

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

IVAN ALAN SOARES

**IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA REMOTO DE GERENCIAMENTO E
MONITORAMENTO DE PARÂMETROS PARA MINIUSINA SOLAR
FOTOVOLTAICA**

POÇOS DE CALDAS/MG

2020

IVAN ALAN SOARES

IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA REMOTO DE GERENCIAMENTO E
MONITORAMENTO DE PARÂMETROS PARA MINIUSINA SOLAR
FOTOVOLTAICA

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Engenharia Química.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Izabella Carneiro Bastos

POÇOS DE CALDAS/MG

2020

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca campus Poços de Caldas

Soares, Ivan Alan.
S676i Implementação de sistema remoto de gerenciamento e
monitoramento de parâmetros para miniusina solar fotovoltaica / Ivan
Alan Soares. – Poços de Caldas/MG, 2020.
89 f. –

Orientador(a): Izabella Carneiro Bastos.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade
Federal de Alfenas, campus Poços de Caldas, 2020.

Bibliografia.

1. Sistemas fotovoltaicos. 2. Sistema de aquisição de dados. 3.
Software – Desenvolvimento. I. Bastos, Izabella Carneiro. II. Título.

CDD – 660

IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA REMOTO DE GERENCIAMENTO E MONITORAMENTO DE
PARÂMETROS PARA MINIUSINA SOLAR FOTOVOLTAICA

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Engenharia Química.

Aprovada em: 25 de setembro de 2020.

Profa. Dra. Izabella Carneiro Bastos
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Cláudio Antônio de Andrade Lima
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Yvo Marcello Chiaradia Masselli
Instituição: Instituto Nacional de Telecomunicações



Documento assinado eletronicamente por **YVO MARCELO CHIARADIA MASSELLI, Usuário Externo**, em 29/10/2020, às 14:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cláudio Antônio de Andrade Lima, Professor do Magistério Superior**, em 29/10/2020, às 16:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Izabella Carneiro Bastos, Professor do Magistério Superior**, em 11/11/2020, às 16:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0401667** e o código CRC **7B4CD8E6**.

Dedico este trabalho a minha família e amigos que sempre acreditaram em mim.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me permitir viver e sentir emoções.

A minha família, em especial a minha mãe Inacia, meu pai Romildo e meu irmão Romildo Junior que sempre estiveram e estão sempre ao meu lado, os pilares que me permitem ficar em pé.

A minha orientadora Izabella Carneiro Bastos, pela forma sincera e humana que sempre se referiu a mim, não medindo esforços para a resolução de qualquer problema durante o presente trabalho. Jamais esquecerei esta amizade e estarei sempre presente.

A instituição que me acolheu e todos os docentes do programa de pós-graduação em Engenharia Química.

Aos membros da banca avaliadora pelo tempo disposto e sugestões oferecidas.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e o Departamento Municipal de Eletricidade Distribuição (DMED) pela bolsa concedida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

"Para a mente que está quieta, o universo inteiro se rende." (Lao Tzu)

RESUMO

O presente trabalho possui como objetivo a implementação de um sistema de gerenciamento e monitoramento de dados para a miniusina solar fotovoltaica localizada na Universidade Federal de Alfenas, campus Poços de Caldas e a comparação do sistema desenvolvido com um sistema de aquisição de dados comercial. O sistema desenvolvido apresenta parâmetros coletados e também indicadores de desempenho obtidos por modelagens numéricas. Para isso, foram utilizados equipamentos de medição e desenvolvidos um registrador de dados, um servidor *web*, uma *REST API* e uma aplicação *web* responsiva. O registrador de dados foi desenvolvido utilizando o computador de placa única *Raspberry Pi 3 Modelo B* e o banco de dados de séries temporais *TimescaleDB*. Os dados coletados pelo registrador são sincronizados e salvos no banco de dados do servidor *web* através da *REST API*. A comunicação entre a aplicação e servidor também é feita por intermédio da *REST API*, a qual retorna as informações requisitadas pela aplicação. A aplicação *web* foi implementada utilizando tecnologias *web* e bibliotecas de desenvolvimento como *React*, *Bootstrap* e *ApexCharts*. A aplicação foi dividida em páginas para melhor visualização dos dados como painel de controle, produção, desempenho do sistema, parâmetros medidos e clima. As páginas apresentam os dados utilizando gráficos e tabelas, além de permitir o usuário efetuar o *download* dos dados em formato *XLS* ou *CSV*. Além da vantagem de ser codificado em linguagens e tecnologias de baixo custo, em contraste com um sistema de aquisição de dados comercial, o sistema desenvolvido no presente trabalho atingiu uma variação percentual de 0.5361% no campo de monitoramento da produção de potência CA total da miniusina fotovoltaica monitorada, constituindo o sistema desenvolvido como um mecanismo válido para o monitoramento de sistemas fotovoltaicos.

Palavras-chave: Sistemas Fotovoltaicos. Sistema de Aquisição de Dados Baseado em Nuvem. Indicadores de Desempenho.

ABSTRACT

The present work has as objective the implementation of a data management and monitoring system for the photovoltaic solar mini-plant located at the Federal University of Alfnas, Poços de Caldas campus and to compare the developed system with a commercial data acquisition system. The developed system presents collected parameters and also performance indicators obtained by numerical modeling. For this, measurement equipment was used and a data logger, a web server, a REST API and a responsive web application were developed. The data logger was developed using the Raspberry Pi 3 Model B single-board computer and the TimescaleDB time series database. The data collected by the data logger are synchronized and saved in the web server database through the REST API. The communication between the application and server is also done through the REST API, which returns the information requested by the application. The web application was implemented using web technologies and development libraries like React, Bootstrap and ApexCharts. The application was divided into pages for better visualization of data such as dashboard, production, system performance, measured parameters and weather. All pages present the data using graphs and tables, in addition to allowing the user to download the data in XLS or CSV format. In addition to the advantage of being encoded in low-cost languages and technologies, in contrast to a commercial data acquisition system, the developed system in the present work reached a percentage variation of 0.5361% in the field of monitoring the total AC power production of the monitored photovoltaic mini-plant, constituting the developed system as a valid mechanism for monitoring photovoltaic systems.

Keywords: Photovoltaic systems. Cloud Based Data Acquisition System. Performance indicators.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Componentes de um Sistema Fotovoltaico Conectado À Rede	17
Figura 2 — Componentes de Sistema de Aquisição de Dados.....	18
Figura 3 — Perdas de um sistema fotovoltaico	20
Figura 4 — Procedimento Metodológico	31
Figura 5 — Localização da Universidade Federal de Alfenas, campus Poços de Caldas	32
Figura 6 — Módulos fotovoltaicos instalados no prédio F	33
Figura 7 — Inversores do Prédio F	33
Figura 8 — Módulos fotovoltaicos instalados no prédio G	34
Figura 9 — Inversores do Prédio G	35
Figura 10 — Diagrama de Casos de Uso do Sistema	36
Figura 11 — Estação Solarimétrica	39
Figura 12 — Estrutura Geral Cliente/Servidor	40
Figura 13 — Arquitetura do Sistema de Automação da Miniusina	40
Figura 14 — Medidores de Corrente e Tensão	41
Figura 15 — Medidores de Corrente Alternada	42
Figura 16 — Medidor de Parâmetros Elétricos MA600	43
Figura 17 — Conversor <i>Modbus</i> para <i>Ethernet</i>	44
Figura 18 — <i>Raspberry Pi 3</i> Modelo B.....	44
Figura 19 — Funcionamento do Registrador de Dados	45
Figura 20 — Sistemas e <i>Softwares</i> Utilizados para a Construção do Registrador de Dados.....	46
Figura 21 — Arquitetura do Servidor <i>Web</i>	47
Figura 22 — Amostra da Estrutura Base do Projeto da Aplicação	49
Figura 23 — Amostra da Estrutura do Projeto da Aplicação	50
Figura 24 — Codificação das rotas no <i>React Router</i>	51
Figura 25 — Exemplo de inicialização da biblioteca <i>Axios</i>	51
Figura 26 — Exemplo de uso da biblioteca <i>Axios</i>	52
Figura 27 — Exemplo de uso da aplicação em diferentes dispositivos	53
Figura 28 — <i>Raspberry Pi 3</i> Modelo B como Registrador de Dados	54
Figura 29 — Tela de <i>Login</i>	56
Figura 30 — Interface do Painel de Controle	57
Figura 31 — Mensagem quando não há conexão com o Registrador de Dados	57
Figura 32 — Interface da página de Produção.....	58
Figura 33 — Interface de Produção por Área e por Inversor.....	59
Figura 34 — Interface de Produção por Potência Acumulada	59
Figura 35 — Índices de Desempenho do Sistema por Minuto	60
Figura 36 — Interface de Desempenho do Sistema.....	61
Figura 37 — Rendimento CC por Série e Inversor	61

Figura 38 — Interface de Parâmetros Medidos.....	62
Figura 39 — Interface de Parâmetros Medidos Acumulados por Hora	63
Figura 40 — Tabela de Dados em Interface de Parâmetros Medidos.....	63
Figura 41 — Interface de Parâmetros Medidos com Dados da Solarimétrica	64
Figura 42 — Interface de Parâmetros Medidos permitindo a seleção de múltiplos parâmetros	65
Figura 43 — Parâmetros Meteorológicos Médios	66
Figura 44 — Potência CC/CA do Sistema por Dia	66
Figura 45 — Potência CC X Irradiação Solar	67
Figura 46 — Umidade X Potência do Sistema	68
Figura 47 — Potência CC/CA Total do Sistema.....	68
Figura 48 — Potência CC Gerada por Prédio	69
Figura 49 — Potência CA Gerada por Prédio	70
Figura 50 — Potência CC de Entrada por Inversor (kW)	71
Figura 51 — Potência CA de Saída por Inversor	71
Figura 52 — Potência CC Gerada por Série	72
Figura 53 — Fator de Capacidade do Sistema	73
Figura 54 — Frequência dos Prédios F e G.....	74
Figura 55 — Eficiência de Conversão CC/CA do Sistema	74
Figura 56 — Eficiência de Conversão CC/CA por Hora do Sistema	75
Figura 57 — Rendimento CC de Entrada para cada Inversor	76
Figura 58 — Rendimento CA por Inversor	76
Figura 59 — Comparação da Potência CA do Sistema por Dia	77
Figura 60 — Comparação da Potência de Saída CA do Inversor 01 do Prédio F por Dia	79
Figura 61 — Comparação da Potência de Saída CA do Inversor 02 do Prédio F por Dia	80
Figura 62 — Comparação da Potência de Saída CA do Inversor 03 do Prédio F por Dia	81
Figura 63 — Comparação da Potência de Saída CA do Inversor 01 do Prédio G por Dia	82
Figura 64 — Comparação da Potência de Saída CA do Inversor 03 do Prédio G por Dia	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Classificações do sistema de monitoramento e suas aplicações	19
Tabela 2 — Fatores típicos de perdas	21
Tabela 3 — Componentes Fotovoltaicos do Prédio F	34
Tabela 4 — Componentes Fotovoltaicos do Prédio G	35
Tabela 5 — Casos de uso e seus objetivos	37
Tabela 6 — Equipamentos de Medição de Parâmetros Elétricos	38
Tabela 7 — Tabela de Parâmetros Elétricos.....	46
Tabela 8 — Recursos da API.....	48
Tabela 9 — Consultas para Filtragem.....	48
Tabela 10 — Potência CC Gerada por Série do Prédio F	72
Tabela 11 — Potência CC Gerada por Série do Prédio G	73
Tabela 12 — Comparação da Potência CA do Sistema por Dia	78
Tabela 13 — Comparação da Potência de Saída CA do Inversor 01 do Prédio F por Dia	79
Tabela 14 — Comparação da Potência de Saída CA do Inversor 02 do Prédio F por Dia	80
Tabela 15 — Comparação da Potência de Saída CA do Inversor 03 do Prédio F por Dia	81
Tabela 16 — Comparação da Potência de Saída CA do Inversor 01 do Prédio G por Dia	82
Tabela 17 — Comparação da Potência de Saída CA do Inversor 03 do Prédio G por Dia	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	Application programming interface
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CF	Capacity Factor
CSS	Cascading Style Sheets
CSV	Comma-separated values
DAQ	Data Acquisition
E/S	Entrada/Saída
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
Hz	Hertz
IEC	International Electrotechnical Commission
IHM	Interface Homem-Máquina
IP	Internet Protocol
JSON	JavaScript Object Notation
kg	Quilograma
kVA	Kilovoltampere
kVAr	Kilovolt-amperes-reativos
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-hora
kWp	Kilowatt pico
NOOBS	New Out Of the Box Software
OPC	Open Platform Communications
P	Potência Ativa
PR	Performance Ratio
Q	Potência Reativa
REST	Representational state transfer
S	Potência Aparente
TCP	Transmission Control Protocol
URL	Uniform Resource Locator

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE	17
3.2	SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS	17
3.3	MONITORAMENTO EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	18
3.4	MÉTODO DE AVALIAÇÃO ENERGÉTICA EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	19
3.4.1	Perdas Típicas de Energia	20
3.4.2	Cálculo da Eficiência em Sistemas Fotovoltaicos	21
3.4.3	Eficiência de Conversão CC/CA do Inversor	21
3.4.4	Cálculo de Rendimento em Sistemas Fotovoltaicos	22
3.4.4.1	Rendimento de Energia.....	22
3.4.4.2	Rendimento do Inversor	22
3.4.4.3	Rendimento do Arranjo Fotovoltaico	22
3.4.4.4	Rendimento Final do Sistema Fotovoltaico	23
3.4.5	Taxa de Desempenho	23
3.4.6	Energia Esperada pelo Sistema Fotovoltaico	24
3.4.7	Fator de Capacidade	24
3.5	DESENVOLVIMENTO DE <i>SOFTWARE</i>	25
3.5.1	Processo de Desenvolvimento de <i>Software</i>	25
3.5.2	Aplicação <i>Web</i>	26
3.5.3	Serviço <i>Web</i>	26
3.5.4	Banco de Dados de Séries Temporais	27
3.6	APLICAÇÃO DE SISTEMAS DE MONITORAMENTO E AQUISIÇÃO DE DADOS NAS ÚLTIMAS DÉCADAS.....	27
4	MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1	A MINIUSINA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	32
4.2	SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS DA MINIUSINA.....	36
4.2.1	Determinação das Funcionalidades do Sistema de Aquisição de Dados	36
4.2.2	Equipamentos de Medição	37
4.2.2.1	Medidores de Energia para a Medição de Parâmetros Elétricos.....	37
4.2.2.2	Estação Solarimétrica para Medição de Parâmetros Meteorológicos	38
4.2.3	Arquitetura da Automação do Sistema de Aquisição de Dados	39
4.2.4	Registrador de Dados	44
4.2.5	Servidor Web para Gerenciamento de Dados	47

4.2.6	Aplicação Web para Visualização dos Dados Coletados	49
4.2.6.1	Estrutura de Projeto da Aplicação	49
4.2.6.2	Acesso aos dados pelo consumo da <i>API</i>	51
4.2.6.3	Desenvolvimento <i>web front-end</i> responsivo	52
4.2.6.4	Apresentação de Dados e Informações	53
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5.1	REGISTRADOR PARA COLETA DE DADOS	54
5.2	SERVIDOR WEB PARA GERENCIAMENTO DOS DADOS	55
5.3	APLICAÇÃO <i>WEB</i> PARA APRESENTAÇÃO DE DADOS	55
5.3.1	Tela de Login	55
5.3.2	Painel de Controle	56
5.3.3	Página Produção	57
5.3.4	Página Desempenho do Sistema	60
5.3.5	Página Parâmetros Medidos	62
5.4	IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA.....	65
5.4.1	Parâmetros Meteorológicos Médios	65
5.4.2	Produção CC/CA por Dia do Sistema	66
5.4.3	Potência CC X Irradiação	67
5.4.4	Umidade x Produção	67
5.4.5	Potência CC/CA Total do Sistema	68
5.4.6	Potência CC/CA por Prédio	69
5.4.7	Potência de Entrada e Saída por Inversor	70
5.4.8	Potência CC Gerada por Série	72
5.4.9	Fator de Capacidade	73
5.4.10	Frequência dos Prédios F e G	73
5.4.11	Índices de Desempenho	74
5.5	COMPARAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS PELO PRESENTE TRABALHO COM O SISTEMA FRONIUS SOLAR.WEB	77
5.5.1	Potência CA do Sistema por Dia	77
5.5.2	Potência de Saída CA por Inversor	78
6	CONCLUSÕES	84
	REFERÊNCIAS	85

1 INTRODUÇÃO

A geração de energia por meio de tecnologias limpas vem ganhando grande espaço no cenário mundial, devido ao crescimento da demanda energética e os estudos pela redução dos impactos ambientais causados pelo uso de fontes de energia não renováveis. Dentre as tecnologias renováveis, destaca-se a energia solar como ilimitada, limpa e durável. Atualmente, o método mais eficiente para o aproveitamento da energia solar para geração de energia elétrica é pela tecnologia fotovoltaica (PARIDA; INIYAN; GOIC, 2011).

Os sistemas solares fotovoltaicos podem fornecer energia para empresas e/ou residências. Apesar do alto custo de aquisição inicial dos equipamentos fotovoltaicos, o baixo custo de manutenção e operação contribui para que estes sistemas possuam maior retorno sobre o investimento e bom custo-benefício se instalados corretamente (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016).

Apesar da grande quantidade de energia solar que a planta fotovoltaica recebe, a produção de energia elétrica de um sistema fotovoltaico pode ser influenciada por diversos fatores, tais como localização da planta, níveis de irradiação solar, fatores climáticos e diversas formas de perda de energia ao longo da planta (WOYTE *et al.*, 2014).

Os desvios criados nos parâmetros elétricos em relação ao projeto fotovoltaico e a modelagem numérica estão relacionados, entre outros, a fatores climáticos, degradações e erros em componentes fotovoltaicos. Inúmeras variáveis podem causar esta degradação como a sensibilidade às condições climáticas dos componentes fotovoltaicos (RAHMAN; HASANUZZAMAN; RAHIM, 2015) e seu período de uso (AZIZI *et al.*, 2018).

O eficiente monitoramento dos parâmetros elétricos e meteorológicos pode exibir a redução no desempenho de sistemas fotovoltaicos indicando falhas ou disparidade em relação aos resultados esperados se comparados aos dados de dimensionamento do sistema fotovoltaico. Estes parâmetros devem ser coletados periodicamente através de um sistema de aquisição de dados utilizando sensores e registradores. Além disso, o sistema de aquisição de dados deve possuir uma interface homem-máquina capaz de apresentar os dados coletados com facilidade de visualização (ULIERU *et al.*, 2011).

O presente trabalho apresenta e discute os resultados do desenvolvimento e implementação de um sistema remoto de gerenciamento e monitoramento de dados para a miniusina solar fotovoltaica localizada na Universidade Federal de Alfenas, campus Poços de Caldas com o objetivo de facilitar a visualização e a verificação dos dados empíricos e os dados esperados pela modelagem numérica durante o processo de dimensionamento da miniusina e a comparação do sistema desenvolvido com um sistema de aquisição de dados comercial disponível no mercado

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho possui como objetivo geral implementar um sistema remoto de gerenciamento e monitoramento de dados para o sistema fotovoltaico conectado à rede da Universidade Federal de Alfenas, campus Poços de Caldas e comparar o sistema desenvolvido com o sistema de aquisição de dados comercial *Fronius Solar.Web*.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho em questão podem ser elencados como:

- a) Desenvolver um registrador de dados para o sistema fotovoltaico conectado à rede da Universidade Federal de Alfenas, campus Poços de Caldas.
- b) Configurar o sistema de comunicação entre os instrumentos de medição previamente instalados e o registrador de dados desenvolvido.
- c) Desenvolver um servidor *web* capaz de armazenar, processar e retornar informações como indicadores de desempenho e parâmetros elétricos gerais da miniusina solar fotovoltaica através dos dados coletados.
- d) Desenvolver uma aplicação responsiva utilizando tecnologias *web* para permitir a visualização das informações pelo usuário.
- e) Comparar o sistema de aquisição de dados desenvolvido a partir do confronto entre os dados coletados pelo registrador implementado e os dados disponibilizados pelo sistema comercial *Fronius.Web* do sistema fotovoltaico conectado à rede da Universidade Federal de Alfenas, campus Poços de Caldas.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

Os sistemas solares fotovoltaicos conectados à rede representam majoritariamente o limite de produção fotovoltaica instalada no mundo, em contraste com sistemas autônomos ou isolados. Estes sistemas transmitem a energia produzida diretamente à rede elétrica, evitando a necessidade de dispositivos de armazenamento de energia. Pela sua praticidade, os sistemas conectados à rede são extremamente rentáveis, exigindo pouca manutenção e reinvestimento (KOURO *et al.*, 2015).

Os principais componentes de um sistema fotovoltaico conectado à rede podem ser observados na Figura 1.



Fonte: Adaptado de Kumar, Subathra e Moses (2018).

A caixa de junção ou *string box* é o dispositivo responsável pela proteção dos componentes CC do sistema fotovoltaico. Em seguida, em razão do padrão utilizado pela rede elétrica, torna-se necessário a conversão da corrente contínua produzida pelos módulos em corrente alternada. Após a conversão de corrente feita pelo inversor, a energia transita pelos medidores e ocorre sua transmissão à rede elétrica. O quadro geral e o disjuntor são dispositivos eletromecânicos substanciais capazes de garantir a segurança e a desconexão do sistema fotovoltaico da rede elétrica (KUMAR; SUBATHRA; MOSES, 2018).

