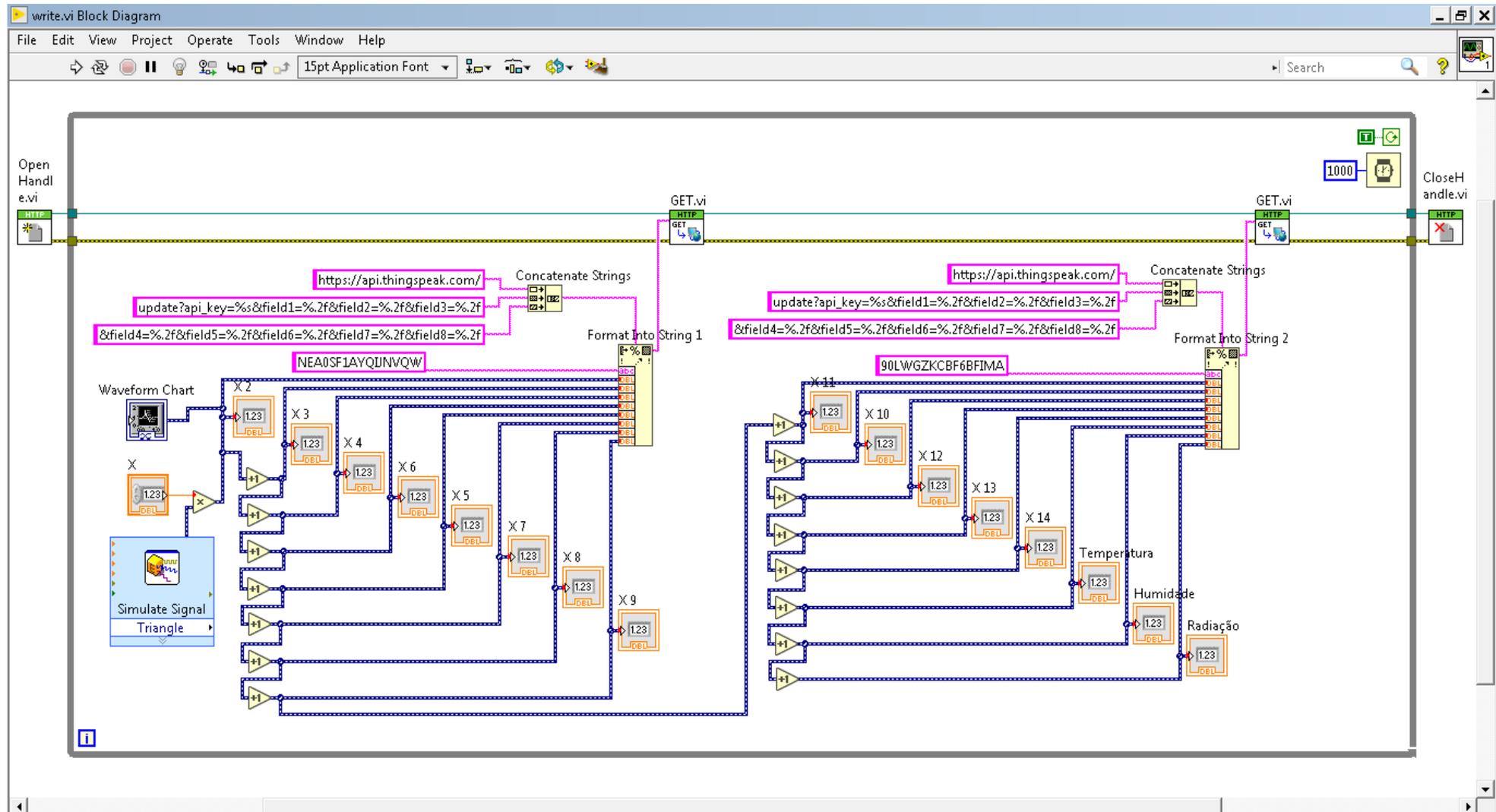
Figura 56. Dados enviados exibidos na plataforma Thingspeak