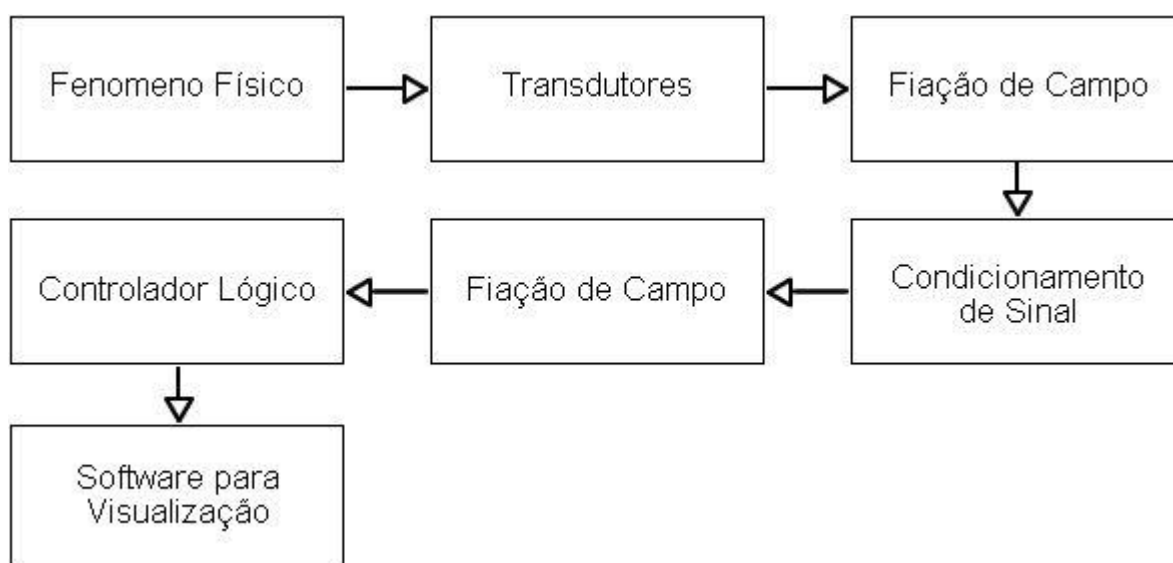
3.2 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Os sistemas de aquisição de dados (DAQ) auxiliam no monitoramento e teste de sistemas. Normalmente, atuam em diversos tipos de sistemas, capturando dados

de fenômenos físicos e apresentando-os de forma inteligível ao usuário. O seu uso é, em grande maioria, feito por engenheiros e cientistas que necessitam analisar séries temporais para prever eventos futuros ou tomar decisões sobre acontecimentos atuais. Para a coleta dos dados, os sistemas de aquisição de dados utilizam instrumentos capazes de medir sinais de corrente e tensão. Os elementos básicos de um sistema de aquisição de dados são (EMILIO, 2013):

- Sensores e transdutores
- Fiação de Campo
- Condicionamento de Sinais
- *Hardware* (DAQ)
- *Software* (DAQ)
- Computador (com sistema operacional)

Figura 2 — Componentes de Sistema de Aquisição de Dados



Fonte: Adaptado de Emilio (2013).

3.3 MONITORAMENTO EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A complexidade do sistema de monitoramento é proporcional ao tamanho do sistema fotovoltaico e dos objetivos do usuário. Os sistemas de monitoramento fotovoltaicos são divididos em três classes e podem ser classificados pela sua aplicação, conforme apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 — Classificações do sistema de monitoramento e suas aplicações

Aplicações	Classe A - Precisão Alta	Classe B - Precisão Média	Classe C - Precisão Básica
Avaliação básica do desempenho do sistema	X	X	X
Documentação de garantia de desempenho	X	X	
Análise de perdas do sistema	X	X	
Avaliação da interação da rede de eletricidade	X		
Detecção de Falhas	X		
Avaliação da tecnologia Fotovoltaica	X		
Medição precisa da degradação do sistema	X		

Fonte: Adaptado de IEC (2017).

De acordo com o documento, os sistemas de classe B e C são mais adequados para plantas fotovoltaicas pequenas como sistemas residenciais, enquanto os de classe A e B são apropriados para projetos de grande porte.

Os parâmetros e sensores necessários para cada classe de sistema de monitoramento podem ser encontrados na norma *IEC 61724-1:2017*.

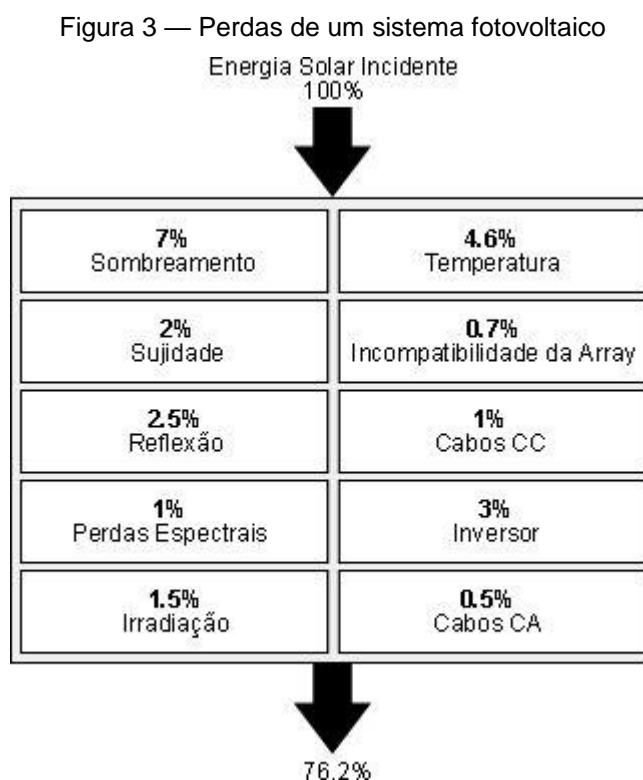
3.4 MÉTODO DE AVALIAÇÃO ENERGÉTICA EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os parâmetros meteorológicos e outros fatores intermitentes impactam diretamente no desempenho dos sistemas solares fotovoltaicos, portanto é de suma importância validar se o sistema está agindo como esperado. A localização da planta, o nível de irradiação solar ou condições de temperatura e várias formas de perda de energia podem afetar a eficiência de um sistema fotovoltaico (WOYTE *et al.*, 2014). A avaliação da qualidade de um sistema solar fotovoltaico pode ser feita através de parâmetros de desempenho, tais como energia total gerada pelo sistema fotovoltaico, eficiência dos componentes e total do sistema, índice de desempenho energético e disponibilidade, taxa de desempenho e fator de

capacidade (HAIBAOU *et al.*, 2017). Estes parâmetros de desempenho podem ser resultantes de medições ou obtidos por modelagens matemáticas.

3.4.1 Perdas Típicas de Energia

De acordo com Ekici e Kopru (2017), as perdas de uma planta fotovoltaica podem ser divididas em fatores ambientais como temperatura, sombreamento, neve, chuva, sujidade e perdas relacionadas aos componentes do sistema como cabos, conexões, módulos, inversores e outros componentes. Algumas perdas em um sistema fotovoltaico podem ser visualizadas na Figura 3.



Fonte: Adaptado de Ekici e Kopru (2017).

As perdas relacionadas a temperatura do módulo e conversão CC/CA pelo inversor podem ser calculadas através de parâmetros de eficiência disponibilizados pelos fabricantes dos componentes (PACHECO-TORGAL *et al.*, 2013). As demais perdas apresentadas na Figura 3 podem ser obtidas por meio de modelagens numéricas ou empiricamente. Os autores Decker e Jahn (1997) realizaram um estudo empírico de desempenho em 170 sistemas fotovoltaicos para a obtenção dos outros fatores de perdas que podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2 — Fatores típicos de perdas

Perda	%
Módulos	10 a 14
Sujidade dos Módulos	0 a 1,5
Incompatibilidade dos Módulos	1,6 a 3,5
Tolerância da Potência Nominal	0 a 10
Instalação CC	1 a 3

Fonte: Adaptado de Decker e Jahn (1997).

3.4.2 Cálculo da Eficiência em Sistemas Fotovoltaicos

A eficiência do sistema representa a quantidade de irradiação obtida na área total de módulos solares que foram realmente transformadas em energia elétrica (IEC, 2017). Este parâmetro pode ser obtido pela Equação 1.

$$\eta_{sys} = \frac{E_{CA}}{A * H} \quad (1)$$

Onde η_{sys} é a eficiência do sistema, E_{CA} é energia gerada CA, A é a área total de módulos fotovoltaicos e H é a irradiação medida no plano.

3.4.3 Eficiência de Conversão CC/CA do Inversor

A eficiência de conversão CC/CA do inversor representa o quanto de potência CC foi convertida realmente para CA. Esta métrica é dada pela razão entre a potência de saída CA e a potência de entrada CC do inversor (PEARSALL, 2016). A eficiência de conversão CC/CA do inversor pode ser obtida pela Equação 2.

$$\eta_{inv} = \frac{P_{CA}}{P_{CC}} \quad (2)$$

Em que η_{inv} é a eficiência de conversão CC/CA do inversor, P_{CA} é a potência de saída CA, e P_{CC} é a potência de entrada CC do inversor.

3.4.4 Cálculo de Rendimento em Sistemas Fotovoltaicos

3.4.4.1 Rendimento de Energia

O rendimento de energia é um dos parâmetros de desempenho mais importantes para sistemas fotovoltaicos conectados à rede por sua associação aos valores e custos da planta. A produção de energia está altamente relacionada ao retorno e o investimento para a construção de sistemas fotovoltaicos (IEC, 2017). O rendimento de energia pode ser obtido pela Equação 3.

$$Y_r = \frac{H_I}{G_{STC}} \quad (3)$$

Em que Y_r é o rendimento de energia, H_I é a irradiação no plano e G_{STC} é a irradiação de referência, sendo usualmente 1kW/m^2 .

3.4.4.2 Rendimento do Inversor

O rendimento do inversor apresenta a relação da potência de saída e a potência nominal do inversor. Esta métrica pode ser utilizada para comparação de equipamentos fotovoltaicos (THERISTIS *et al.*, 2018). O rendimento do inversor pode ser calculado pela Equação 4.

$$Y_{inv} = \frac{E_{CA}}{P_{nom}} \quad (4)$$

Sendo Y_{inv} o rendimento do inversor, E_{CA} é a energia de saída do inversor e P_{nom} é a potência nominal CA do inversor.

3.4.4.3 Rendimento do Arranjo Fotovoltaico

O rendimento de arranjos ou módulos fotovoltaicos pode auxiliar na comparação entre equipamentos fotovoltaicos. O parâmetro pode ser calculado através da razão da energia de corrente contínua gerada e a potência nominal do arranjo ou módulo (IEC, 2017). O rendimento do arranjo fotovoltaico pode ser calculado pela Equação 5.

$$Y_A = \frac{E_{CC}}{P_{nom}} \quad (5)$$

Onde Y_A é o rendimento do arranjo fotovoltaico, E_{CC} é a energia gerada pelo arranjo fotovoltaico e P_{nom} é a potência nominal CC do arranjo.

3.4.4.4 Rendimento Final do Sistema Fotovoltaico

O rendimento final do sistema fotovoltaico pode ajudar na comparação entre plantas fotovoltaicas (IEC, 2017) permitindo verificar o desempenho de sistemas quanto a sua potência nominal. A equação que resulta no rendimento final do sistema fotovoltaico pode ser visualizada na Equação 6.

$$Y_f = \frac{E_{CA}}{P_{nom}} \quad (6)$$

Onde Y_f é o rendimento final do fotovoltaico, E_{CA} é a energia total gerada pelo sistema fotovoltaico e P_{nom} é a potência nominal CA do sistema fotovoltaico.

3.4.5 Taxa de Desempenho

A taxa de desempenho é uma métrica que relaciona a energia elétrica gerada em relação à quantidade de irradiação e à classificação de potência CC da matriz da planta (IEC, 2016). A norma explica que para determinar o valor numérico da taxa de desempenho (PR) utiliza-se a Equação 7.

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \quad (7)$$

Sendo PR a taxa de desempenho, Y_f a o rendimento final e Y_r o rendimento de energia.

3.4.6 Energia Esperada pelo Sistema Fotovoltaico

De acordo com Swain (2017), a energia total gerada (E_{exp}) pode ser obtida pelo produto da área total dos módulos do sistema, a eficiência dos módulos, a irradiação solar no plano e a taxa de desempenho do sistema. A Equação 8 pode ser utilizada para obtenção da energia total gerada.

$$E_{exp} = A * R * H * PR \quad (8)$$

Onde E_{exp} é a energia total esperada, A é a área total de módulos solares em m^2 , R é a eficiência do módulo em %, H é a irradiação solar em W/m^2 e PR é a taxa de desempenho esperada ou coeficiente de perdas.

3.4.7 Fator de Capacidade

O fator de capacidade é normalmente utilizado para comparar o desempenho entre sistemas solares fotovoltaicos. Esta métrica apresenta a relação entre a produção gerada e o quanto seria produzido caso fosse gerado toda a potência instalada no sistema sem interrupções (IEC, 2016). A expressão para o cálculo do fator de capacidade (CF) pode ser observado na Equação 9.

$$CF = \frac{Y_f}{\Delta T} \quad (9)$$

Onde CF é o fator de capacidade, Y_f é o rendimento final do sistema, ΔT é o período observado e medido.

3.5 DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE

Um *software* ou programa de computador pode ser definido como um conjunto de instruções computacionais que, ao serem executadas, solucionam um problema e desempenham funções desejadas. Segundo Pressman (2011), os programas de computador podem realizar tarefas de diversos níveis de complexidade e estão contidos em diversas áreas como medicina, telecomunicações, militar, industrial, entretenimento e transportes.

3.5.1 Processo de Desenvolvimento de Software

Um *software*, assim como qualquer outro produto, necessita de um processo de desenvolvimento capaz de garantir agilidade, qualidade, sustentabilidade e confiabilidade durante sua produção. De acordo com Sommerville (2011) existem diversos processos de desenvolvimento de *software*, porém todos devem possuir quatro atividades fundamentais da engenharia de software, as quais são:

- Especificação de *software*
- Projeto e Implementação de *software*
- Validação de *software*
- Evolução do software

A atividade de especificação de *software* destina-se para a definição dos requisitos funcionais e não funcionais do sistema, além da criação de diagramas necessários para a comunicação entre os interessados do projeto. A definição da arquitetura, tecnologias, equipamentos utilizados e a codificação do sistema são feitas na atividade de projeto e implementação de *software*, sempre cumprindo os requisitos definidos na atividade anterior. A atividade de validação de *software* busca autenticar o funcionamento do sistema com o que foi requisitado pelo cliente nas etapas iniciais. Após o sistema entrar em produção, a atividade de evolução do *software* visa permitir manutenção e atualização para que o sistema continue suprindo as necessidades do cliente ao longo do tempo.

3.5.2 Aplicação Web

Uma página *web* é composta por um documento criado em *HTML* e pode ser acessada por intermédio de um navegador instalado em um dispositivo conectado à *internet*. Um conjunto de páginas *web* de conteúdo estático que possuam características fortes em comum pode ser definido como um *Website*. Em contraste com um *Website*, uma *Aplicação Web* oferece conteúdo dinâmico e especialmente adaptado para o usuário, permitindo sua conexão com servidores pela *internet* através de serviços *web* com base na arquitetura cliente-servidor, padrão *HTTP*, modelo de requisição e resposta e outras tecnologias relacionadas (NALAKA; KAPILA, 2017).

3.5.3 Serviço Web

Um serviço *web* é uma aplicação conectada à rede permissiva de comunicação entre aplicativos por meio de protocolos *web* e descrita utilizando uma linguagem de descrição funcional padrão (CURBERA; NAGY; WEERAWARANA, 2001). Para caracterizar-se como um serviço *web*, uma aplicação deve apresentar um conjunto de propriedades, sendo elas:

- Seus métodos devem possuir encapsulamento alto e serem completamente definidos no documento de descrição permitindo sua extensão pela inclusão de conteúdo semântico e um conjunto de propriedades não funcionais fundamentais para o desempenho das atividades básicas da *web* como transacionalidade, qualidade de serviço e segurança.
- Os artefatos da aplicação necessitam possuir pouca ou nenhuma dependência entre si, ou seja, apresentar acoplamento baixo.
- Por meio das descrições de serviço, um serviço *web* apresenta capacidade de adaptação e detecção de cenários onde um protocolo mais eficaz pode ser utilizado entre as duas aplicações.
- Para garantir interoperabilidade, um serviço *web* utiliza de intermediação e tradução de mensagens ao invés de interfaces de programação de aplicativos.

Uma tecnologia que possui alta capacidade para desenvolvimento de aplicações de rede que necessitam de escalabilidade é o *Node.js*, devido as suas propriedades como *JavaScript runtime* assíncrono orientado a eventos. As aplicações desenvolvidas com esta tecnologia podem lidar com múltiplas conexões simultâneas. Uma das características do *Node.js* é permanecer suspenso enquanto não recebe conexões, acionando o retorno de chamada ou *callback* ao recebê-las. Atualmente, o modelo de *threads* de sistema operacional é o modelo de concorrência mais comum, apesar de sua eficiência relativamente baixa e alta complexidade de utilização, em oposição ao *Node.js*. Ademais, por nenhuma função realizar chamadas de E/S diretamente, os processos permanecem livres, não ocasionando bloqueios. Por esse motivo, esta tecnologia é altamente direcionada para desenvolvimento de sistemas escaláveis (Node.js Foundation, 2019).

3.5.4 Banco de Dados de Séries Temporais

De acordo com Naqvi e Yfantidou (2017), "uma série temporal é uma sequência ordenada de valores em intervalos de tempo igualmente espaçados". Séries temporais podem ser utilizadas em diversos contextos, sendo os mais comuns análises e previsões de séries temporais e análises de regressão. Para isso, as séries temporais podem ser armazenadas em uma base de dados.

Um banco de dados é um conjunto de dados que possuam relações entre si e representam características do mundo real (ELMASRI; NAVATHE, 2010).

Um tipo de banco de dados otimizado para o armazenamento deste formato de dados é o banco de dados de séries temporais. Estes tipos de base de dados são preparados para trabalhar com desempenho sobre um alto volume de dados permitindo realizar operações de gerenciamento de uma maneira mais eficiente em relação aos bancos de dados convencionais (NAQVI; YFANTIDOU, 2017). Em conformidade com o site independente DB-ENGINES (2019), entre os 10 banco de dados de séries temporais mais utilizados pelos usuários e com maiores pontuações no *ranking* de mais de 30 bancos de dados é o *TimescaleDB*.

3.6 APLICAÇÃO DE SISTEMAS DE MONITORAMENTO E AQUISIÇÃO DE DADOS NAS ÚLTIMAS DÉCADAS

Sopitpan, Changmuang e Panyakeow (2001) desenvolveram um sistema de monitoramento para comparar o desempenho entre sistemas fotovoltaicos conectados à rede e isolados. Os autores comprovaram que o dispositivo de armazenamento de energia de um sistema conectado à rede é reduzido por uma fração de 0.5 a 0.7 caso comparado a um sistema isolado em cargas similares. O sistema conectado à rede demonstrou maior adequação para países tropicais, onde o suprimento de energia elétrica pode ser instável durante algumas estações do ano.

Van Dyk *et al.* (2002) realizaram o monitoramento de módulos solares convencionais durante um período de 15 meses e um conjunto de concentradores fotovoltaicos por um período de 13 meses para demonstrar o desempenho dos dispositivos fotovoltaicos quando utilizados por um longo período sob efeito de condições meteorológicas. Os resultados apresentaram que condições meteorológicas não favoráveis podem causar redução de 18% da potência dos módulos estudados.

Forero, Hernández e Gordillo (2006) implementaram um sistema de aquisição de dados para uma planta solar mediante utilização do pacote *LabVIEW* de programação gráfica, uma placa de aquisição de dados e ponto de campo modular de entrada e saída de alta precisão.

Chouder e Silvestre (2010) apresentaram um supervisor automático e um procedimento de detecção de falhas para sistemas fotovoltaicos. O projeto foi baseado em análises de perdas de potência e implementado utilizando os ambientes *Matlab* e *Simulink*. Através de fatores como perdas de captura térmica e perdas de captura diversas, o sistema gera sinais que podem apontar falhas na operação de um sistema solar fotovoltaico.

Phromket, Plangklang e Skunpong (2011) trabalharam com o monitoramento de sistemas fotovoltaicos aplicados em pontos de ônibus, implementando iluminação adicional em regiões distantes que possuem iluminação pública de baixa qualidade. De acordo com os autores, o sistema monitora todos os pontos de ônibus e armazena os dados coletados em uma unidade central, permitindo sua visualização no formato digital.

Anwari, Dom e Rashid (2011) construíram um sistema de monitoramento fotovoltaico em pequena escala, mediante a utilização de um microcontrolador *PIC16F877a* e o software de programação gráfica *LabVIEW* para

produzir informações vitais sobre o retorno de investimento da instalação de plantas solares. A pesquisa resultou em um *software* de aquisição de dados de baixo custo, através da utilização de equipamentos com custo-benefício alto e do monitoramento e simulação da geração de energia e de dados do ambiente como irradiação e temperatura do ar.

Silvestre *et al.* (2016) construíram um software supervisor e detecção de falhas remoto para sistemas fotovoltaicos monitorados por *OPC*. Para obter a evolução dos parâmetros fotovoltaicos principais foi utilizado um modelo empírico e padrões *OPC* para monitoramento de sistemas conectados a rede.

Rezk *et al.* (2016) trabalharam na criação de um sistema de monitoramento de parâmetros elétricos para um sistema fotovoltaico isolado, permitindo a coleta de parâmetros como a tensão, corrente e potência geradas. O sistema foi baseado no *LabVIEW* e apresentou-se efetivo.

Madeti e Singh (2017) demonstraram uma análise sobre sistemas de monitoramento fotovoltaico, apresentando características e princípios de operação, além de instrumentos para medição, protocolos de comunicação, sistemas de armazenamento de dados e desafios ou oportunidades relacionadas ao tema.

Soumia, Nallapaneni e Ali (2018) produziram um sistema de aquisição de dados coletando tanto parâmetros elétricos como meteorológicos, combinando instrumentos de medição para cada tipo de parâmetro. Os autores coletaram parâmetros elétricos como tensão de circuito aberto, correntes de curto-circuito, tensão máxima, corrente máxima, potência máxima e parâmetros meteorológicos como temperatura ambiente, velocidade do vento, umidade relativa, horas de sol e irradiação solar.

Fadhel *et al.* (2018) trabalharam com a detecção de falhas de sombreamento com base em curvas I-V em um sistema fotovoltaico isolado. As células fotovoltaicas apresentaram redução significativa de desempenho durante sombreamento e as curvas I-V demonstraram informações importantes para o monitoramento saudável.

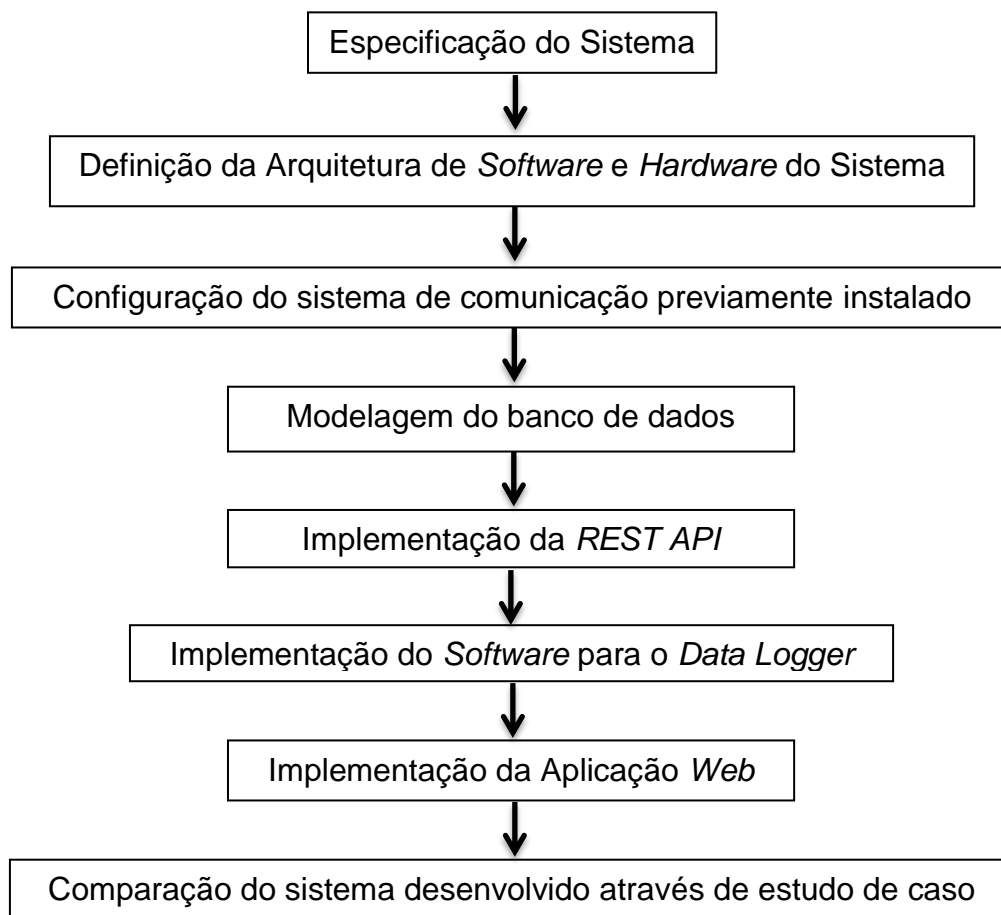
Fazai *et al.* (2019) apresentaram uma nova abordagem aplicando aprendizado de máquina para detecção de falhas em sistemas fotovoltaicos. A hipótese de teste estatístico foi utilizada em conjunto com regressão do processo de *Gauss* (GPR). As falhas foram detectadas através de simulações e dados reais.

Ortega, Aranguren e Jimeno (2019) implementaram uma nova metodologia para monitoramento individual de módulos fotovoltaicos. A tecnologia desenvolvida possibilita o mapeamento e reconstrução de parâmetros elétricos através de medições parciais dos painéis, não causando danificação ou perda de energia durante o processo. As características I-V recriadas pelo sistema possuem precisão de 1% a 3% se comparadas com as medições reais.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento metodológico adotado para a construção do sistema de monitoramento de dados da miniusina pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 — Procedimento Metodológico



Fonte: O autor (2020).

- O sistema de monitoramento de dados foi especificado a fim de identificar todos os atores e funcionalidades necessárias do sistema. A documentação foi feita a partir de diagramas construídos utilizando a linguagem de notação UML e representação textual.
- A arquitetura e tecnologias utilizadas para o desenvolvimento do sistema foram definidas com o propósito de viabilizar a construção do sistema dentro do tempo esperado e com as tecnologias atuais.
- A modelagem do banco de dados foi feita de forma a permitir a realização simples de consultas e otimizar o armazenamento de dados ao longo prazo.

- Com o intuito de permitir a comunicação e possibilitar o retorno ou envio de dados entre a aplicação *web* (Interface) e o banco de dados foi desenvolvida uma *REST API*.
- O registrador de dados ou *Data Logger* é responsável pela coleta dos dados dos equipamentos de medição e pela transmissão remota ao banco de dados encontrado no servidor.
- Para possibilitar a visualização e *download* dos dados coletados foi implementada uma aplicação *web*.
- Comparação do sistema desenvolvido com um sistema de aquisição de dados comercial através de um estudo de caso da miniusina solar fotovoltaica instalada na Universidade Federal de Alfenas, campus Poços de Caldas.

4.1 A MINIUSINA SOLAR FOTOVOLTAICA

O estudo de caso utilizado neste trabalho foi a miniusina solar fotovoltaica instalada dentro das dependências da Universidade Federal de Alfenas, campus Poços de Caldas. A universidade está localizada na cidade universitária, mais precisamente nas coordenadas de latitude -21.8203908 e longitude -46.6619972, representada no mapa pela Figura 5.

Figura 5 — Localização da Universidade Federal de Alfenas, campus Poços de Caldas



Fonte: Adaptado de Google Maps (2019).

A miniusina fotovoltaica possui seus equipamentos alocados no prédio F e G do campus da universidade e possui módulos fotovoltaicos agrupando uma potência máxima de 82.88kWp. O projeto configura-se como um sistema conectado à rede, sem a utilização de baterias. Os módulos fotovoltaicos previamente instalados no prédio F podem ser observados na Figura 6.

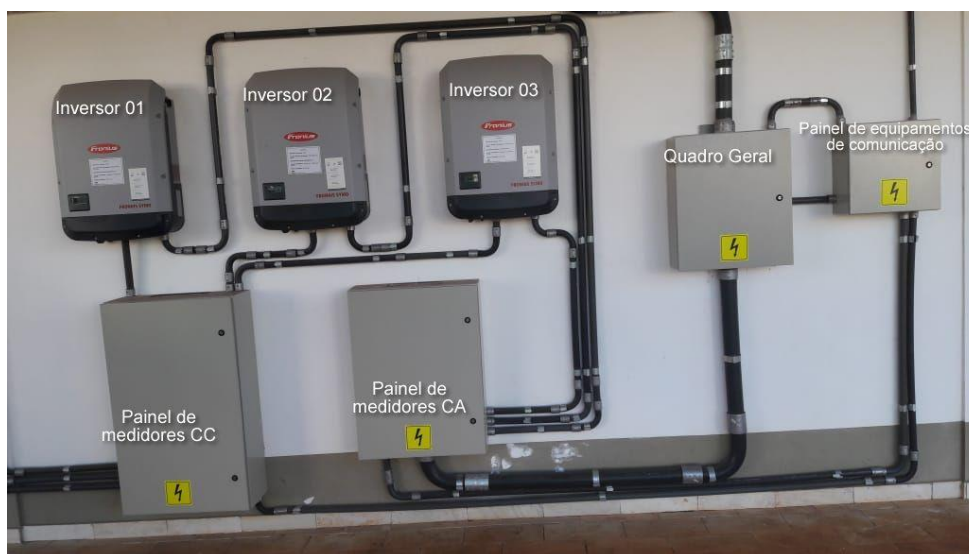
Figura 6 — Módulos fotovoltaicos instalados no prédio F



Fonte: O autor (2020).

Os inversores previamente instalados no prédio F podem ser visualizados na Figura 7.

Figura 7 — Inversores do Prédio F



Fonte: O autor (2020).

A especificação geral dos componentes do prédio F pode ser visualizada na Tabela 3.

Tabela 3 — Componentes Fotovoltaicos do Prédio F

#	Inversor	Quantidade de Módulos (cada série)	Número de Séries	Potência de cada Módulo	Tipo de cada Módulo	Potência Total dos Módulos
1	Fronius Symo 15 kW 3F/N 220/127V	19	2	370W	Monocristalino	14.06kW
2	Fronius Symo 15 kW 3F/N 220/127V	17	3	355W	Policristalino	18.105kW
3	Fronius Symo 15 kW 3F/N 220/127V	17	3	295W	Policristalino	15.045kW

Fonte: O autor (2020).

Os módulos fotovoltaicos previamente instalados no prédio G podem ser observados na Figura 8.

Figura 8 — Módulos fotovoltaicos instalados no prédio G



Fonte: O autor (2020).

Os inversores previamente instalados no prédio G podem ser visualizados na Figura 9.

Figura 9 — Inversores do Prédio G



Fonte: O autor (2020).

Os equipamentos instalados no prédio G e suas especificações gerais podem ser visualizadas na Tabela 4. O inversor 2 do prédio G encontrava-se desligado durante as medições.

Tabela 4 — Componentes Fotovoltaicos do Prédio G

(continua)

#	Inversor	Quantidade de Módulos (cada série)	Número de Séries	Potência dos de cada Módulo	Tipo de cada Módulo	Potência Total dos Módulos
1	Fronius Symo 15 kW 3F/N 220/127V	17	3	295W	Policristalino	15.045kW
2	Fronius Symo 15 kW 3F/N 220/127V	17	3	300W	Monocristalino	15.300kW

Tabela 4 — Componentes Fotovoltaicos do Prédio G

(conclusão)

#	Inversor	Quantidade de Módulos (cada série)	Número de Séries	Potência dos de cada Módulo	Tipo de cada Módulo	Potência Total dos Módulos
3 ENTRADA 1	Fronius Symo 5 kW 1F/N 220/127V	7	1	355W	Policristalino	2.485kW
3 ENTRADA 2	Fronius Symo 5 kW 1F/N 220/127V	8	1	355W	Policristalino	2.840kW

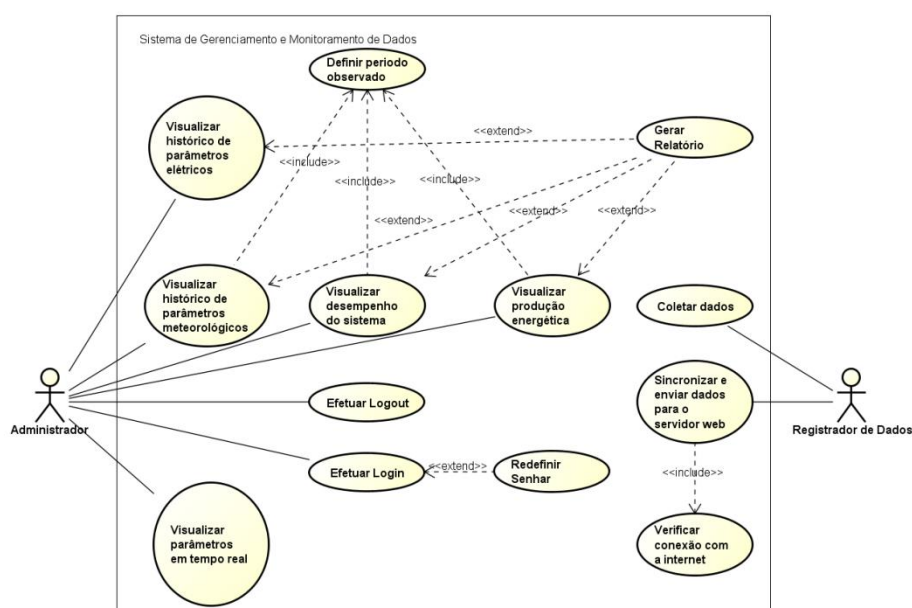
Fonte: O autor (2020).

4.2 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS DA MINIUSINA

4.2.1 Determinação das Funcionalidades do Sistema de Aquisição de Dados

Para documentar todas as funcionalidades do sistema foi construído um diagrama de casos de uso que pode ser visualizado na Figura 10.

Figura 10 — Diagrama de Casos de Uso do Sistema



Fonte: O autor (2020).

Pode-se observar na Figura 10 a representação de dois atores no sistema. Os atores, casos de uso e seus respectivos objetivos no sistema de monitoramento estão apresentados textualmente na Tabela 5.

Tabela 5 — Casos de uso e seus objetivos

Ator	Caso de Uso	Objetivo
Administrador	Efetuar Login	Permitir o acesso do usuário ao sistema.
Administrador	Efetuar Logout	Desligar e impedir o acesso do usuário ao sistema.
Administrador	Visualizar parâmetros em tempo real	Apresentar em formato de tabela parâmetros elétricos e meteorológicos capturados a cada período de tempo.
Administrador	Visualizar histórico de parâmetros meteorológicos	Apresentar em formato de tabela e gráficos os parâmetros meteorológicos adquiridos através da estação solarimétrica.
Administrador	Visualizar desempenho do sistema	Apresentar em formato de tabela e gráficos avaliações sobre o desempenho do sistema fotovoltaico.
Administrador	Visualizar produção energética	Apresentar em formato de tabela e gráficos informações sobre a produção energética do sistema.
Administrador	Definir período observado	Selecionar o período de tempo para delimitação das informações apresentadas.
Administrador	Gerar Relatório	Emitir relatórios relativos às informações escolhidas.
Registrador de Dados	Coletar Dados	Capturar, validar e salvar dados no banco de dados local.
Registrador de Dados	Sincronizar e enviar dados para o servidor web	Sincronizar o banco de dados do servidor web com o banco de dados local.
Registrador de Dados	Verificar conexão com a internet	Verifica a existência de conexão com a internet.

Fonte: O autor (2019).

4.2.2 Equipamentos de Medição

4.2.2.1 Medidores de Energia para a Medição de Parâmetros Elétricos

Os equipamentos de medição necessários para a captura de parâmetros elétricos utilizados neste trabalho já estavam previamente instalados no sistema de automação da miniusina. Os medidores utilizados foram listados no Tabela 6.

Tabela 6 — Equipamentos de Medição de Parâmetros Elétricos

Equipamento	Objetivo
SCK-M-I-8S-20A	Medição de corrente contínua para cada string.
SCK-M-U-1500V	Medição de tensão contínua das strings.
MA250	Medição de parâmetros elétricos após os inversores como corrente, tensão, frequência, harmônicos, entre outros.
MA600	Medição de parâmetros elétricos dos quadros gerais e entrada de energia como corrente, tensão, frequência, harmônicos, entre outros.

Fonte: O autor (2019).

4.2.2.2 Estação Solarimétrica para Medição de Parâmetros Meteorológicos

Neste projeto foi utilizada a estação solarimétrica previamente instalada para a medição de parâmetros meteorológicos como temperatura ambiente, irradiação solar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. A estação solarimétrica possui sensores de umidade, temperatura e velocidade do vento da Thies Clima, piranômetros da *Kipp-Zonen* e um registrador de dados *Ammonit M40*. Os dados foram coletados a cada 10 minutos durante o período 06/02/2020 até 13/02/2020. A estação solarimétrica utilizada pode ser visualizada na Figura 11.

Figura 11 — Estação Solarimétrica



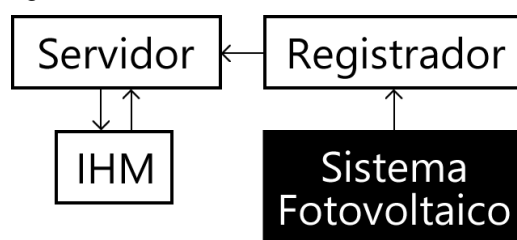
Fonte: O autor (2020).

Para o acesso aos dados coletados pela estação solarimétrica foi utilizado o sistema *AmmonitOR* ou *Ammonit Online Report*. O *AmmonitOR* é uma plataforma comercial disponibilizada pela empresa *Ammonit*, plataforma esta que permite o acesso aos dados da estação solarimétrica que foram armazenados em sua nuvem ao longo do tempo (Ammonit Measurement GmbH, 2019). Para o acesso aos dados de forma automática foi utilizada a *API* disponibilizada pelo fabricante *AmmonitOR API*.

4.2.3 Arquitetura da Automação do Sistema de Aquisição de Dados

A estrutura necessária para o desenvolvimento do projeto foi a de cliente/servidor. Ainda que exista a possibilidade da criação de sistemas onde o *front-end* e o *back-end* são acoplados, isso poderia produzir prejuízos no futuro, como o aumento no tempo de desenvolvimento para outras plataformas como *desktop* ou dispositivos móveis, pois não haveria uma fonte de dados comum entre eles. Para este projeto, foi escolhido separar o trabalho do *front-end* e do *back-end*, criando um servidor comum capaz de prover informações para todos os outros dispositivos. A Figura 12 apresenta a estrutura geral de cliente/servidor utilizada no projeto.

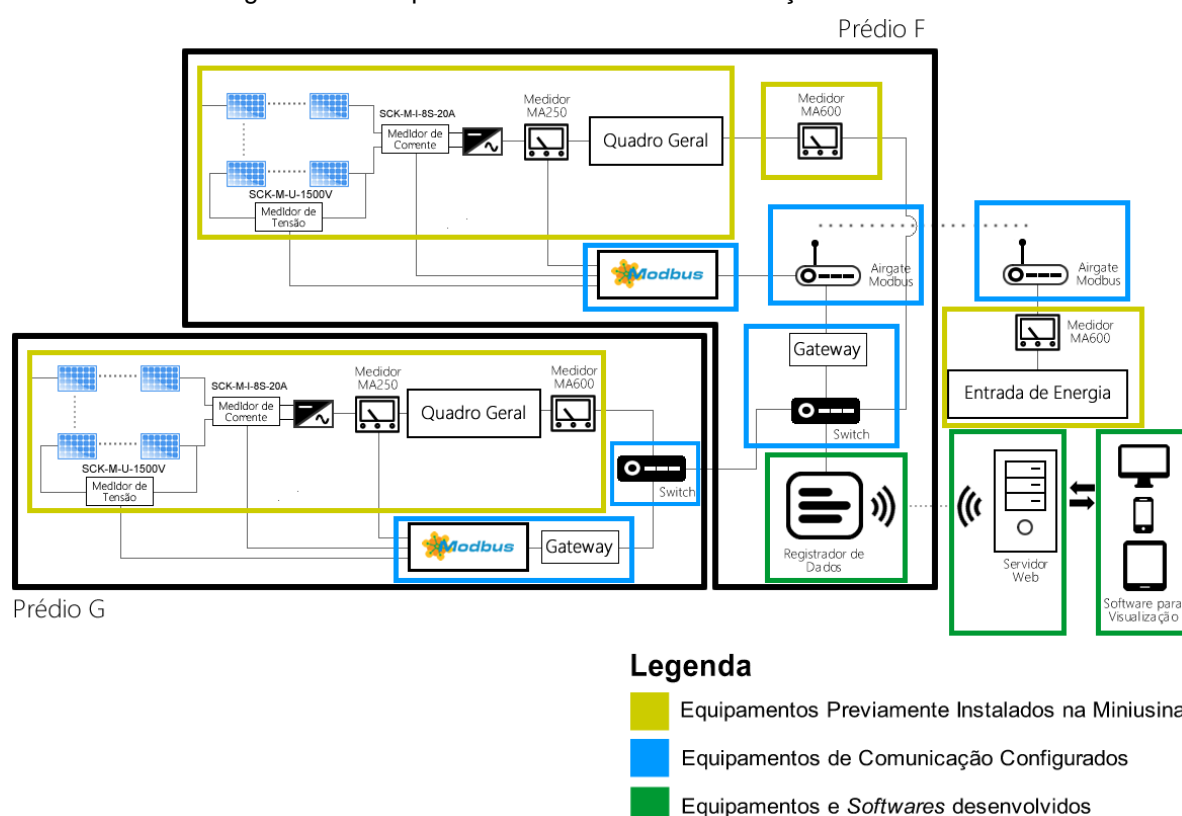
Figura 12 — Estrutura Geral Cliente/Servidor



Fonte: O autor (2020).

A arquitetura geral da automação do sistema de aquisição de dados da miniusina apresenta em sua composição instrumentos de medição e um registrador de dados, com o objetivo da coleta de parâmetros elétricos. Os dados coletados são enviados para um servidor *web* e ficam disponíveis para o acesso do usuário por meio de uma interface homem-máquina. A Figura 13 apresenta o sentido do fluxo de dados e componentes do sistema.

Figura 13 — Arquitetura do Sistema de Automação da Miniusina

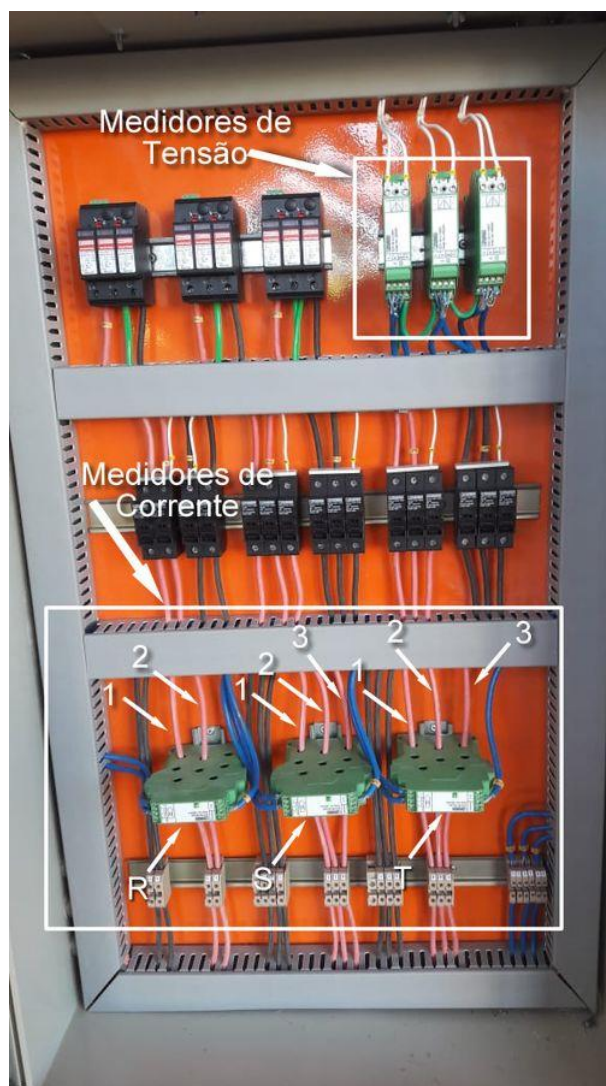


Fonte: O autor (2020).

Cada prédio possui medidores de energia individuais, realizando a medição de parâmetros CC e CA. No prédio F foram utilizados 3 medidores de corrente e 3

medidores de tensão, SCK-M-I-8S-20A e SCK-M-U-1500V, respectivamente, para realizar a medição dos parâmetros elétricos de corrente contínua, sendo demonstrados na Figura 14.

Figura 14 — Medidores de Corrente e Tensão



Fonte: O autor (2020).