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

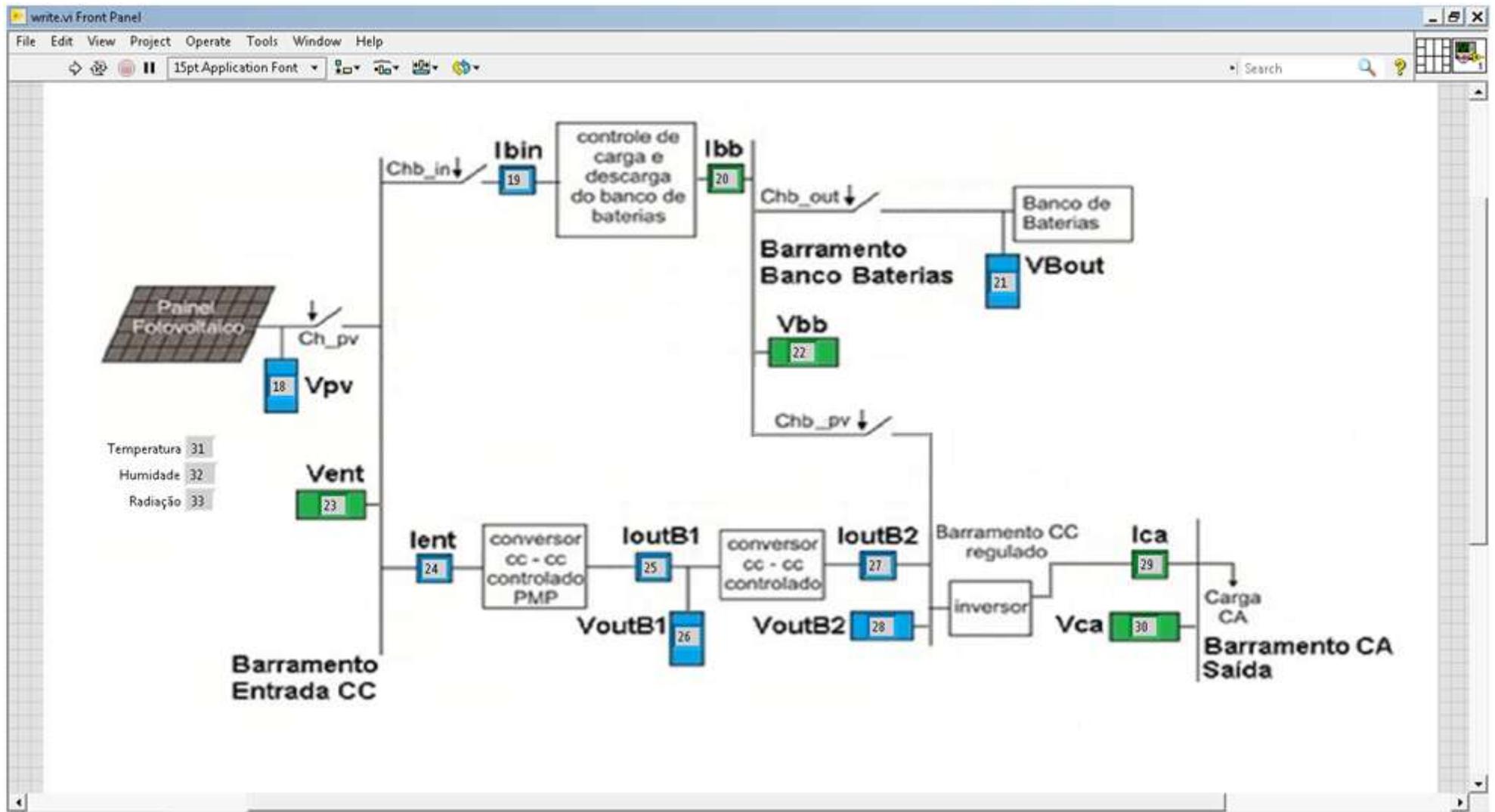
Programa-se o Labview para enviar os dados simulados diretamente ao servidor ThingSpeak, sem uso do microcontrolador. Também usa-se blocos de abertura e fechamento de conexões HTTP e blocos de requisição GET, dentro de um loop para execução repetida após um intervalo de tempo configurável de 1 segundo, como ilustrado na figura 57. O módulo GET realiza a requisição HTTP usando o link na sua entrada, que é gerado por módulos de concatenação e formatação de strings, contendo o endereço do servidor Thingspeak e os dados a serem enviados. Os dados simulados visam reproduzir uma oscilação controlada e são extraídos de uma onda triangular com valor máximo 7 e valor mínimo 3 e frequência 0,3 Hz. Há um multiplicador ajustável durante a execução, que permite variar a amplitude dos sinais. Para cada variável é somado 1 unidade, para auxiliar na individualização. Os dados são exibidos por indicadores em pontos do diagrama ilustrativo do sistema, como mostrado na figura 58.