Os medidores de corrente foram catalogados previamente pelas iniciais R, S, T e cada equipamento faz a medição das séries do respectivo inversor. O primeiro medidor (da esquerda para a direita) realiza a medição das séries 1 e 2 do inversor 1, o segundo medidor das séries 1, 2 e 3 do inversor 2 e o terceiro medidor as séries 1, 2 e 3 do inversor 3. Os medidores de tensão realizam a medição para cada arranjo de séries, haja vista que dispositivos em paralelo possuem o mesmo valor de tensão.

Para a medição individual de parâmetros elétricos CA de cada inversor foram utilizados 3 medidores *Phoenix EEM-MA250*. Os medidores podem ser visualizados na Figura 15.

Figura 15 — Medidores de Corrente Alternada

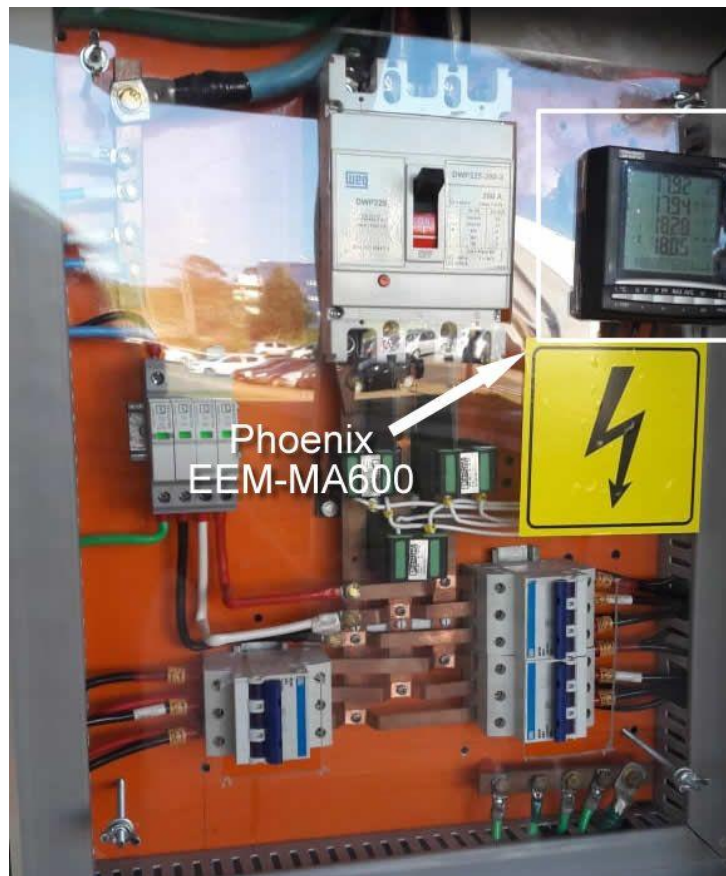


Fonte: O autor (2020).

Todos os dispositivos de medição foram conectados ao equipamento SCK-C-MODBUS, entregando os dados a partir de uma conexão comum. O medidor das

séries do inversor 01 foi conectado a entrada T2, o inversor 2 na entrada T3 e o inversor 3 na entrada T1 do conversor SCK-C-MODBUS.

Figura 16 — Medidor de Parâmetros Elétricos MA600

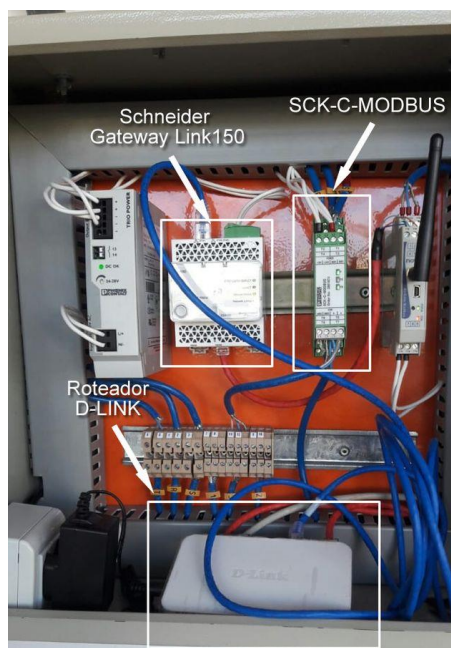


Fonte: O autor (2020).

Após isso, para a medição de parâmetros elétricos totais da entrada de cada prédio, foram utilizados os medidores *Phoenix EEM-MA600*, um para cada prédio. O medidor MA600 foi conectado diretamente ao roteador *D-LINK*, sendo conectado diretamente através do endereço *IP* do dispositivo. Esta arquitetura foi replicada e utilizada nos dois prédios.

O SCK-C-MODBUS foi conectado ao conversor *Schneider Gateway Link150*, agrupando todos os dados em uma conexão *Ethernet*, que pode ser acessada através de um roteador *D-LINK*. Os equipamentos supracitados podem se visualizados na Figura 17.

Figura 17 — Conversor Modbus para Ethernet



Fonte: O autor (2020).

4.2.4 Registrador de Dados

Para registrar os dados capturados pelos instrumentos de medição foi desenvolvido um registrador de dados específico para o sistema. Para exercer a função de controlador foi escolhido o computador de placa única *Raspberry Pi 3 Model B*, por permitir a utilização de linguagens de programação mais complexas e possuir bibliotecas específicas para a aplicação do protocolo de comunicação *Modbus TCP*.

Figura 18 — Raspberry Pi 3 Modelo B



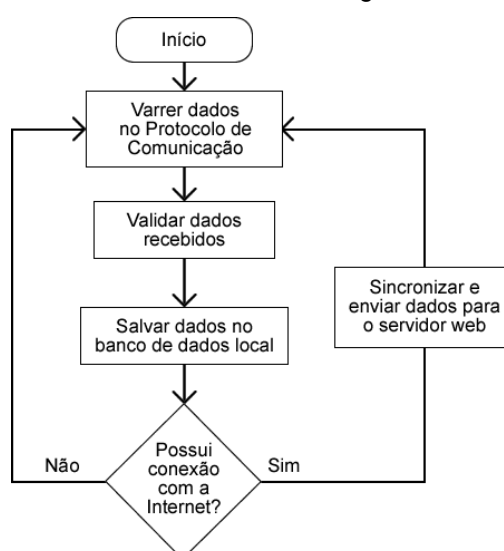
Fonte: O autor (2020).

Para ter acesso a todas as ferramentas disponíveis no *Raspberry Pi* foi necessária a instalação de um sistema operacional. Segundo a Raspberry Pi Foundation (2019), o sistema operacional oficial da fundação é o *Raspbian* e foi instalado pelo instalador *NOOBS*, disponível no site do fabricante. O *Raspbian* possui funcionalidades e *softwares* pré-instalados, assim como suporte a entrada de *mouse*, teclado, conexão com a *internet* via *WIFI*, navegadores *web*, linguagens de programação, entre outras funções. O sistema operacional, assim como os registros de dados, são armazenados em um cartão *SanDisk MicroSD* Classe 10 que possui *32GB* para armazenamento e *80MB/s* de velocidade de leitura.

O registrador de dados escaneia os dados disponibilizados pelo protocolo de comunicação a cada 60 segundos e, após validados, efetua o armazenamento dos registros em um banco de dados *PostgreSQL*. O acesso aos dados foi feito através de cabo *ethernet* conectado ao roteador *D-LINK*.

Para isso, foi necessário o desenvolvimento de uma aplicação, executada em *NodeJS* e codificada em *Javascript* junto com pacote *Modbus Stream*. O funcionamento da aplicação pode ser visualizado na Figura 19.

Figura 19 — Funcionamento do Registrador de Dados



Fonte: O autor (2019).

Os sistemas e *softwares* utilizados para a construção do registrador de dados podem ser visualizados na Figura 20.

Figura 20 — Sistemas e *Softwares* Utilizados para a Construção do Registrador de Dados

Fonte: O autor (2020).

Todos os parâmetros de corrente contínua e corrente alternada coletados podem ser visualizados na Tabela 7.

Tabela 7 — Tabela de Parâmetros Elétricos

(continua)

Tipo	Parâmetro	Unidade
CC	Tensão	V
CC	Corrente	A
CC	Potência	kW
CA	Tensão da primeira fase	V
CA	Tensão da segunda fase	V
CA	Tensão da terceira fase	V
CA	Frequência	Hz
CA	Corrente da primeira fase	A
CA	Corrente da segunda fase	A
CA	Corrente da terceira fase	A
CA	Potência Ativa (P)	kW

Tabela 7 — Tabela de Parâmetros Elétricos

(conclusão)

Tipo	Parâmetro	Unidade
CA	Potência Reativa (Q)	kvar
CA	Potência Aparente (S)	kVA
CA	Fator de Potência	-
CA	Energia Ativa	kWh
CA	Energia Reativa	kWh

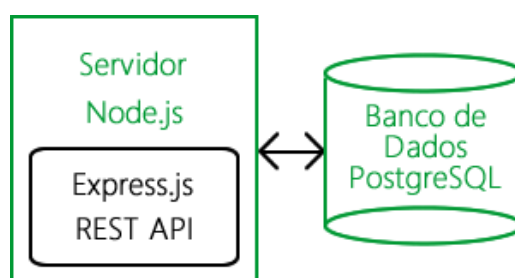
Fonte: O autor (2019).

4.2.5 Servidor Web para Gerenciamento de Dados

Para este projeto, foi escolhido um servidor em nuvem por apresentar alta escalabilidade e permissão de customização através da instalação de novos *softwares* e aumento na capacidade de processamento, memória ou armazenamento ao longo do tempo.

A maior parte das regras de negócio da aplicação foram alocadas no servidor, seguindo o modelo cliente-servidor e sendo disponibilizadas para a IHM a partir de uma *API* desenvolvida especificamente para o sistema. A arquitetura do servidor *web* pode ser visualizada na Figura 21.

Figura 21 — Arquitetura do Servidor Web



Fonte: O autor (2020).

Para proporcionar a execução de código no servidor foi instalado o *Node.js*, um ambiente *Javascript Runtime* capaz de executar *scripts* codificados em *JavaScript* sem a necessidade do navegador. A versão do *Node.js* instalada no servidor foi a 12.11.1.

Todas as requisições da interface são feitas ao servidor por meio de chamadas a *REST API* que foi desenvolvida para o sistema. Esta *API* foi desenvolvida utilizando o *framework* de desenvolvimento *Express.js*. De acordo com o site oficial da Express (2019), a estrutura fornece um vasto conjunto de recursos para aplicações *web* e móveis.

As rotas, os métodos *HTTP* aceitos e suas descrições que foram desenvolvidas para o presente trabalho podem ser visualizadas na Tabela 8.

Tabela 8 — Recursos da API

Rota	Método HTTP	Descrição
api/parameters	GET	Retorna parâmetros elétricos selecionados em formato JSON
api/parameters	POST	Guarda todos os parâmetros elétricos recebidos.
api/live	GET	Retorna todos os parâmetros elétricos coletados nos últimos 5 segundos em formato JSON.
api/live	POST	Guarda todos os parâmetros elétricos recebidos em formato JSON.
api/weather	GET	Retorna todos os parâmetros meteorológicos em formato JSON.
api/weather	POST	Captura todos os parâmetros meteorológicos disponíveis através da estação solarimétrica mediante conexão com a API AmmonitOR e salva no banco de dados do servidor.
api/login	POST	Efetua login do usuário no sistema mediante confirmação de usuário e senha.
api/logout	DELETE	Efetua logout do usuário no sistema.

Fonte: O autor (2019).

Para customizar ainda mais as requisições e definir novas características foram desenvolvidas as consultas da Tabela 9 que podem ser utilizadas em conjunto com as rotas *api/parameters* e *api/weather*.

Tabela 9 — Consultas para Filtragem

(continua)

Query	Descrição	Tipo de Dados
startDate	Definir o início do período selecionado.	Date
endDate	Definir o fim do período selecionado.	Date

Tabela 9 — Consultas para Filtragem

(conclusão)

Query	Descrição	Tipo de Dados
truncBy	Definir o formato de agrupamento dos dados. (Minute: minuto; Hour: hora; Day: dia; Week: semana; Month: mês; Year: ano)	String
target	Definir o parâmetro alvo para buscar na base de dados.	String

Fonte: O autor (2019).

A *API* desenvolvida retorna parâmetros para avaliação energética definidos na norma IEC (2016) como a temperatura ambiente, irradiação no plano, velocidade do vento, produção de energia gerada, fator de capacidade, eficiência, rendimento, entre outros. As expressões para cálculo de cada um dos parâmetros podem ser encontradas no capítulo 3 do presente trabalho.

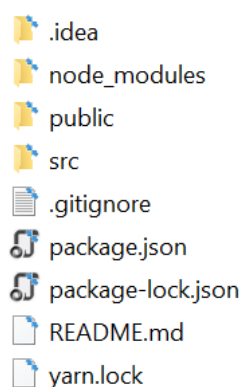
Todas as rotas são protegidas e qualquer requisição de um cliente necessita, obrigatoriamente, enviar um *Token* de segurança válido em seu cabeçalho.

4.2.6 Aplicação *Web* para Visualização dos Dados Coletados

4.2.6.1 Estrutura de Projeto da Aplicação

A aplicação *web* foi implementada utilizando a biblioteca de desenvolvimento *React* e possui uma estrutura de projeto subdivida em pastas contendo diferentes recursos, arquivos, bibliotecas e configurações. A Figura 22 demonstra a estrutura base do projeto da aplicação.

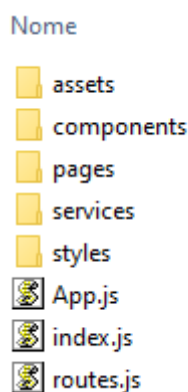
Figura 22 — Amostra da Estrutura Base do Projeto da Aplicação



Fonte: O autor (2019).

No diretório *src* encontra-se os componentes e arquivos *web* codificados em *HTML*, *CSS* e *JavaScript*. A Figura 23 apresenta a estrutura dos diretórios encontrados na pasta *src*.

Figura 23 — Amostra da Estrutura do Projeto da Aplicação



Fonte: O autor (2020).

Na pasta *assets* encontram-se recursos e arquivos estáticos como o logo da instituição. O diretório *components* agrupa todos os componentes compartilhados do sistema como gráficos, botões, cabeçalhos, rodapés, entre outros. Todas as páginas do sistema são encontradas na pasta *pages*. Os serviços comuns como o código de conexão com o servidor *web* ou serviços de autenticação do sistema são armazenados no diretório *services*. Na pasta *styles* são encontrados os arquivos de estilos globais, estes que ajudam na criação da parte visual do sistema como estilização de botões, tamanho e cor dos textos, além de outras propriedades da aparência do sistema. Os arquivos *App.js*, *index.js* e *routes.js* definem quais rotas e páginas da aplicação cliente podem ser acessadas pelo usuário, além de conter as regras para a inicialização do software.

Cada componente do sistema foi codificado separadamente e possui funcionalidades diferentes. O componente principal pode ser encontrado no arquivo *App.js*. Este é o componente que declara todos os outros componentes e habilita o funcionamento de todas as páginas. Para que o sistema navegue entre as páginas sem requisições adicionais foi utilizada a biblioteca *React Router*. Esta biblioteca permite a criação de rotas e apresentar o conteúdo de componentes criados em *React* sem a necessidade de requisições extras do protocolo *HTTP*.

Pode-se observar na Figura 24 a criação das rotas para as páginas painel de controle, produção, parâmetros medidos, desempenho do sistema, clima e parâmetros ao vivo no atributo *component* no código do arquivo *routes.js*.

Figura 24 — Codificação das rotas no *React Router*

```
export default function Routes() {
  return (
    <BrowserRouter>
      <Switch>
        <Route exact path="/" component={SignIn} />
        <PrivateRoute exact path="/dashboard" title="Dashboard" component={Dashboard} />
        <PrivateRoute exact path="/producao" title="Produção" component={Production} />
        <PrivateRoute exact path="/parametros-medidos" title="Parâmetros Medidos" component={MeasuredParameters} />
        <PrivateRoute exact path="/desempenho-do-sistema" title="Desempenho do Sistema" component={SystemPerformance} />
        <PrivateRoute exact path="/clima" title="Clima" component={Weather} />
        <PrivateRoute exact path="/ao-vivo" title="Ao Vivo" component={Live} />
      </Switch>
    </BrowserRouter>
  )
}
```

Fonte: O autor (2020).

4.2.6.2 Acesso aos dados pelo consumo da *API*

Para buscar os dados disponibilizados pelo servidor foi necessário o consumo da *REST API* desenvolvida neste projeto. O consumo foi feito pelo uso da biblioteca *Axios* no *JavaScript*. A Figura 25 apresenta o processo para inicialização da biblioteca no código como um serviço.

Figura 25 — Exemplo de inicialização da biblioteca *Axios*

```
import axios from "axios";

const api = axios.create({
  baseURL: process.env.REACT_APP_API_URL || "https://localhost:3000"
});
```

Fonte: O autor (2020).

O método *create* da biblioteca recebe o endereço *URL* da *API* e permite sua manipulação futura através do objeto criado. Após a inicialização da biblioteca *Axios*, pode-se efetuar requisições a *API* através dos métodos *HTTP*. A Figura 26 demonstra um exemplo de chamada a requisição de parâmetros elétricos à *API* através do método *HTTP POST*.

Figura 26 — Exemplo de uso da biblioteca *Axios*

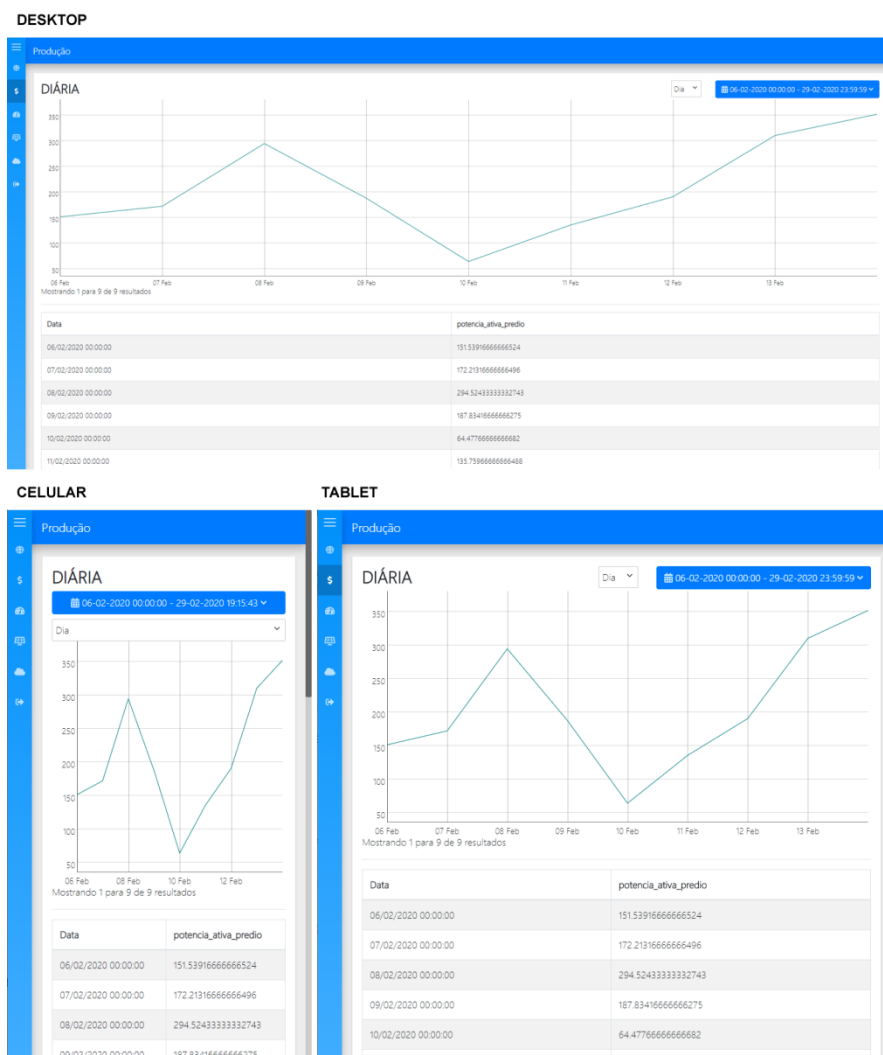
```
const parametersResponse = await api.post("/api/records/parameters", {  
  startDate: section01StartDate,  
  endDate: section01EndDate,  
  target: targets  
});
```

Fonte: O autor (2020).

4.2.6.3 Desenvolvimento *web front-end* responsivo

Para permitir o funcionamento da aplicação *web* em diversas resoluções e tamanhos de dispositivos foi utilizado o *framework Bootstrap*. O *Bootstrap* permitiu o desenvolvimento responsivo com maior facilidade e a execução da aplicação *web* em computadores *desktop*, celulares e *tablets* sem a necessidade de desenvolvimento único para cada plataforma. A Figura 27 apresenta a aplicação sendo executada em um computador, celular e *tablet*.

Figura 27 — Exemplo de uso da aplicação em diferentes dispositivos



Fonte: O autor (2020).

4.2.6.4 Apresentação de Dados e Informações

Os dados e informações são apresentadas por meio de gráficos e textos. Para a criação de todos os gráficos da interface foram utilizadas as bibliotecas de gráficos modernas *ApexCharts* e *Dygraphs*. Segundo os sites oficiais das bibliotecas, todos os elementos visuais disponibilizados são responsivos, interativos, dinâmicos e de alto desempenho. Para a apresentação gráfica de alguns dados e informações deste projeto foram utilizados os gráficos em formato de área, coluna, barra e pizza.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos através da implementação do sistema de monitoramento e aquisição de dados, da coleta de dados, do estudo de caso e da comparação do sistema desenvolvido com um sistema de aquisição de dados comercial serão apresentados e discutidos neste capítulo.

5.1 REGISTRADOR PARA COLETA DE DADOS

O computador de placa única *Raspberry Pi 3 Modelo B* funcionou corretamente e apresentou alto desempenho durante a coleta dos dados. A possibilidade de utilização de um sistema operacional com interface gráfica permitiu maior facilidade durante o desenvolvimento do sistema e também na conexão e envio dos dados entre o registrador de dados e a *API* desenvolvida. O equipamento em funcionamento pode ser visualizado na Figura 28.

Figura 28 — *Raspberry Pi 3 Modelo B* como Registrador de Dados



Fonte: O autor (2020).

A utilização de um computador de placa única também apresentou baixo consumo de energia elétrica se comparado com computadores convencionais. Isto

aumenta ainda mais a eficiência do sistema de aquisição reduzindo possíveis gastos com energia elétrica.