Figura 57. Diagrama de Blocos no Labview - escrita



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

Figura 58. Painel Frontal no Labview - escrita



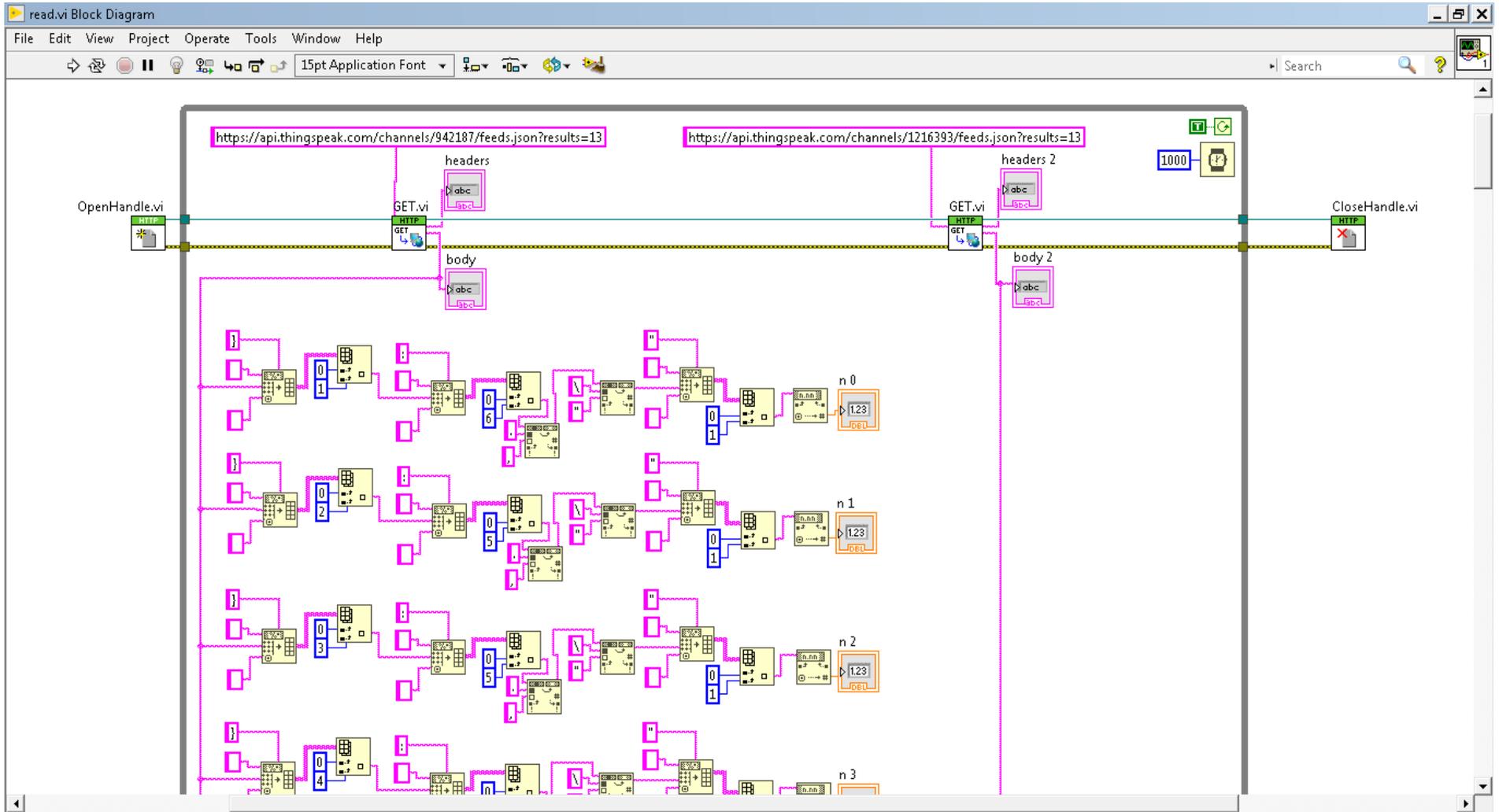
Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

Para tornar operacional a leitura dos dados com a plataforma ThingSpeak, usa-se, no Software Labview, blocos de abertura e fechamento de conexões HTTP e blocos de requisição GET, dentro de um loop para execução repetida após um intervalo de tempo configurável de 1 segundo, como ilustrado na figura 59.

O módulo GET realiza a requisição HTTP usando o link na sua entrada e disponibiliza a resposta em 2 saídas: cabeçalho e corpo. As variáveis oriundas do sistema de geração fotovoltaico, como tensão na saída do painel solar, corrente na entrada do carregador de baterias, corrente na saída do inversor, temperatura ambiente, umidade relativa do ar, entre outros, gravados no servidor ThingSpeak, são obtidos a partir da saída corpo (do módulo de requisição GET). Utilizando módulos de manipulação de string, identifica-se a posição de cada uma das 16 variáveis e os extrai-se de forma individualizada, para serem plotados em tempo real por gráficos localizados em um diagrama ilustrativo do sistema, como mostrado na figura 60.

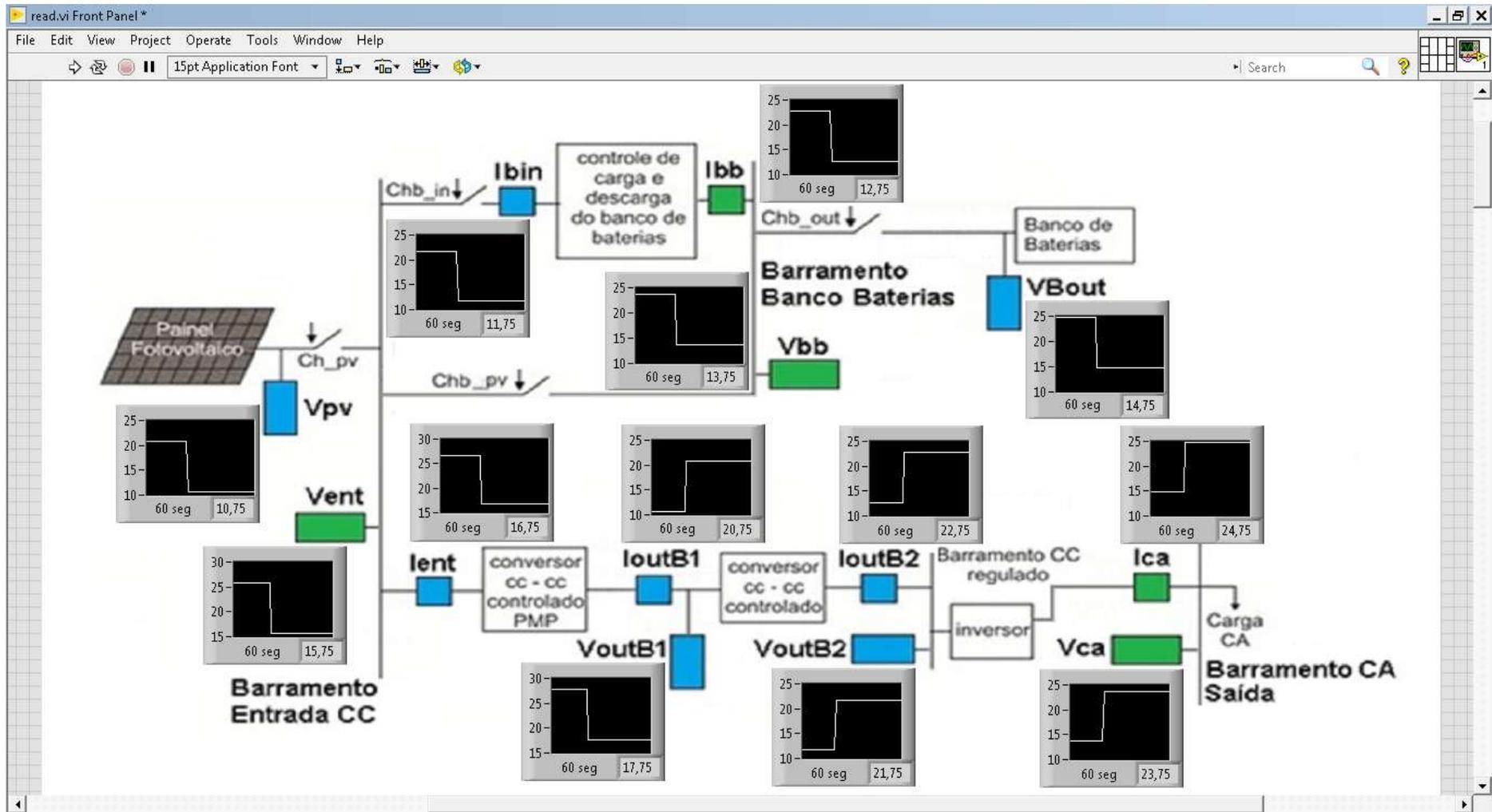
Dessa forma busca-se entregar os dados ao operador de forma inteligível, para otimizar o processo de leitura e compreensão dos valores presentes no sistema, assim como de interpretação dos significados. Caso haja necessidade de análise do histórico das variáveis com mais abrangência e detalhamento do que é exposto pelos gráficos, pode ser realizado download de uma tabela com todos os dados enviados.

Figura 59. Diagrama de Blocos no Labview - leitura



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

Figura 60. Painel Frontal no Labview - leitura



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

3.6.6 COMUNICAÇÃO MICROCONTROLADOR X LABVIEW

O envio das variáveis do sistema de geração fotovoltaica simuladas por ferramentas computacionais ao Banco de Dados SQL e ao servidor ThingSpeak, foi realizado através do microcontrolador, pela interface de comunicação entre o microcontrolador e o Labview desenvolvida neste trabalho. Mesmo já tendo sido programado o envio utilizando-se somente o Labview, o emprego do microcontrolador possibilita análises de aspectos reais do sistema de aquisição, como Latência (tempo decorrido entre a transmissão e a recepção dos dados), QoS (qualidade do serviço de transmissão), disponibilidade do link de comunicação à internet, velocidade de processamento, entre outros. Esta comunicação ocorre através de porta serial, que permite o envio e o recebimento de dados à velocidade de 115.200 bits por segundo, através de um cabo USB para a ligação física entre o computador e o microcontrolador, como mostrado na figura 61.

Figura 61. Comunicação microcontrolador e software Labview



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

Na figura 62 é apresentado o Painel Frontal, camada mais externa do Labview, com as estruturas de interface com o usuário. Tem-se o selecionador de porta serial, o variador da frequência do sinal de controle com seu indicador de período e sinalizadores do atuador e dos dados enviados ao microcontrolador.

No Labview usa-se os módulos Visa Serial, Visa Write e Visa Close, que são módulos de entrada e saída, assim como uma função de temporização e um gerador de sinal periódico de controle. A figura 63 mostra a camada do Labview que gera e envia os dados ao Banco de Dados em Nuvem e à plataforma ThingSpeak.