5.2 SERVIDOR WEB PARA GERENCIAMENTO DOS DADOS

Para o gerenciamento dos dados coletados pelo registrador de dados foi configurado um servidor *web* e desenvolvida uma *API* de comunicação. O servidor *web* em nuvem funcionou corretamente e apresentou ótimo desempenho para armazenamento e processamento dos dados e parâmetros de desempenho requisitados pela aplicação *web*. Todas as rotas necessárias para o funcionamento da aplicação e do registrador de dados foram configuradas corretamente e seu acesso foi testado durante todo o processo. Vale ressaltar que o armazenamento dos dados em nuvem permite escalonar e aumentar o espaço em disco mantendo apenas o valor necessário sem riscos para perda de dados.

5.3 APLICAÇÃO WEB PARA APRESENTAÇÃO DE DADOS

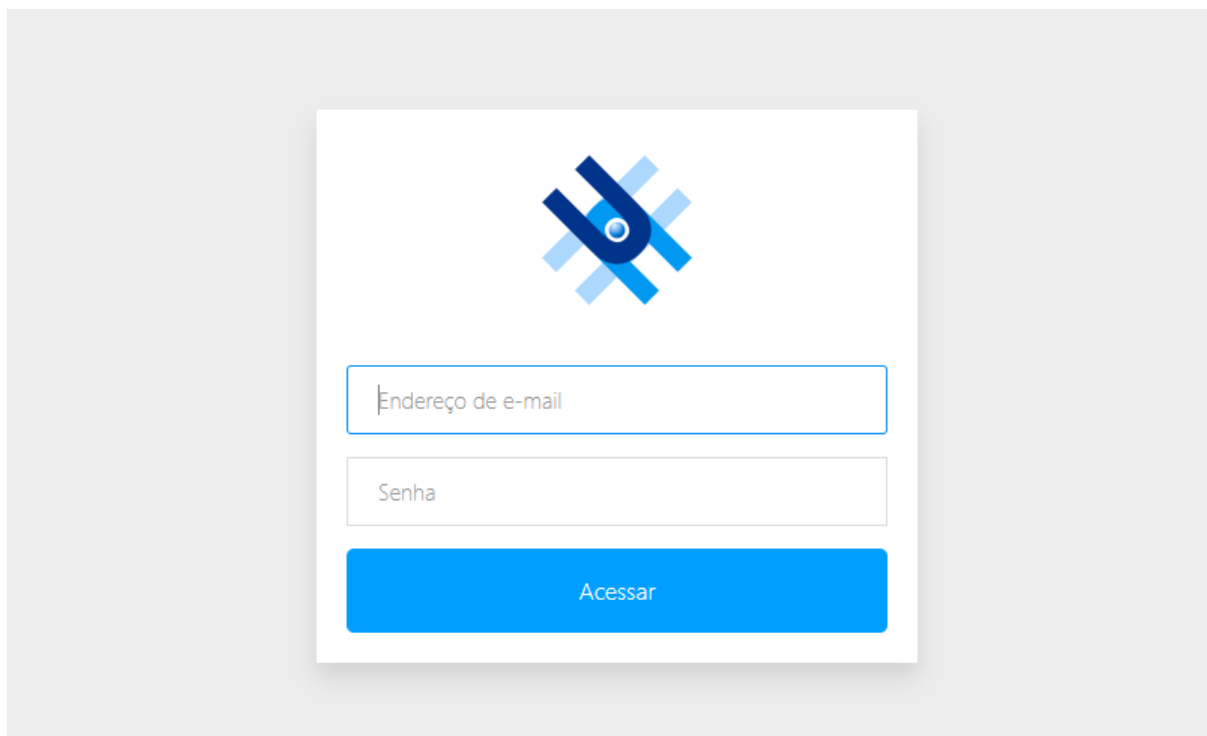
Para a apresentação dos dados coletados pelo registrador de dados e armazenados no servidor *web* foi desenvolvida uma aplicação *web*. A aplicação *web* foi dividida em diferentes páginas para melhor visualização dos dados como painel de controle, produção, desempenho do sistema, clima e parâmetros medidos. Na aba painel de controle, o *software* apresenta informações sobre o sistema fotovoltaico instalado nos prédios F e G da universidade, separadas por blocos. A aplicação permite visualizar os parâmetros elétricos de corrente contínua e alternada, além de parâmetros meteorológicos como temperatura ambiente, umidade, velocidade do vento e irradiação solar. Cada bloco da página representa um inversor e contém o número de *strings* e módulos instalados.

5.3.1 Tela de Login

Nesta página, o usuário pode efetuar o login e receber autorização para visualizar todos os dados e ferramentas do sistema. O navegador será redirecionado para esta página caso o usuário tente visitar qualquer outra página ou rota sem ter

feito previamente sua autenticação. Para isso, o usuário necessita preencher os campos de e-mail, senha e pressionar o botão "Acessar". A tela de login pode ser visualizada na Figura 29.

Figura 29 — Tela de *Login*

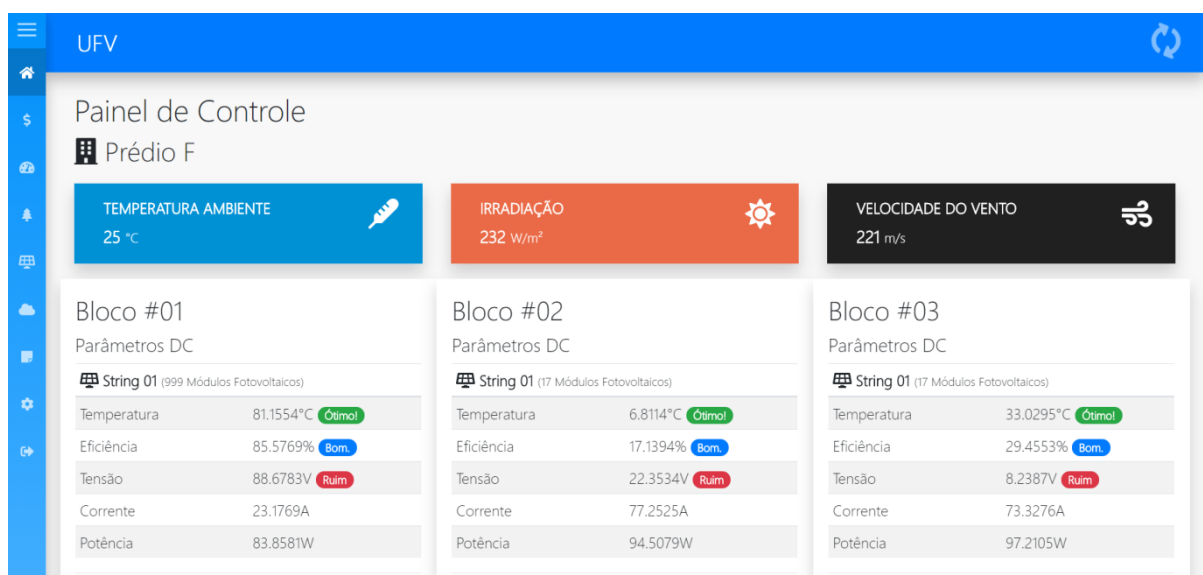


Fonte: O autor (2020).

5.3.2 Painel de Controle

A página Painel de Controle apresenta os dados coletados do sistema em tempo real. Os parâmetros podem ser observados ao vivo e organizados por prédio, inversor e arranjo fotovoltaico. A Figura 30 apresenta a interface da página Painel de Controle.

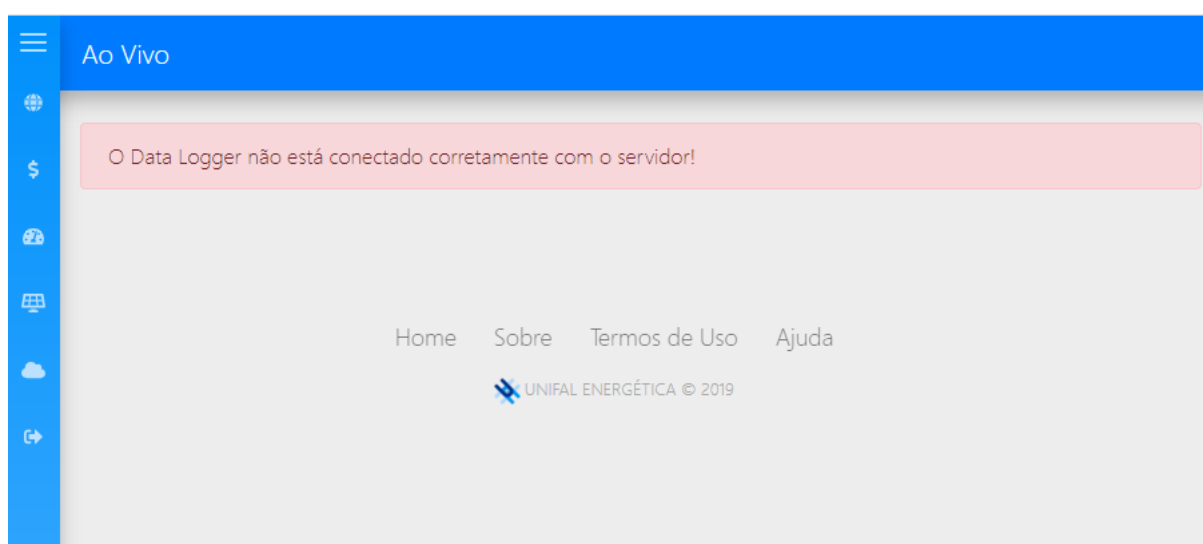
Figura 30 — Interface do Painel de Controle



Fonte: O autor (2020).

Caso não exista comunicação entre o registrador de dados e o servidor através da *API backend*, por qualquer motivo, como falta de conexão com a *internet*, queda da rede elétrica ou problemas referentes ao equipamento, o sistema informará ao usuário através de uma mensagem de alerta. A mensagem pode ser visualizada na Figura 31.

Figura 31 — Mensagem quando não há conexão com o Registrador de Dados

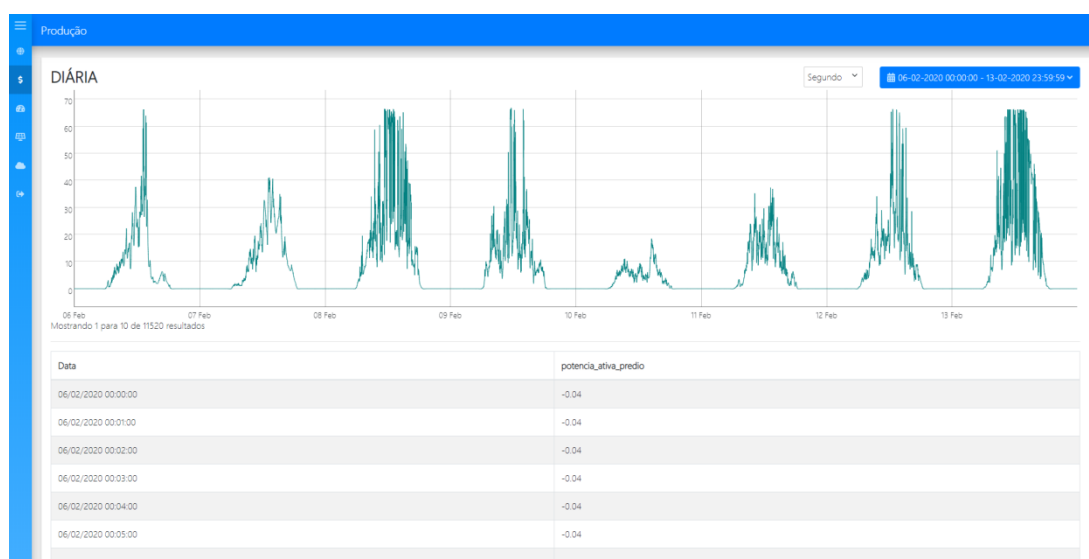


Fonte: O autor (2020).

5.3.3 Página Produção

A página apresenta a produção de potência do sistema e de cada componente medido da miniusina. A interface permite a definição de um período de tempo e a visualização dos dados em um gráfico no formato diário ou acumulado. A página pode ser visualizada nas Figuras 32, 33 e 34.

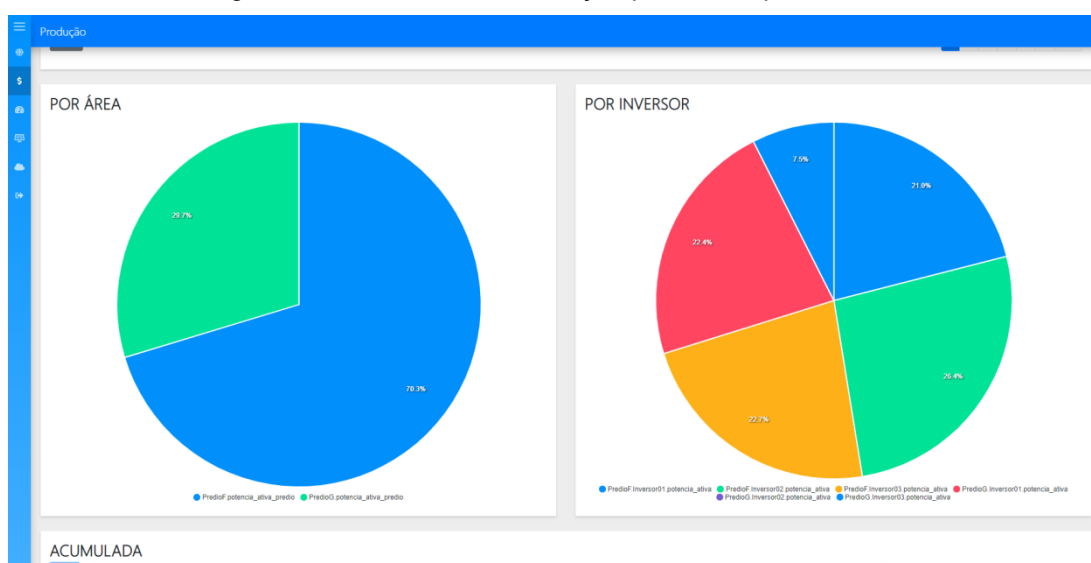
Figura 32 — Interface da página de Produção



Fonte: O autor (2020).

Além do gráfico de linha diário com os valores de potência CA, a página também apresenta, em gráficos de pizza, a produção por área, incluindo os prédios F e G, e a produção de potência por inversor. Os gráficos podem ser observados na Figura 33.

Figura 33 — Interface de Produção por Área e por Inversor



Fonte: O autor (2020).

A interface permite a visualização dos valores de forma acumulada, podendo ser agrupados por dia, semana, mês ou ano, sendo apresentados graficamente em formato de colunas.

Figura 34 — Interface de Produção por Potência Acumulada



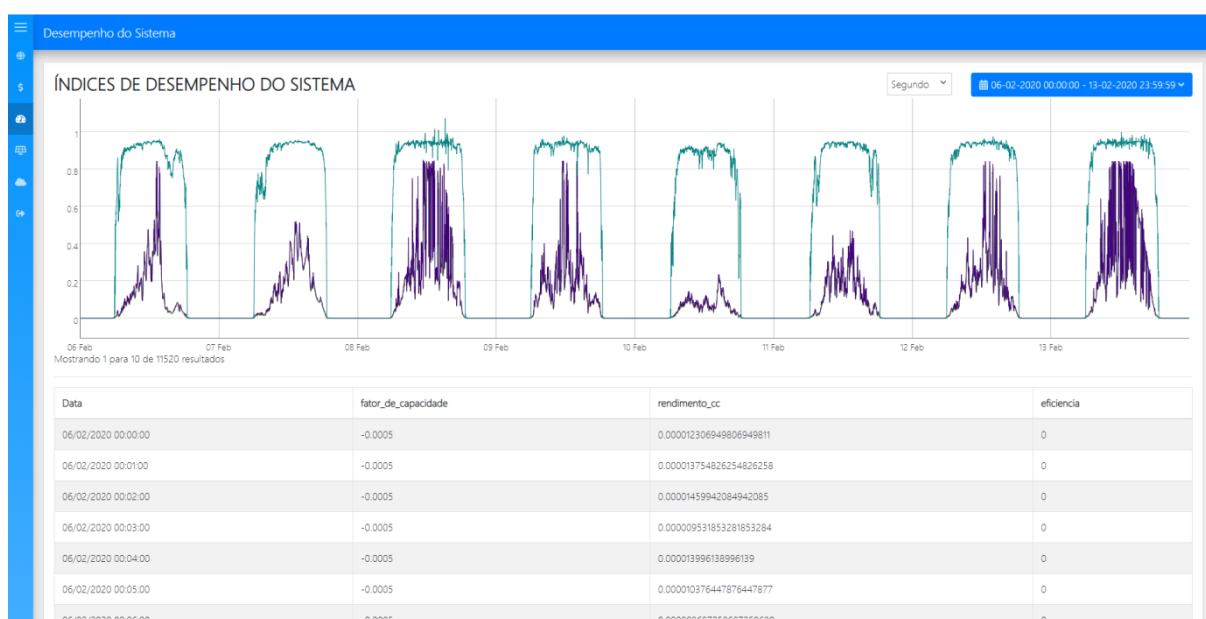
Fonte: O autor (2020).

Todos as informações são apresentadas não somente em formato de gráficos, porém também em tabelas, permitindo sua ordenação de forma crescente ou decrescente, por qualquer coluna.

5.3.4 Página Desempenho do Sistema

Os índices de desempenho do sistema podem ser visualizados na página Desempenho do Sistema. O usuário pode escolher o período observado e o formato de agrupamento dos dados. Os parâmetros apresentados no gráfico diário são o fator de capacidade, o rendimento CC e a eficiência de conversão CC/CA do sistema. A página pode ser visualizada nas Figuras 35, 36 e 37.

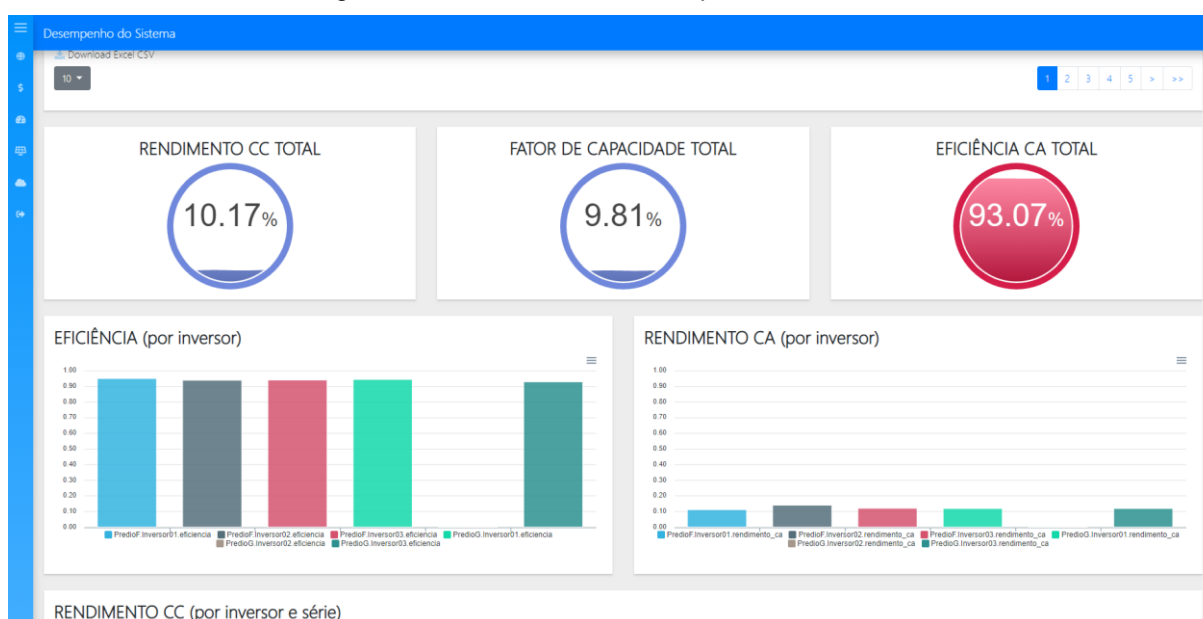
Figura 35 — Índices de Desempenho do Sistema por Minuto



Fonte: O autor (2020).

A seção apresenta em formato de gráfico e tabelas os dados coletados e calculados por modelos matemáticos. Pode-se observar na Figura 36 a apresentação das taxas de desempenho esperadas e calculadas a partir de parâmetros medidos.

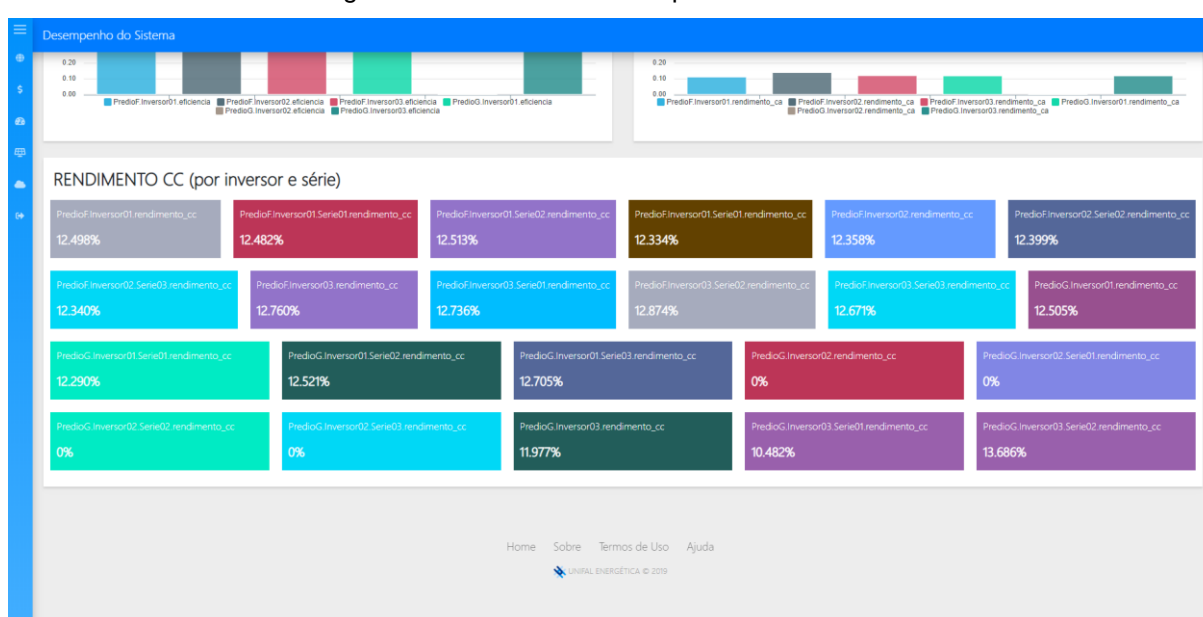
Figura 36 — Interface de Desempenho do Sistema



Fonte: O autor (2020).