Na aquisição de dados do sistema fotovoltaico real o microcontrolador lê os dados dos sensores. Já no sistema simulado o microcontrolador recebe os dados do

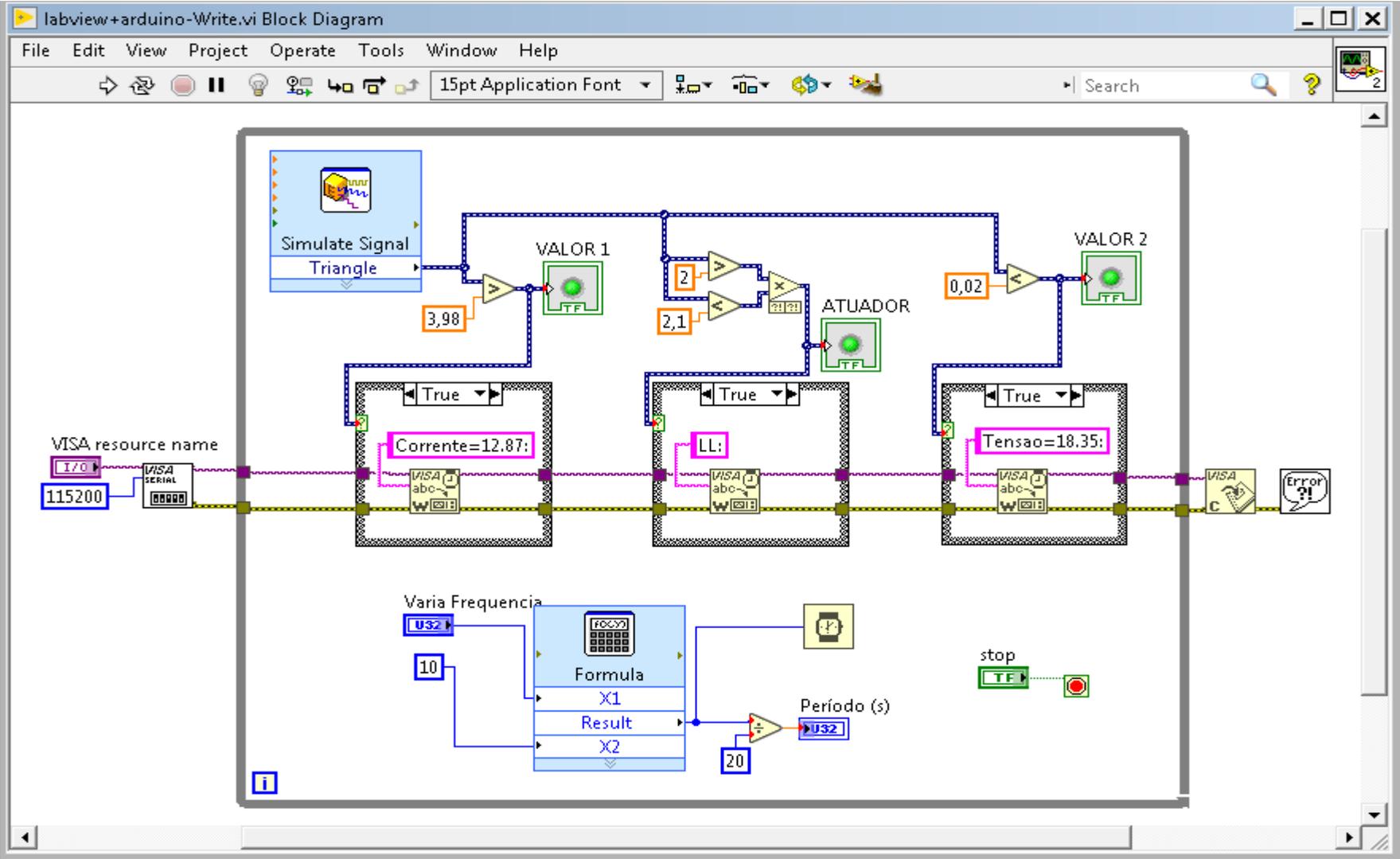
computador e os envia ao Banco de Dados em Nuvem e à interface criada na plataforma ThingSpeak.

Figura 62. Painel Frontal no software Labview



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

Figura 63. Diagrama de Blocos no software Labview



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

3.6.7 DISPLAY DE CRISTAL LÍQUIDO - LCD

A interação entre sistemas e usuários ou desenvolvedores comumente utiliza Displays de Cristal Líquido, que exibem os dados processados internamente nos circuitos microprocessados. Nesta etapa de simulação a depuração também conta localmente com um LCD interligado ao microcontrolador, como ilustrado na figura 64.

Figura 64. LCD incorporado ao microcontrolador



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

6 CONCLUSÃO

No decorrer do trabalho percebeu-se que o processo de leitura das variáveis de interesse foi conciliado de forma eficiente com o funcionamento de um sistema de geração fotovoltaico, viabilizando a monitoração pela internet (IoT). O trabalho foi desenvolvido com base na implementação de uma planta de geração fotovoltaica Off-Grid destinada a comunidades isoladas, com os mesmos parâmetros e variáveis do projeto que está sendo implementado, totalizando 16 variáveis, cujos dados são adquiridos através da seleção de canal em um multiplexador. Planejou-se que as especificações dos sensores definidas e apresentadas sejam observadas na implementação do sistema de geração. Foi desenvolvida e implementada neste trabalho, ainda, uma placa de circuito para auxiliar a interligação entre sensores, multiplexador e microcontrolador. O sistema supervisor foi desenvolvido com telas para atender os diversos modos de falha descritos no trabalho. Um modelo para simulação computacional da geração fotovoltaica foi desenvolvido com o objetivo de completar a plataforma de diagnóstico. A simulação do sistema de geração fotovoltaica foi desenvolvida em módulos de forma isolada e integrados p, com emprego de O desenvolvimento da simulação se iniciou com a apresentação do circuito dos conversores, funcionando de forma isolada, e seus resultados incluem as curvas das variáveis de cada circuito. Posteriormente, com a integração dos diversos conversores às baterias e aos painéis fotovoltaicos simulados a partir de modelos pré-definidos, o sistema de geração completo gerou sinais semelhantes à planta em funcionamento normal e com defeitos. A disponibilização dos dados em nuvem, obtidos a partir de simulação computacional e apresentados através de interfaces desenvolvidas para permitir análise, detecção e determinação de defeitos ou falhas no sistema de geração fotovoltaica e possibilitar um diagnóstico, se mostrou eficiente. Verificou-se funcional a integração à IoT, com transmissão de dados simulados, que refletem a situação do sistema fotovoltaico em tempo real, acessíveis de qualquer lugar, a qualquer momento e com histórico de valores que possibilita a compreensão da evolução de cenários do sistema de geração fotovoltaica de energia. Foram atingidos os objetivos deste trabalho, que entrega uma plataforma para o desenvolvimento de detecção e diagnóstico de falhas à distância em sistema de geração fotovoltaica para comunidades isoladas, com seleção e especificação de sensores para a monitoração, assim como ferramentas

desenvolvidas para a plataforma de diagnóstico que foram: placa multiplexadora de sinais de sensores, transmissão do sinal para a nuvem, banco de dados em nuvem, enlaces entre os serviços de IoT e sua integralização, sistema supervisorio com telas de monitoração e um modelo para simulação computacional do sistema de geração.

REFERÊNCIAS

- ABID, A. J., OBED, A. A., AI-NAIMA, F. M., 2018. **Web-Based System Design to Monitor and Control the Mismatching Effects in a Vast Solar Farm.** Reric International Energy Journal.
- ALI, M. H., RABHI, A.,HAJJAJI, A. E.,TINA, G. M., 2016. **Real Time Fault Detection in Photovoltaic Systems.** Elsevier–Energy Procedia.
- APPIAH, A. Y., ZHANG, X., AYAWLI, B. B. K., KYEREMEH, F., 2019. **Review and Performance Evaluation of Photovoltaic Array Fault Detection and Diagnosis Techniques.** Hindawi International Journal of Photoenergy.
- BALACHANDRAN, B. M., PRASAD, S., 2017. **Challenges and Benefits of Deploying Big Data Analytics in the Cloud for Business Intelligence.** Elsevier - Procedia Computer Science.
- BORLASE, S. **Smart Grids: Infrastructure, Technology, and Solutions.** 1nd ed. CRC Press, 2016. 607p. ISBN 978-1439829059.
- BSA. **Estudo da BSA ilustra o impacto mundial da revolução de dados.** 2015. Disponível em: <http://www.bsa.org/news-and-events/news/2015/october/en10202015datareport?sc_lang=pt-BR>. Acesso em: 31 maio 2018.
- CARVALHO, D. P., OLIVEIRA, L. G. M., HORTA, L. B. P., BUIATTI, G. M., 2018. **Métodos de Diagnóstico de Falhas para Arranjos Fotovoltaicos.**VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado, RS, Brasil.
- CHENG, Z., WANG, Y., CHENG, S., 2014. **A New Method of PV Array Faults Diagnosis in Smart Grid.** Hindawi Publishing Corporation, Journal of Applied Mathematics.
- DALIENTO, S., CHOUDER, A., GUERRIERO, P., PAVAN, A. M., MELLIT, A., MOEINI, R., TRICOLI, P., 2017. **Monitoring, Diagnosis, and Power Forecasting for Photovoltaic Fields: A Review.** Hindawi - International Journal of Photoenergy.