A página também apresenta indicadores representando os valores totais do rendimento CC, fator de capacidade e eficiência de conversão CC/CA pelos inversores. Além disso, pode-se visualizar gráficos de barra que apresentam valores de eficiência e rendimento para cada inversor para o período informado.

Figura 37 — Rendimento CC por Série e Inversor



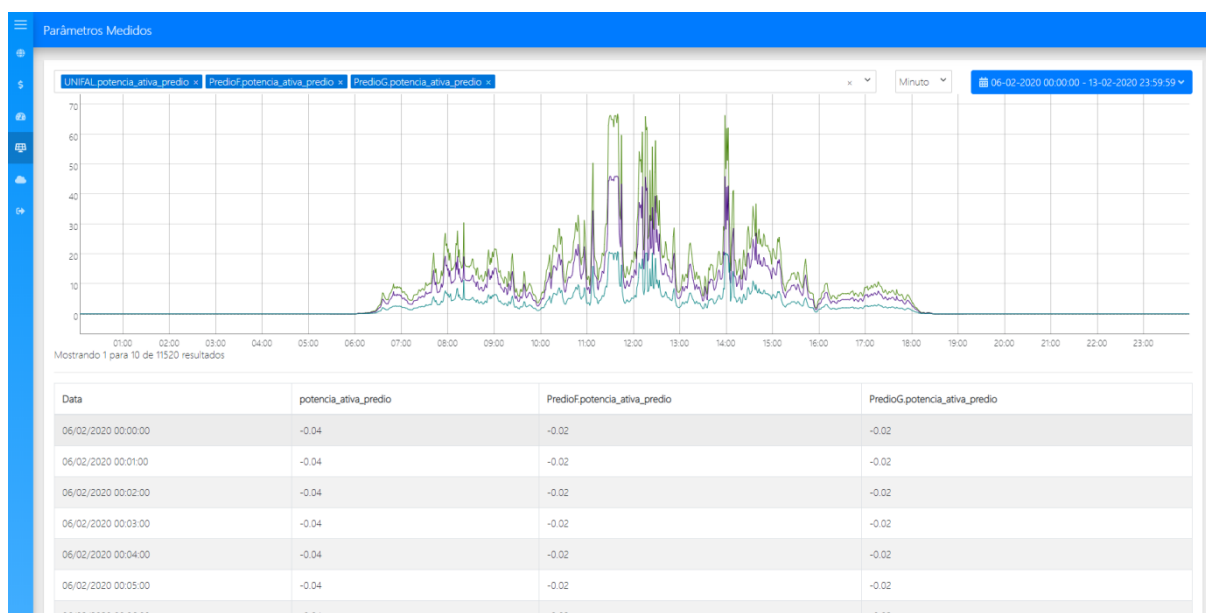
Fonte: O autor (2020).

Os valores percentuais de rendimento CC para cada inversor e série do sistema também podem ser visualizados nesta página na respectiva aba. A Figura 37 apresenta como os dados são organizados em formato de caixa contendo um rótulo (título do equipamento) e valor.

5.3.5 Página Parâmetros Medidos

A página de Parâmetros Medidos proporciona a escolha de múltiplos parâmetros que foram coletados ao longo do período. É possível escolher parâmetros elétricos e meteorológicos a partir de uma caixa de seleção.

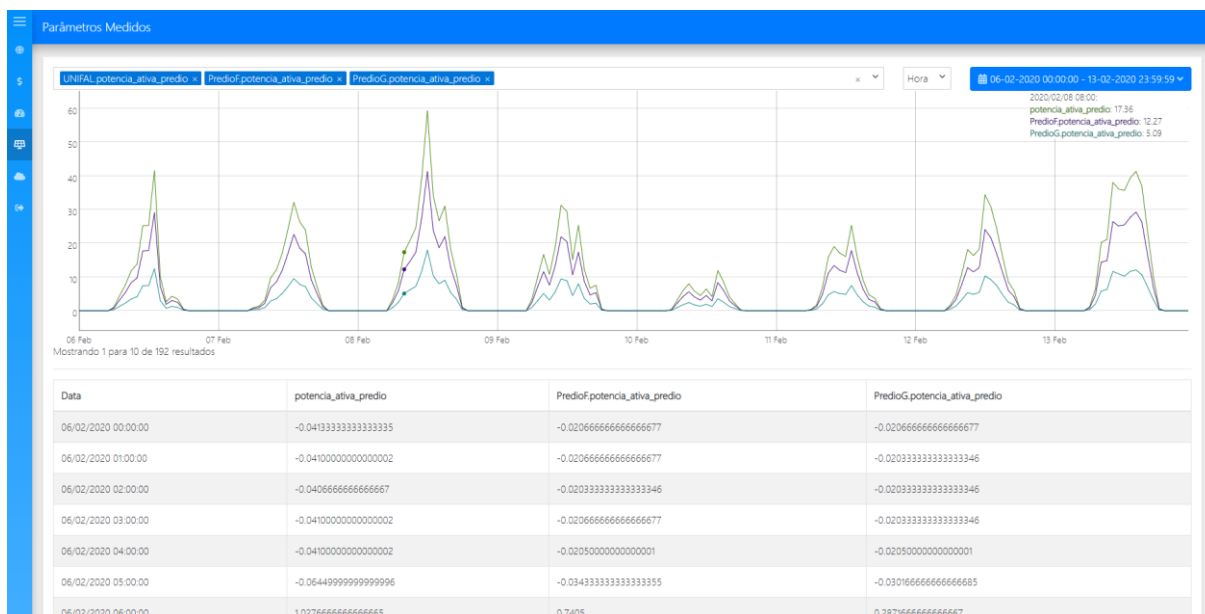
Figura 38 — Interface de Parâmetros Medidos



Fonte: O autor (2020).

A Figura 38 apresenta o gráfico das potências ativas do sistema e dos prédios F e G para o período observado acumulado por minuto. Através da sobreposição do cursor do mouse nos pontos do gráfico a interface permite a visualização dos valores para cada ponto, apresentando no lado superior direito o rótulo com o nome do parâmetro e seu respectivo valor. Esta funcionalidade pode ser observada na Figura 39, que apresenta dados para o período acumulados por hora.

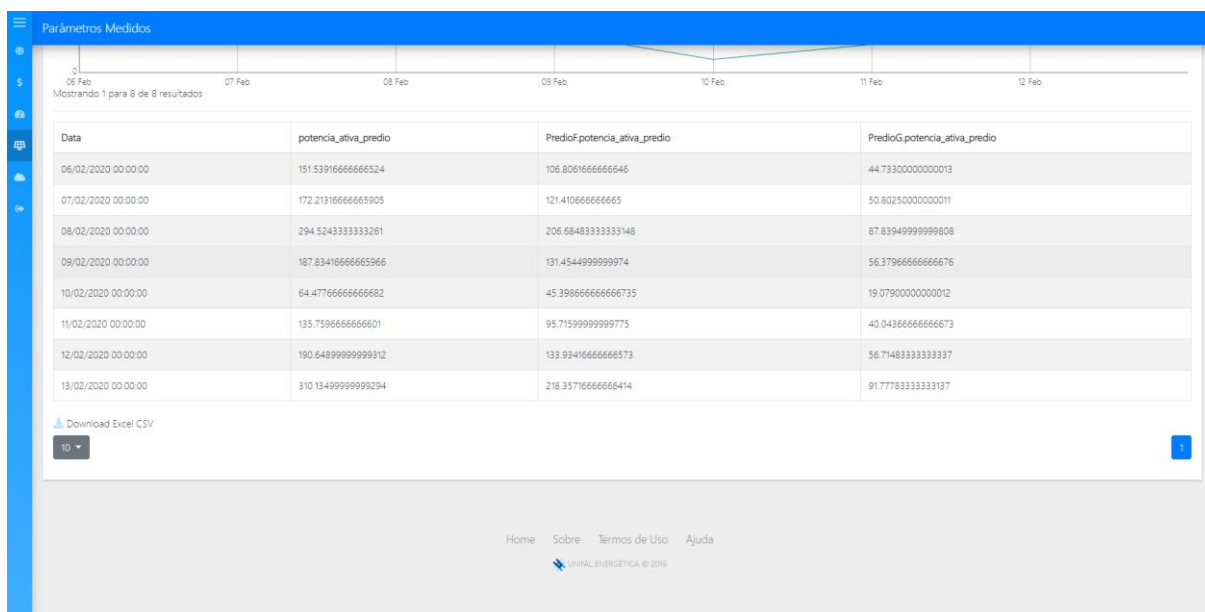
Figura 39 — Interface de Parâmetros Medidos Acumulados por Hora



Fonte: O autor (2020).

Além disso, a página apresenta todos os dados selecionados em formato tabular, permitindo a ordenação dos dados por seção, através da seleção de um cabeçalho da tabela, modificando a ordem para crescente ou decrescente em relação a coluna escolhida. Um exemplo de funcionamento da tabela de dados pode ser visualizado na Figura 40.

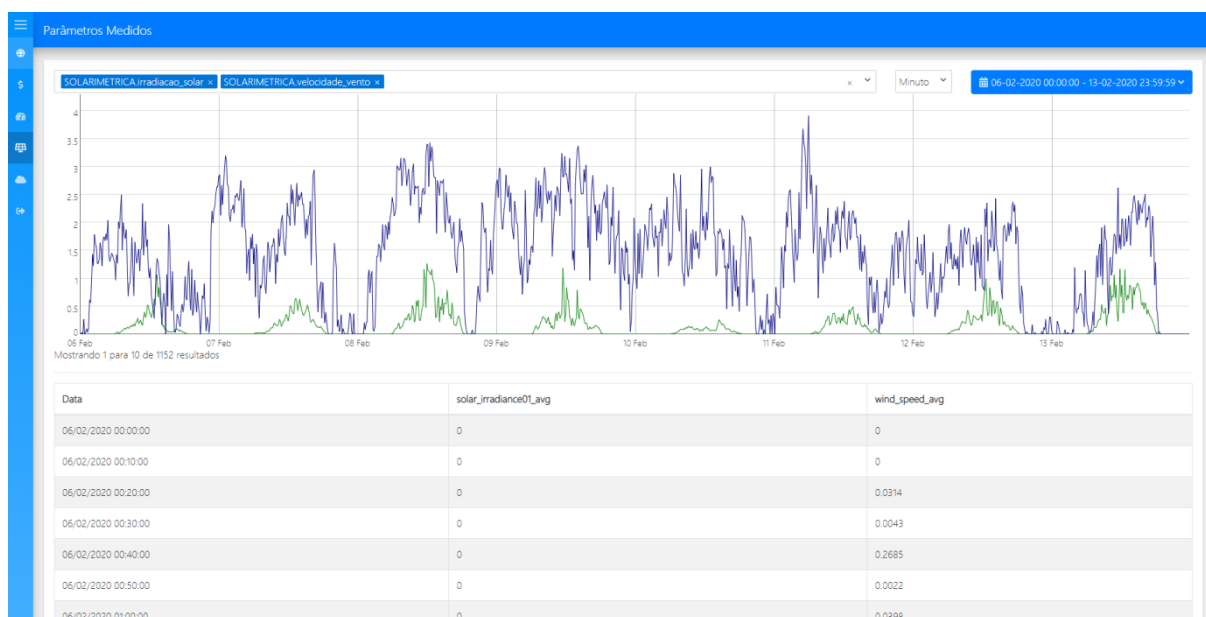
Figura 40 — Tabela de Dados em Interface de Parâmetros Medidos



Fonte: O autor (2020).

A interface também permite a seleção de parâmetros coletados a partir da estação solarimétrica instalada na universidade. Os dados da solarimétrica podem ser visualizados em diferentes formatos acumulados. A Figura 41 apresenta a seleção da irradiação solar e a velocidade do vento através do sistema.

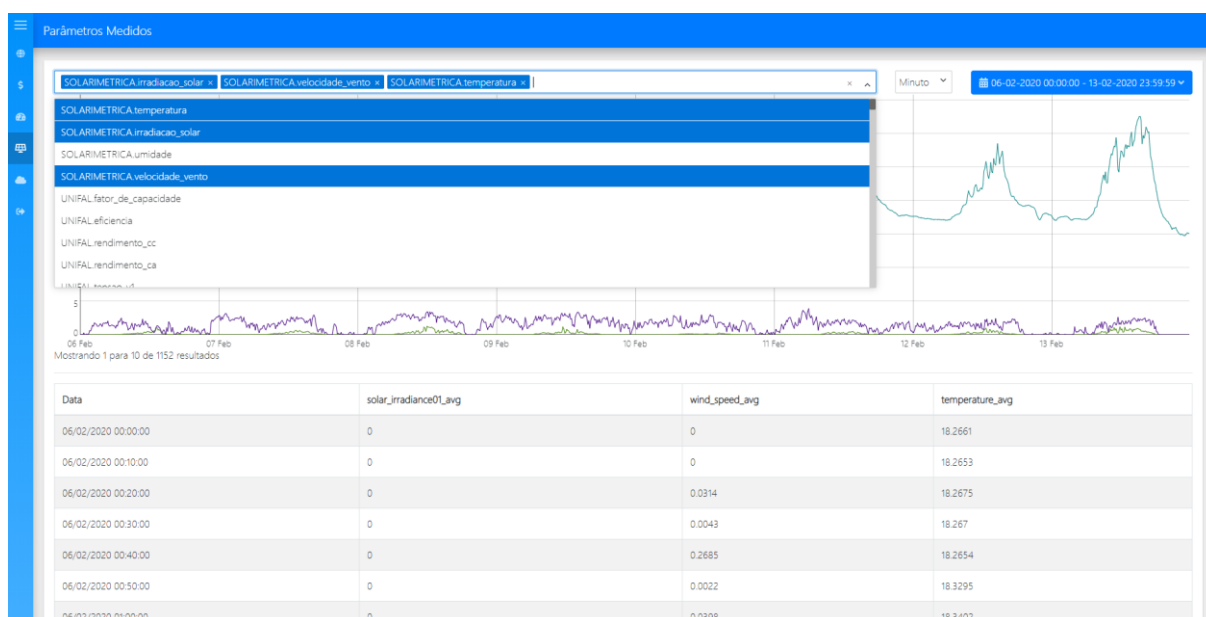
Figura 41 — Interface de Parâmetros Medidos com Dados da Solarimétrica



Fonte: O autor (2020).

A caixa de seleção também permite a escolha de múltiplos parâmetros ao mesmo tempo, sem a necessidade de recarregamento da página, melhorando a experiência do usuário ao utilizar o sistema. O usuário pode navegar por todos os parâmetros e selecionar ou remover a propriedade desejada. A Figura 42 apresenta um exemplo da seleção de múltiplos parâmetros através da caixa de seleção superior.

Figura 42 — Interface de Parâmetros Medidos permitindo a seleção de múltiplos parâmetros



Fonte: O autor (2020).

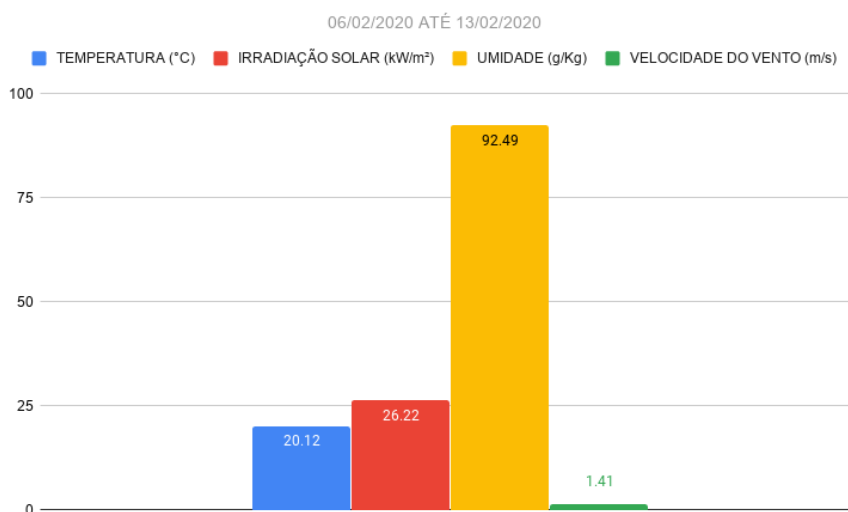
5.4 IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA

O sistema de aquisição de dados foi efetivamente instalado no sistema solar fotovoltaico nas dependências da Universidade Federal de Alfenas, campus Poços de Caldas e, para análise futura da miniusina, foram coletados parâmetros entre os dias 06/02/2020 e 13/02/2020. Durante as etapas de testes, todos os parâmetros elétricos foram coletados e salvos no servidor remoto e em um banco de dados local.

5.4.1 Parâmetros Meteorológicos Médios

Os parâmetros meteorológicos foram coletados através da estação solarimétrica. Pode-se observar os dados na Figura 43, sendo os valores médios de temperatura, irradiação solar, umidade e velocidade do vento, 20.12°C, 26.22kW/m², 92.49g/Kg e 1.41m/s, respectivamente, para o período observado.

Figura 43 — Parâmetros Meteorológicos Médios

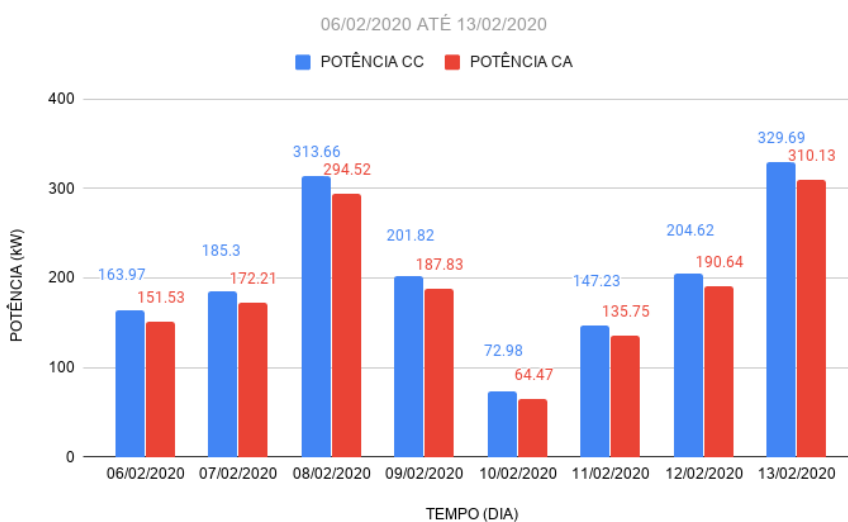


Fonte: O autor (2020).

5.4.2 Produção CC/CA por Dia do Sistema

As medições de potência do sistema podem ser visualizadas na Figura 44.

Figura 44 — Potência CC/CA do Sistema por Dia



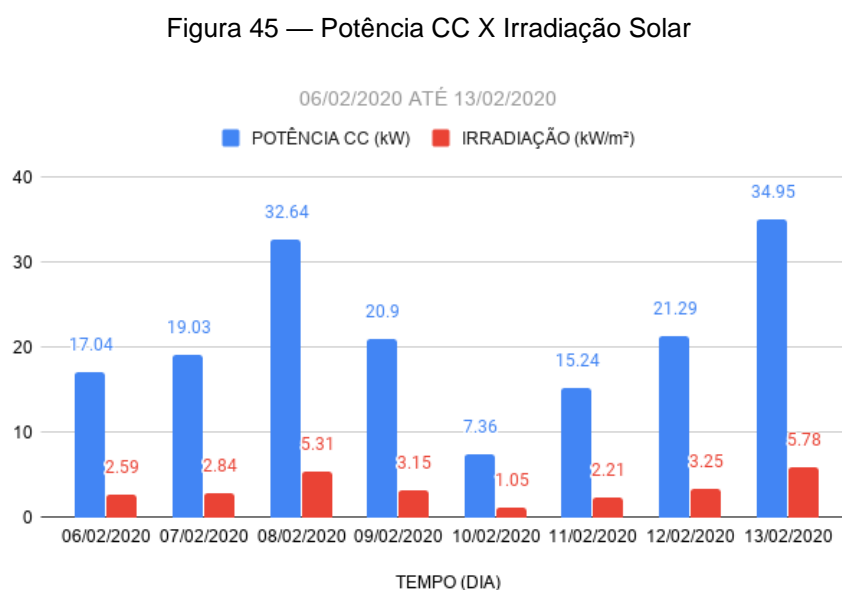
Fonte: O autor (2020).

A menor potência foi gerada no dia 10/02/2020, registrando 72.98kW em corrente contínua e 64.47kW em corrente alternada, enquanto o pico de potência da

semana foi gerado no dia 13/02/2020 com valores de 329.69kW em corrente contínua e 310.13kW em corrente alternada.

5.4.3 Potência CC X Irradiação

A Figura 45 apresenta a relação da potência CC gerada pelos módulos fotovoltaicos instalados no sistema e a irradiação medida no período observado.



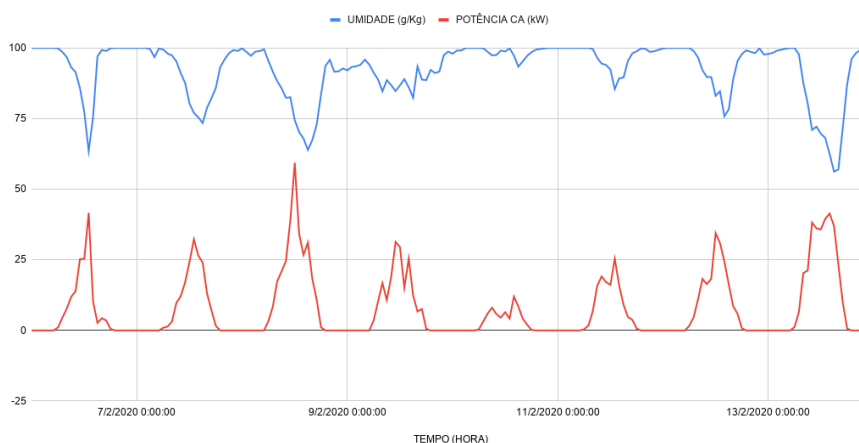
Fonte: O autor (2020).