- DHIMISH,M., HOLMES,V., DALES, M., 2017. **Parallel fault detection algorithm for grid-connected photovoltaic plants.** Elsevier - Renewable Energy.
- HARROU, F., DAIRI, A., TAGHEZOUIT, B., SUN, Y., 2019. **An unsupervised monitoring procedure for detecting anomalies in photovoltaic systems using a one-class Support Vector Machine.** Elsevier - Solar Energy.
- HARROU, F., SUN, Y.,TAGHEZOUIT, B.,SAIDI, A., HAMLATI, M-E., 2017. **Reliable fault detection and diagnosis of photovoltaic systems based on statistical monitoring approaches.** Elsevier - Solar Energy.
- HEROLD, R., HERTZOG, C. **Data Privacy for the Smart Grid.**1nd ed. CRC Press, 2019. 250s. ISBN 978-0367377823.
- MADETI, S. R., SINGH, S. N., 2017. **A comprehensive study on different types of faults and detection techniques for solar photovoltaic system.** Elsevier - Solar Energy.
- MAUREIRA, M. A. G., OLDENHOF, D., TEERNSTRA, L., 2014. **ThingSpeak- an API and Web Service for the Internet of Things.**
- MOREIRA, J. R. S. **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.** 1nd ed. LTC, 2017. 412p. ISBN 978-8521630258.
- PFLANZNER, T., KERTESZ, A., 2016. **A Survey of IoT Cloud Providers.**MIPRO'16, May 30, 2016, Opatija, Croatia.
- PINHO, J. T., GALDINO,M. A, 2014. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Cepel - Cresesb. Rio de Janeiro, Brasil.
- RAMÍREZ, L. G. C., JIMÉNEZ, G. S. A., CARREÑO, J. M. **Sensores e Actuadores - Aplicações com Arduino.** 1nd. Azcapotzalco, México. Grupo Editorial Patria, 2014. 317p. ISBN 978-6074389364.
- REHMAN, M. H., YAQOOB, I., SALAH, K., IMRAN, M., JAYARAMAN, P. P., Perera, C., 2019. **The role of big data analytics in industrial Internet of Things.** Elsevier - Future Generation Computer Systems.
- SHENG, S. **Photovoltaic Nanogrid: Parallel Operating Inverters and Energy Management Flow.** 2017. 235s. Doctor Degree Dissertation in the Field of Electrical Engineering. Northeastern University Boston, Massachusetts. 2017.

- SILVESTRE,S., SILVA,M. A., CHOUDER, A., GUASCH, D.,KARATEPE, E., 2014. **New procedure for fault detection in grid connected PV systems based on the evaluation of current and voltage indicators.** Elsevier - Energy Conversion and Management.
- THOMAZINI, D., ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores Industriais - Fundamentos e Aplicações.** 9ª ed. São Paulo. Érica, 2020. 248p.
- TRIKI-LAHIANI, A., ABDELGHANI, A. B., BELKHODJA, I. S., 2018. **Fault Detection and Monitoring Systems for Photovoltaic Installations: A Review.** Elsevier - Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- WIESNER, S., HAUGE, J. B., THOBEN, K-D., 2015. **Challenges for Requirements Engineering of Cyber-Physical Systems in Distributed Environments.** IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (APMS), Tokyo, Japan.

ANEXO 1 - PROGRAMA: ENVIO AO BANCO DE DADOS SQL

```

#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
String adccorrente1, adccorrente2, adccorrente3, adccorrente4, adccorrente5,
adccorrente6, adccorrente7;
String adctensao1, adctensao2, adctensao3, adctensao4, adctensao5,
adctensao6, getdata;
intadc[15], adc_med, i, j, aux;

void setup () {
  Serial.begin(115200);
  WiFi.begin("rede", "12345678");
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(100);
    Serial.print("Connecting...");
    pinMode(D4, OUTPUT); //S0 - MUX
    pinMode(D3, OUTPUT); //S1 - MUX
    pinMode(D2, OUTPUT); //S2 - MUX
    pinMode(D1, OUTPUT); //S3 - MUX
  }
}

intLeMux(int d, int c, int b, int a) {
  digitalWrite(D4, a);
  digitalWrite(D3, b);
  digitalWrite(D2, c);
  digitalWrite(D1, d);
}

for(i=0; i<15; i++)
{
  adc[i] = analogRead(A0);
  delay(1);
}

for(i=0; i<15; i++) // inicio da ordenacao bolha
{
  for(j=i+1; j<15; j++) // sempre 1 elemento à frente
  {
    // se o (i > (i+1)) então o i passa pra frente (ordem crescente)
    if(adc[i] > adc[j])
    {
      aux = adc[i];
      adc[i] = adc[j];
      adc[j] = aux;
    }
  }
} // fim da ordenação

adc_med=0;

```

```

for(i=5; i<10; i++)
{
adc_med = adc_med + adc[i];
}

returnadc_med/5;
}

void loop() {
if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) { //Check WiFi connection status
adccorrente1 = String(LeMux(0,0,0,0));
adccorrente2 = String(LeMux(0,0,0,1));
adccorrente3 = String(LeMux(0,0,1,0));
adccorrente4 = String(LeMux(0,0,1,1));
adccorrente5 = String(LeMux(0,1,0,0));
adccorrente6 = String(LeMux(0,1,0,1));
adccorrente7 = String(LeMux(0,1,1,0));
adctensao1 = String(LeMux(0,1,1,1));
adctensao2 = String(LeMux(1,0,0,0));
adctensao3 = String(LeMux(1,0,0,1));
adctensao4 = String(LeMux(1,0,1,0));
adctensao5 = String(LeMux(1,0,1,1));
adctensao6 = String(LeMux(1,1,0,0));
HTTPClienthttp; //Declare an object of class HTTPClient
getdata = "corrente1=" + adccorrente1 + "&corrente2=" + adccorrente2 +
"&corrente3=" + adccorrente3
+ "&corrente4=" + adccorrente4 + "&corrente5=" + adccorrente5 +
"&corrente6=" + adccorrente6
+ "&corrente7=" + adccorrente7 + "&tensao1=" + adctensao1 + "&tensao2=" +
adctensao2 + "&tensao3="
+ adctensao3 + "&tensao4=" + adctensao4 + "&tensao5=" + adctensao5 +
"&tensao6=" + adctensao6;
http.begin("http://pvweb.000webhostapp.com/salva.php"); //Specify request
destination
http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
//Specify content-type header
inhttpCode = http.POST(getdata); //Send the request
if (httpCode > 0) { //Check the returning code
String payload = http.getString(); //Get the request response payload
Serial.println(payload); //Print the response payload
}
http.end(); //Close connection
}
delay(5000); //Send a request every 5 seconds
}