Pode-se observar que a produção de energia é expressamente relacionada ao valor de irradiação aos quais os equipamentos fotovoltaicos foram expostos. A maior geração ocorreu no dia 13/02/2020 e o pico da irradiação solar também foi visualizada neste dia, assim como a menor geração e irradiação solar foram observadas no dia 10/02/2020.

5.4.4 Umidade x Produção

A Figura 46 apresenta a relação entre a umidade relativa do ar e a potência total do sistema gerada por hora.

Figura 46 — Umidade X Potência do Sistema



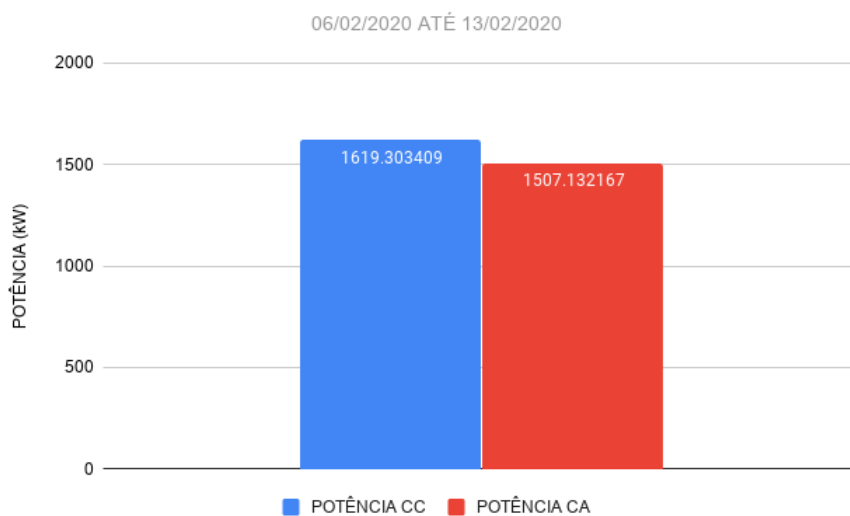
Fonte: O autor (2020).

A Figura 46 demonstra que quanto menor o registro da umidade, maior é a produção de energia do sistema.

5.4.5 Potência CC/CA Total do Sistema

Pode-se visualizar a potência total do sistema em corrente contínua e alternada durante o período observado na Figura 47. A potência em corrente contínua registrada foi de 1619.30kW e a potência em corrente alternada foi de 1507.13kW, apresentando uma eficiência na conversão CC/CA de 93.07%.

Figura 47 — Potência CC/CA Total do Sistema

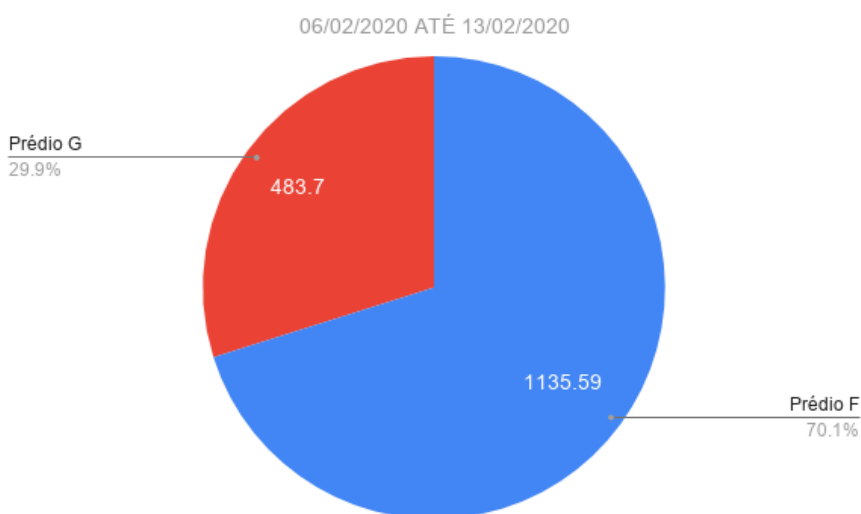


Fonte: O autor (2020).

5.4.6 Potência CC/CA por Prédio

A Figura 48 apresenta a medição da potência de corrente contínua para cada prédio do sistema durante o período avaliado. O prédio G efetuou a geração de 483.7kW, contabilizando 29.9% da geração total, enquanto o prédio F apresentou 1135.59kW de geração, sendo este como 70.1% da produção total.

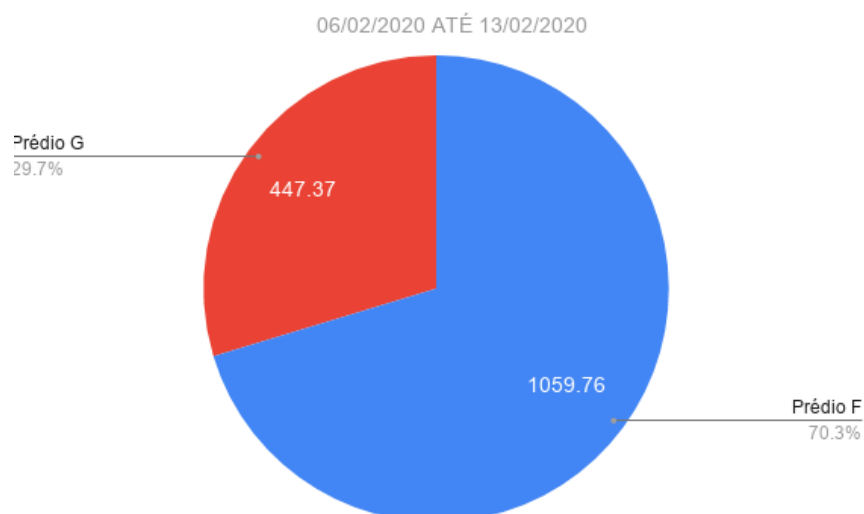
Figura 48 — Potência CC Gerada por Prédio



Fonte: O autor (2020).

A potência CA gerada por prédio do sistema durante o período pode ser observada na Figura 49. O prédio G apresentou a geração de 447.37kW, sendo este 29.7% da produção total e o prédio F produziu 1059.76kW de potência ou 70.3% da produção do sistema.

Figura 49 — Potência CA Gerada por Prédio



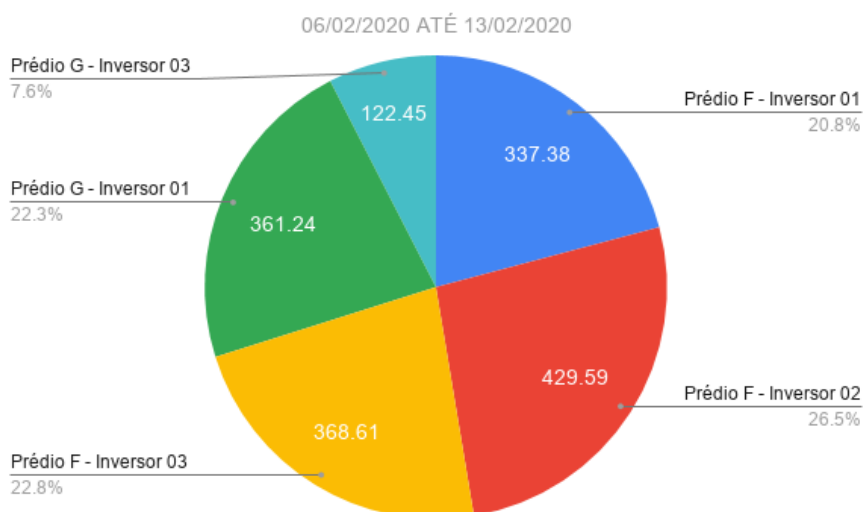
Fonte: O autor (2020).

A discrepância dos valores entre os prédios ocorre pela diferença de potência de painéis e inversores instalados em cada prédio.

5.4.7 Potência de Entrada e Saída por Inversor

Foram medidas as potências de entrada e saída para cada inversor do sistema. As potências CC de entrada para os inversores foram 337.38kW, 429.59kW e 368.61kW para os inversores 1, 2 e 3 do prédio F, juntamente com 361.24kW e 122.45kW para os inversores 1 e 3 do prédio G. O inversor 2 do prédio G não consta no gráfico por estar desligado durante a medição. Os valores das potências CC de entrada podem ser visualizados na Figura 50.

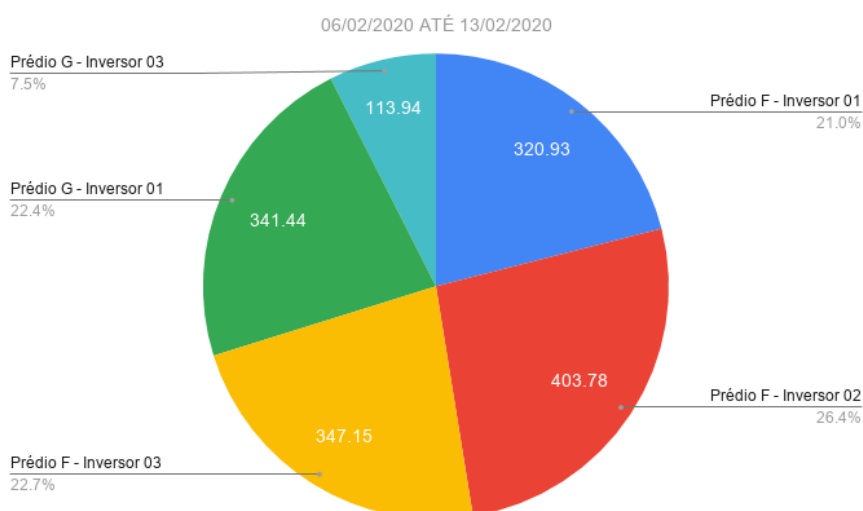
Figura 50 — Potência CC de Entrada por Inversor (kW)



Fonte: O autor (2020).

O gráfico da Figura 51 apresenta a potência de corrente alternada da saída por inversor do sistema. Pode-se observar no gráfico que, as potências CA de saída para os inversores foram 320.93kW, 403.78kW e 347.15kW para os inversores 1, 2 e 3 do prédio F, além de 341.44kW e 113.94kW para os inversores 1 e 3 do prédio G.

Figura 51 — Potência CA de Saída por Inversor



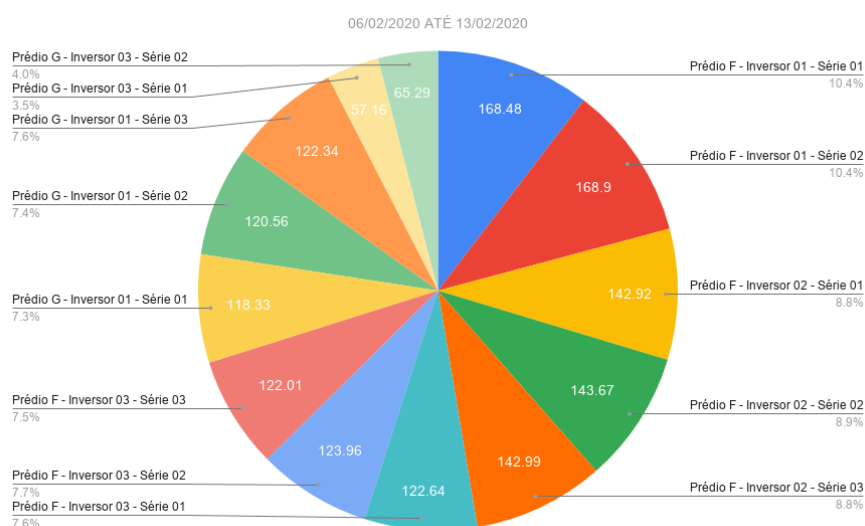
Fonte: O autor (2020).

O inversor 2 do prédio G novamente não consta no gráfico por não estar em funcionamento durante as medições.

5.4.8 Potência CC Gerada por Série

Durante o período observado foram medidas todas as potências CC geradas para cada série instalada no sistema. Os valores de potência CC medidos podem ser observados na Figura 52.

Figura 52 — Potência CC Gerada por Série



Fonte: O autor (2020).

A Tabela 10 apresenta os dados de potência CC gerada por série do prédio F, organizados de forma tabular para melhor visualização

Tabela 10 — Potência CC Gerada por Série do Prédio F

Inversor	Série 01	Série 02	Série 03
1	168.48kW	168.9 kW	Não possui
2	142.92kW	143.67kW	142.99kW
3	122.64kW	123.96kW	122.01kW

Fonte: O autor (2020).

Os dados de potência CC gerada por série do prédio G podem ser visualizados na Tabela 11.

Tabela 11 — Potência CC Gerada por Série do Prédio G

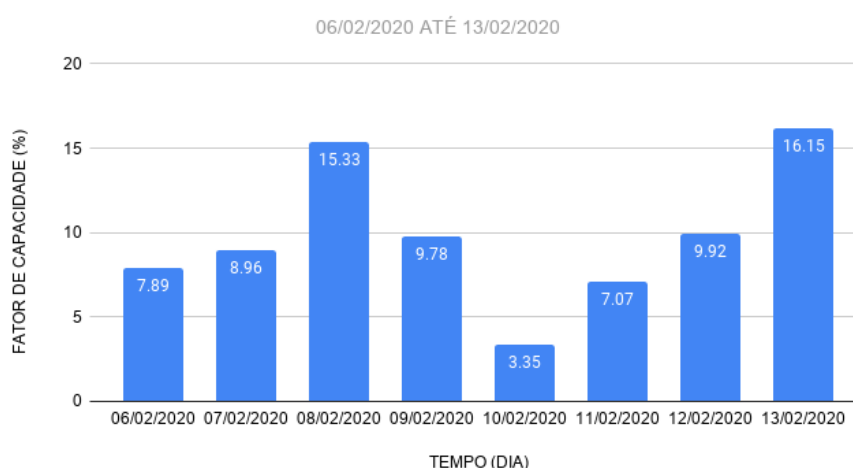
Inversor	Série 01	Série 02	Série 03
1	118.33kW	120.56kW	122.34kW
2	Inversor desligado	Inversor desligado	Inversor desligado
3	57.16kW	65.29kW	Não possui

Fonte: O autor (2020).

5.4.9 Fator de Capacidade

A Figura 53 apresenta o gráfico do fator de capacidade do sistema. O menor fator está contido no dia 10/02/2020 com o valor de 3.35% e o maior valor no dia 13/02/2020, onde seu percentual foi coletado como 16.15%.

Figura 53 — Fator de Capacidade do Sistema

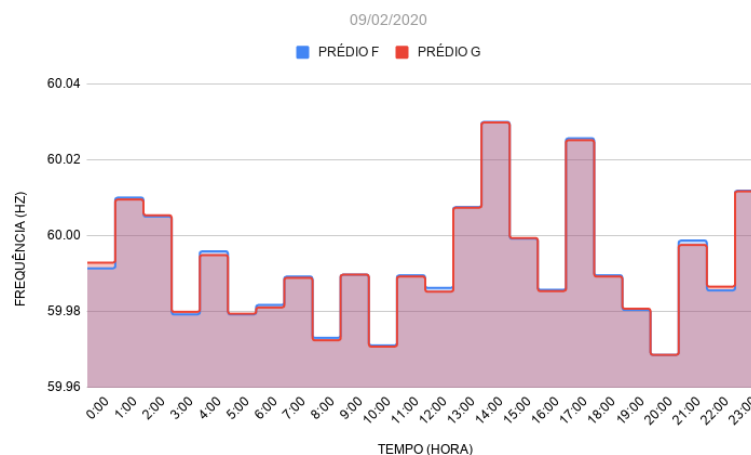


Fonte: O autor (2020).

5.4.10 Frequência dos Prédios F e G

O gráfico da Figura 54 apresenta a frequência média de cada prédio do sistema para o dia 09/02/2020. Os dados foram divididos por hora e na unidade de *hertz*. A frequência apresentou pouca variação, aproximada do valor ideal de 60HZ.

Figura 54 — Frequência dos Prédios F e G



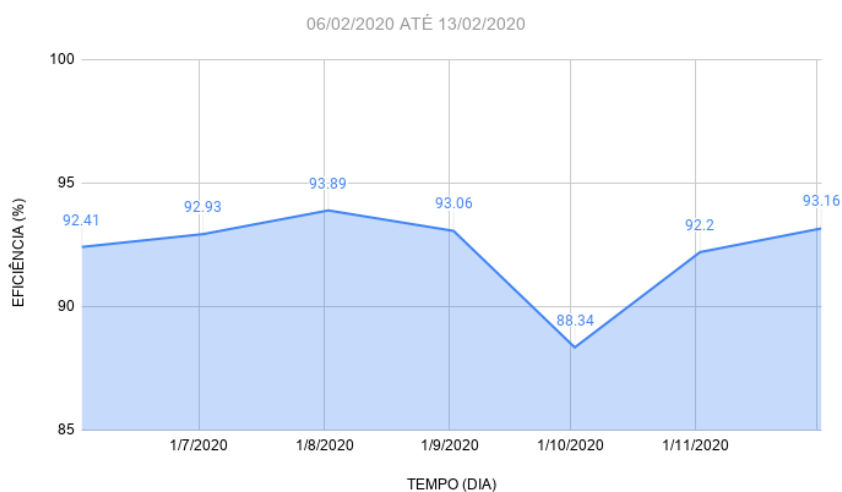
Fonte: O autor (2020).

5.4.11 Índices de Desempenho

Os índices de desempenho observados foram a eficiência de conversão de corrente contínua para corrente alternada total e por hora, sendo o dia 09/02/2020 analisado para o espectro por hora. Os rendimentos de corrente contínua para as séries de entrada para cada inversor e saída por inversor das plantas também foram analisados.

A eficiência de conversão da potência de corrente contínua para corrente alternada do sistema pode ser observada na Figura 55.

Figura 55 — Eficiência de Conversão CC/CA do Sistema

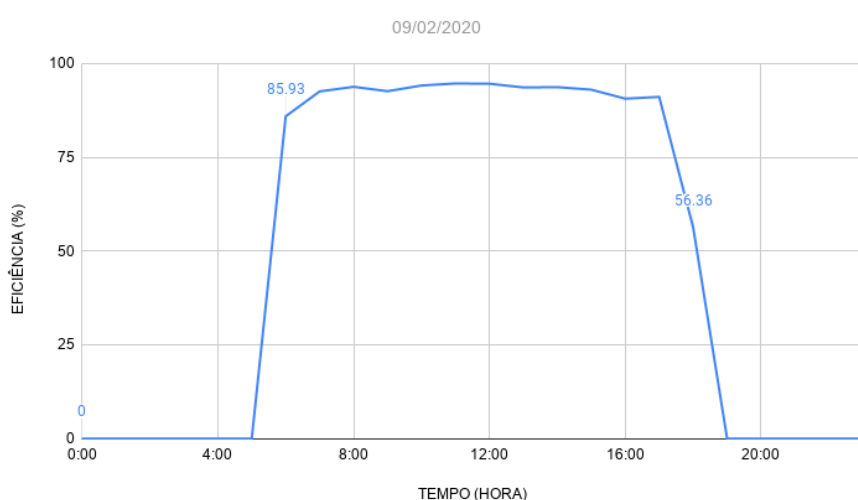


Fonte: O autor (2020).

De acordo com o gráfico, a menor eficiência pode ser visualizada no dia 10/02/2020, onde o valor foi de 88.34% de conversão e a maior eficiência foi encontrada no dia 08/02/2020 com o valor de 93.89%.

A Figura 56 apresenta a eficiência de conversão de corrente contínua para corrente alternada por hora do sistema para o dia 09/02/2020. O pico de maior eficiência foi às 11:00h, apresentando 94.69% de conversão, enquanto a menor eficiência ocorreu às 18:00h com o valor de 56.36%.

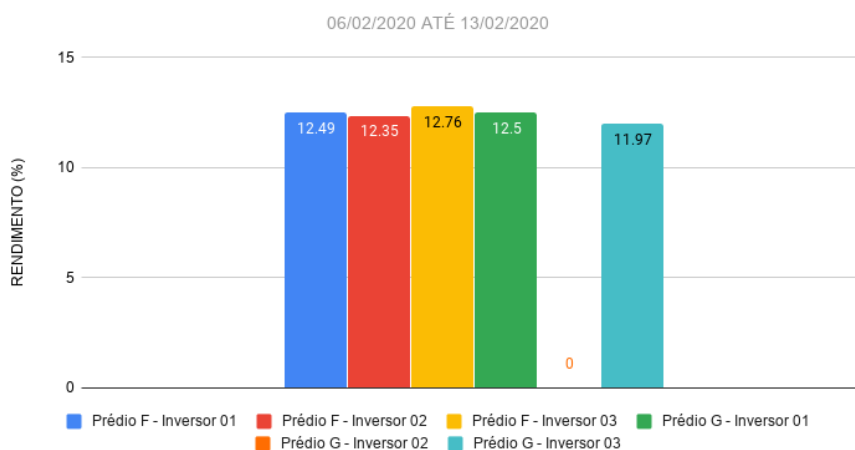
Figura 56 — Eficiência de Conversão CC/CA por Hora do Sistema



Fonte: O autor (2020).

Os valores de rendimento de corrente contínua das séries de entrada para cada inversor dos dois prédios avaliados podem ser visualizados na figura 57. É importante ressaltar que o inversor 02 do prédio G encontrava-se desligado durante a medição, não recebendo qualquer potência das séries conectadas ao mesmo, contabilizando o valor de 0% para o seu rendimento nesta pesquisa. O inversor com maior rendimento foi o inversor 3 do prédio F com o valor de 12.76%, enquanto o de menor rendimento foi o inversor 3 do prédio G, apresentando o percentual de 11.97%.