```

ANEXO 2 - PROGRAMA: ENVIO À PLATAFORMA THINGSPEAK

```
#include <ESP8266WiFi.h>
```

```
String adccorrente1, adccorrente2, adccorrente3, adccorrente4, adccorrente5,
adccorrente6, adccorrente7;
```

```
String adctensao1, adctensao2, adctensao3, adctensao4, adctensao5,
adctensao6;
```

```
intadc[15], adc_med, i, j, aux;
```

```
String apiWritekey = "NEA0SF1AYQIJNVQW";
```

```
const char* ssid = "rede";
```

```
const char* password = "12345678" ;
```

```
const char* server = "api.thingspeak.com";
```

```
float resolution=3.3/1023;
```

```
WiFiClient client;
```

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin(115200);
```

```
  WiFi.begin(ssid, password);
```

```
  Serial.println();
```

```
  Serial.println();
```

```
  Serial.print("Connecting to ");
```

```
  Serial.println(ssid);
```

```
  WiFi.begin(ssid, password);
```

```
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
```

```
    delay(500);
```

```
    Serial.print(".");
```

```
  }
```

```
  pinMode(D4, OUTPUT); //S0 - MUX
```

```
  pinMode(D3, OUTPUT); //S1 - MUX
```

```
  pinMode(D2, OUTPUT); //S2 - MUX
```

```
  pinMode(D1, OUTPUT); //S3 - MUX
```

```
}
```

```
intLeMux(int d, int c, int b, int a) {
```

```
  digitalWrite(D4, a);
```

```
  digitalWrite(D3, b);
```

```
  digitalWrite(D2, c);
```

```
  digitalWrite(D1, d);
```

```
for(i=0; i<15; i++)
```

```
{
```

```
  adc[i] = analogRead(A0);
```

```
  delay(1);
```

```
}
```

```
for(i=0; i<15; i++) // inicio da ordenacao bolha
```

```
{
```

```
  for(j=i+1; j<15; j++) // sempre 1 elemento à frente
```

```

        {
            // se o (i > (i+1)) então o i passa pra frente (ordem crescente)
            if(adc[i] >adc[j])
            {
                aux = adc[i];
                adc[i] = adc[j];
                adc[j] = aux;
            }
        }
    } // fim da ordenação

    adc_med=0;
    for(i=5; i<10; i++)
    {
        adc_med = adc_med + adc[i];
    }

    returnadc_med/5;
}

void loop() {
    adccorrente1 = String(LeMux(0,0,0,0));
    adccorrente2 = String(LeMux(0,0,0,1));
    adccorrente3 = String(LeMux(0,0,1,0));
    adccorrente4 = String(LeMux(0,0,1,1));
    adccorrente5 = String(LeMux(0,1,0,0));
    adccorrente6 = String(LeMux(0,1,0,1));
    adccorrente7 = String(LeMux(0,1,1,0));
    adctensao1 = String(LeMux(0,1,1,1));
    adctensao2 = String(LeMux(1,0,0,0));
    adctensao3 = String(LeMux(1,0,0,1));
    adctensao4 = String(LeMux(1,0,1,0));
    adctensao5 = String(LeMux(1,0,1,1));
    adctensao6 = String(LeMux(1,1,0,0));
    if (client.connect(server,80))
    {
        StringtsData = apiWritekey + "&corrente1=" + adccorrente1 + "&corrente2=" +
        adccorrente2 + "&corrente3=" + adccorrente3
        + "&corrente4=" + adccorrente4 + "&corrente5=" + adccorrente5 +
        "&corrente6=" + adccorrente6
        + "&corrente7=" + adccorrente7 + "&tensao1=" + adctensao1 + "&tensao2=" +
        adctensao2
        + "&tensao3=" + adctensao3 + "&tensao4=" + adctensao4 + "&tensao5=" +
        adctensao5 + "&tensao6=" + adctensao6 + "\r\n\r\n";

        client.print("POST /update HTTP/1.1\n");
        client.print("Host: api.thingspeak.com\n");
        client.print("Connection: close\n");
        client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: "+apiWritekey+"\n");
        client.print("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\n");
    }
}

```

```
client.print("Content-Length: ");
client.print(tsData.length());
client.print("\n\n"); // the 2 carriage returns indicate closing of Header fields &
starting of data
client.print(tsData);
Serial.println("uploaded to Thingspeak server....");
}
client.stop();

Serial.println("Waiting to upload next reading...");
delay(15000);
}
```