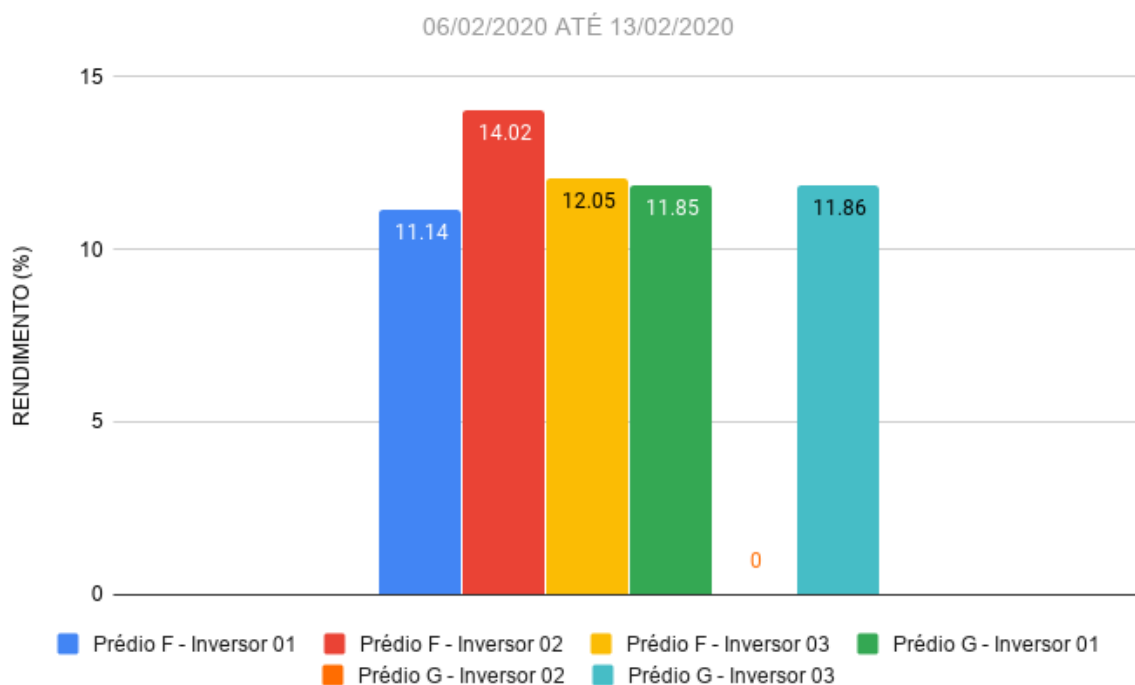
Figura 57 — Rendimento CC de Entrada para cada Inversor



Fonte: O autor (2020).

É interessante ressaltar que os rendimentos de saída em quase todos os inversores foram menores que os de entrada, com exceção do inversor 02 do prédio F. Os rendimentos de saída podem ser encontrados no gráfico da Figura 58.

Figura 58 — Rendimento CA por Inversor



Fonte: O autor (2020).

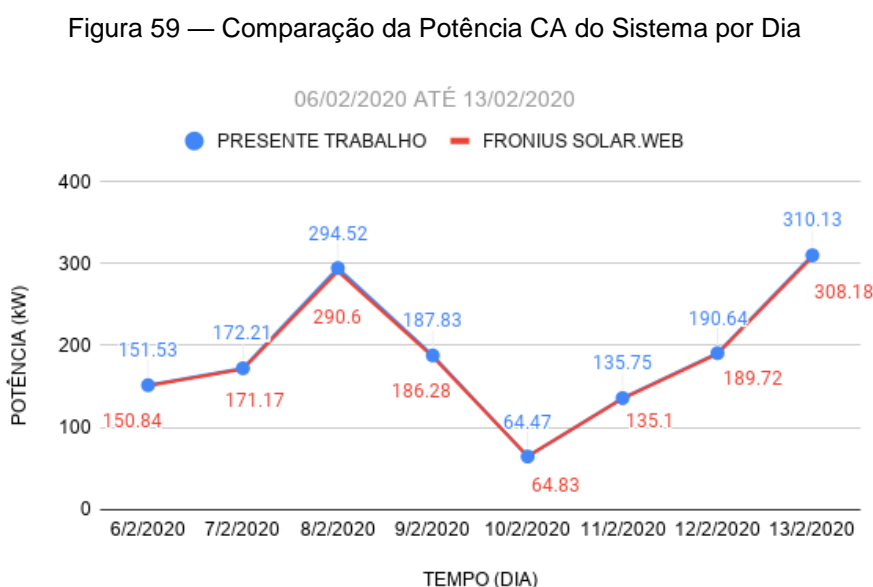
5.5 COMPARAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS PELO PRESENTE TRABALHO COM O SISTEMA FRONIUS SOLAR.WEB

Os inversores *Fronius* instalados na miniusina oferecem acesso ao sistema *Solar.Web*. O sistema é uma aplicação *web* que permite ao usuário a visualização de sua produção e consumo de energia em formato de relatórios e gráficos (Fronius International GmbH, 2020) para produtos da marca.

Para a validação dos dados foi realizada uma comparação entre os dados obtidos pelo sistema de aquisição do presente trabalho com os dados coletados pelo sistema comercial *Solar.Web*.

5.5.1 Potência CA do Sistema por Dia

O gráfico da Figura 59 apresenta a comparação da potência total CA do sistema por dia coletada pelo sistema de aquisição de dados do presente trabalho e pelo sistema *Solar.Web* para o período entre 06/02/2020 até 13/02/2020.



Fonte: O autor (2020).

A Tabela 12 mostra os dados de potência CA do sistema gerada por dia.

Tabela 12 — Comparação da Potência CA do Sistema por Dia

Data	Presente Trabalho (kW)	Fronius Solar.Web (kW)	Varição Percentual (%)
6/2/2020	151.53	150.84	0.4574383453
7/2/2020	172.21	171.17	0.6075831045
8/2/2020	294.52	290.6	1.348933242
9/2/2020	187.83	186.28	0.8320807387
10/2/2020	64.47	64.83	-0.5552984729
11/2/2020	135.75	135.1	0.4811250925
12/2/2020	190.64	189.72	0.4849251529
13/2/2020	310.13	308.18	0.6327470959

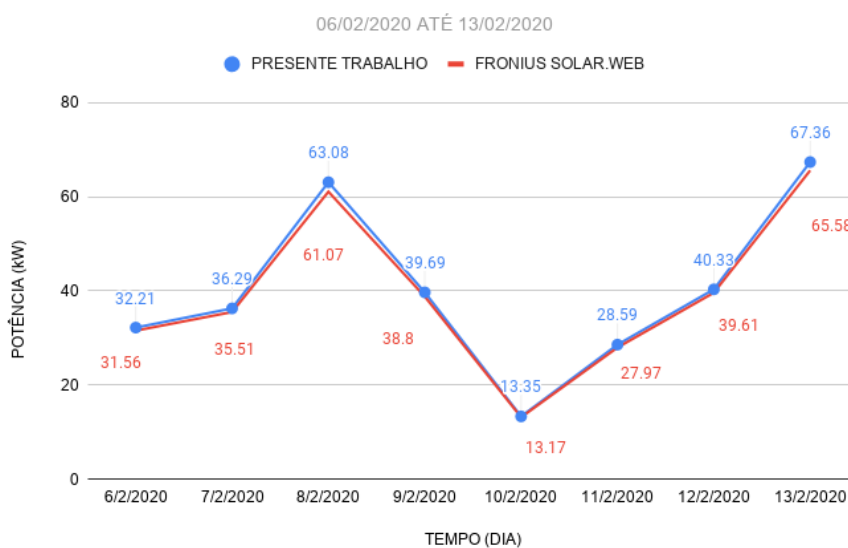
Fonte: O autor (2020).

Pode-se observar que o valor de variação máxima ocorreu no dia 08/02/2020, alcançando aproximadamente 1.3489%, enquanto o dia de menor variação ocorreu no dia 06/02/2020 com o valor de 0.4574%. O valor de variação percentual médio para o período analisado foi de aproximadamente 0.5361%.

5.5.2 Potência de Saída CA por Inversor

Foram avaliadas as potências de saída CA para cada inversor do sistema, incluindo os inversores dos prédios F e G. A Figura 60 mostra os valores obtidos para o inversor 01 do prédio F por dia.

Figura 60 — Comparação da Potência de Saída CA do Inversor 01 do Prédio F por Dia



Fonte: O autor (2020).

Os valores das variações percentuais podem ser visualizados na Tabela 13. A menor variação foi encontrada no dia 10/02/2020 apresentando o valor de 1.3667% e o dia de maior variação foi na data de 08/02/2020 com números aproximados à 3.2913%. A média da variação percentual foi de 2.2445%.

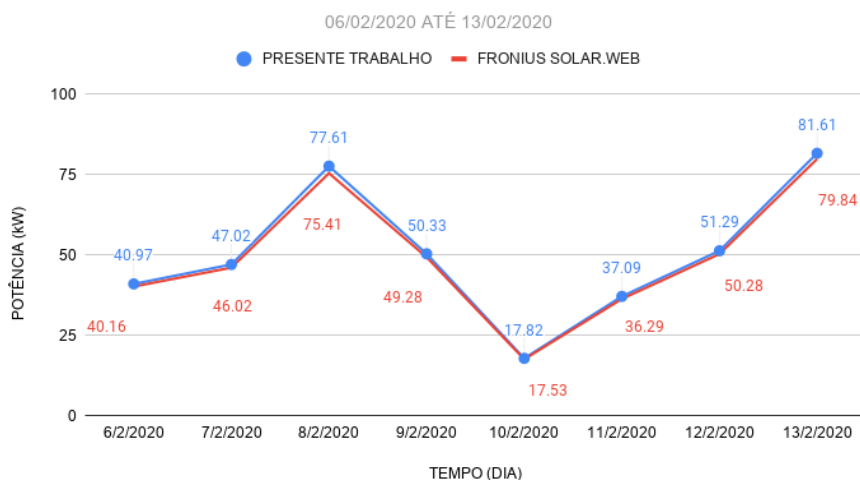
Tabela 13 — Comparação da Potência de Saída CA do Inversor 01 do Prédio F por Dia

Data	Presente Trabalho (kW)	Fronius Solar.Web (kW)	Varição Percentual (%)
6/2/2020	32.21	31.56	2.059569075
7/2/2020	36.29	35.51	2.196564348
8/2/2020	63.08	61.07	3.29130506
9/2/2020	39.69	38.8	2.293814433
10/2/2020	13.35	13.17	1.366742597
11/2/2020	28.59	27.97	2.216660708
12/2/2020	40.33	39.61	1.817722797
13/2/2020	67.36	65.58	2.714242147

Fonte: O autor (2020).

A Figura 61 indica os valores obtidos para inversor 02 do prédio F. Os valores percentuais de alteração podem ser vistos na Tabela 14.

Figura 61 — Comparação da Potência de Saída CA do Inversor 02 do Prédio F por Dia



Fonte: O autor (2020).

A menor variação foi encontrada em 10/02/2020 com um valor de 1.6543% e o dia com a maior variação foi 08/02/2020 com números próximos a 2.9173%. A variação média percentual foi de 2.1653%.

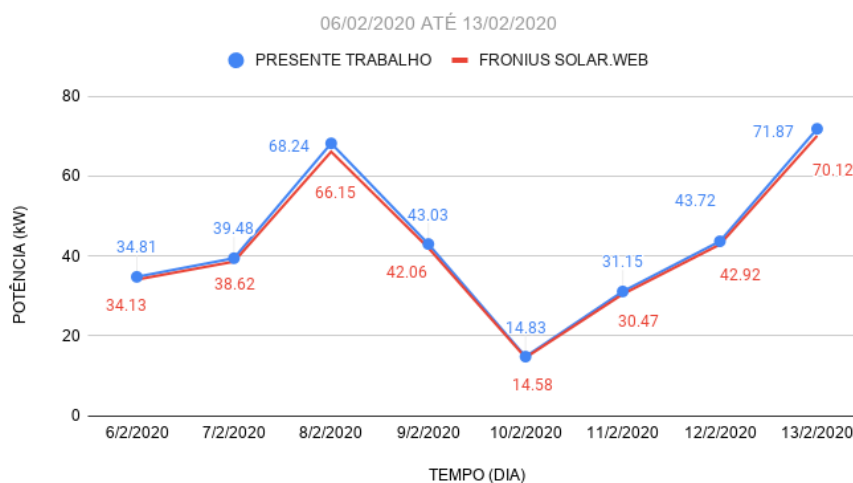
Tabela 14 — Comparação da Potência de Saída CA do Inversor 02 do Prédio F por Dia

Data	Presente Trabalho (kW)	Fronius Solar.Web (kW)	Varição Percentual (%)
6/2/2020	40.97	40.16	2.016932271
7/2/2020	47.02	46.02	2.172968275
8/2/2020	77.61	75.41	2.917384962
9/2/2020	50.33	49.28	2.130681818
10/2/2020	17.82	17.53	1.654306902
11/2/2020	37.09	36.29	2.20446404
12/2/2020	51.29	50.28	2.008750994
13/2/2020	81.61	79.84	2.216933868

Fonte: O autor (2020).

Pode-se visualizar os valores obtidos por dia para o inversor 03 do prédio F na Figura 62. Os valores percentuais de variação estão contidos na Tabela 15.

Figura 62 — Comparação da Potência de Saída CA do Inversor 03 do Prédio F por Dia



Fonte: O autor (2020).

A menor diferença foi observada em 10/02/2020 com um valor de 1.7146% e o dia com o variação mais alta com valor equivalente a 3.1594% foi 08/02/2020. O valor médio da variação percentual foi de 2.2488%.

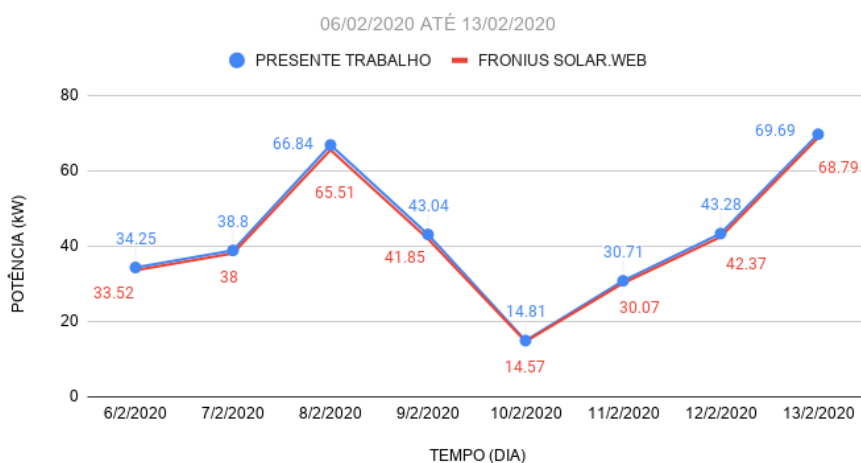
Tabela 15 — Comparação da Potência de Saída CA do Inversor 03 do Prédio F por Dia

Data	Presente Trabalho (kW)	Fronius Solar.Web (kW)	Varição Percentual (%)
6/2/2020	34.81	34.13	1.992382069
7/2/2020	39.48	38.62	2.226825479
8/2/2020	68.24	66.15	3.159486017
9/2/2020	43.03	42.06	2.306229196
10/2/2020	14.83	14.58	1.714677641
11/2/2020	31.15	30.47	2.231703315
12/2/2020	43.72	42.92	1.863932898
13/2/2020	71.87	70.12	2.49572162

Fonte: O autor (2020).

Os valores obtidos diariamente para o inversor 01 do prédio G podem ser vistos na Figura 63. A porcentagem dos valores de variação é mostrada na Tabela 16.

Figura 63 — Comparação da Potência de Saída CA do Inversor 01 do Prédio G por Dia



Fonte: O autor (2020).

A menor variação percentual ocorreu no dia 13/02/2020 apresentando o valor de 1.3083% e o dia da mais alta variação foi 09/02/2020 com valores aproximados à 2.8434%. A média da variação percentual foi de 2.0485%.

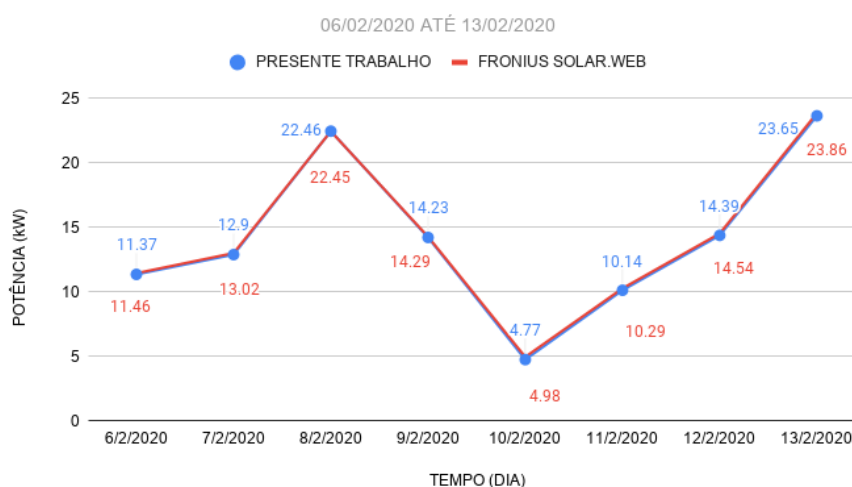
Tabela 16 — Comparação da Potência de Saída CA do Inversor 01 do Prédio G por Dia

Data	Presente Trabalho (kW)	Fronius Solar.Web (kW)	Varição Percentual (%)
6/2/2020	34.25	33.52	2.177804296
7/2/2020	38.8	38	2.105263158
8/2/2020	66.84	65.51	2.030224393
9/2/2020	43.04	41.85	2.84348865
10/2/2020	14.81	14.57	1.647220316
11/2/2020	30.71	30.07	2.128367143
12/2/2020	43.28	42.37	2.147746047
13/2/2020	69.69	68.79	1.308329699

Fonte: O autor (2020).

Os valores obtidos diariamente para o inversor 03 do prédio G podem ser visualizados na Figura 64.

Figura 64 — Comparação da Potência de Saída CA do Inversor 03 do Prédio G por Dia



Fonte: O autor (2020).

A menor variação percentual ocorreu em 08/02/2020 e apresentou um valor de 0.0445% e o dia da maior variação em 10/02/2020 com um valor de aproximadamente -4.2168%. A variação percentual média para o período apresentado foi de -1.2085%.

Tabela 17 — Comparação da Potência de Saída CA do Inversor 03 do Prédio G por Dia

Data	Presente Trabalho (kW)	Fronius Solar.Web (kW)	Varição Percentual (%)
6/2/2020	11.37	11.46	-0.7853403141
7/2/2020	12.9	13.02	-0.9216589862
8/2/2020	22.46	22.45	0.04454342984
9/2/2020	14.23	14.29	-0.4198740378
10/2/2020	4.77	4.98	-4.21686747
11/2/2020	10.14	10.29	-1.457725948
12/2/2020	14.39	14.54	-1.031636864
13/2/2020	23.65	23.86	-0.8801341157

Fonte: O autor (2020).

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho resultou na implementação de um sistema de aquisição de dados por meio da construção de um registrador de dados ou *data logger*, a configuração dos sistemas de comunicação e medição previamente instalados, a configuração de um servidor *web*, o desenvolvimento de uma *REST API* de serviços *web* e do *software* para visualização dos dados e informações de forma responsiva, além da comparação do sistema desenvolvido com um sistema de aquisição de dados comercial.

O registrador de dados ou *data logger* foi desenvolvido utilizando o computador de placa única *Raspberry Pi 3 Modelo B* e apresentou bom funcionamento e custo-benefício, considerando seus equipamentos de baixo custo e possível customização da arquitetura ao longo do projeto.

A configuração do servidor *web* e a implementação da *REST API* conseguiu alocar a maior parte das regras de negócio no servidor ao invés de feitas na interface homem-máquina, permitindo a evolução do sistema ou desenvolvimento de novas aplicações sem a necessidade da replicação de código.

A aplicação *web* apresentou concordância com o que foi proposto nos objetivos permitindo a visualização de parâmetros elétricos, meteorológicos e de desempenho, além da geração de relatórios em formato de arquivo *XLS* ou *CSV*.

A miniusina foi monitorada e seus parâmetros elétricos foram coletados durante o período 06/02/2020 até 13/02/2020. Para efeito de comparação do sistema de aquisição de dados desenvolvido no presente de trabalho, os dados coletados pelo mesmo foram comparados com os dados do sistema comercial *Fronius Solar.Web*. O sistema desenvolvido obteve uma baixa variação média percentual no âmbito do monitoramento da potência CA total gerada pelo sistema fotovoltaico com o valor de 0.5361% se comparado com o sistema comercial.

Diante da variação média percentual adquirida, o sistema de monitoramento e aquisição de dados remoto desenvolvido é considerado válido como mecanismo para auxiliar no monitoramento do desempenho de sistemas fotovoltaicos, apresentando a vantagem de ser codificado em linguagens e tecnologias de baixo custo.

REFERÊNCIAS

- AMMONIT MEASUREMENT GMBH. **Ammonitor - Ammonit Online Report. Ammonit**. 2019. Disponível em: <https://www.ammonit.com/en/ammonit-customer-login/110-ammonitor>. Acesso em: 11 out. 2020.
- ANWARI, M.; DOM, M. M.; RASHID, M.I.M. Small Scale PV Monitoring System Software Design. **Energy Procedia**, v. 12, p. 586-592, 15 dez. 2011.
- APEXCHARTS. **Robust Features**. 2019. Disponível em: <https://apexcharts.com/features/>. Acesso em: 11 out. 2020.
- AZIZI, A. *et al.* Impact of the aging of a photovoltaic module on the performance of a grid-connected system. **Solar Energy**, v. 174, p. 454-455, 01 nov. 2018.
- BALFOUR, J.; SHAW, M.; NASH, N. B. **Introdução ao projeto de sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- BAŞOĞLU, M. *et al.* Performance analyzes of different photovoltaic module technologies under İzmit, Kocaeli climatic conditions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 9, 17 ago. 2015.
- BENLEBNA, S. Data acquisition system: On the solar photovoltaic module and weather parameters monitoring. **Procedia Computer Science**, v. 132, p. 873-879, set 2019.
- CHOUDER, A.; SILVESTRE, S. Automatic supervision and fault detection of PV systems based on power losses analysis. **Energy Conversion and Management**, v. 51, p. 1929-1937, out. 2010.
- COOPER, L. **A Look at Carbon: A “Co-benefit” of Agroforestry. TREES**. 2018. Disponível em: <https://trees.org/post/carbon/>. Acesso em: 11 out. 2020.
- CURBERA, F.; NAGY, W. A.; WEERAWARANA, S. Web Services: Why and How. **OOPSLA**, Tampa, p. 7, 2001. Workshop on ObjectOriented Web Services.
- DB-ENGINES. **DB-Engines Ranking of Time Series DBMS. DB-ENGINES**. 2019. Disponível em: <https://db-engines.com/en/ranking/time+series+dbms>. Acesso em: 11 out. 2020.
- DECKER, B.; JAHN, U. Performance of 170 grid connected PV plants in Northern Germany — Analysis of yields and optimization potentials. **Solar Energy**, v. 59, p. 127-133, 1997.

EKICI, S.; KOPRU, M. Investigation of PV System Cable Losses. **International Journal of Renewable Energy Research**, v. 7, p. 807-815, jun. 2017.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. **Fundamentals Of Database Systems**. 6. ed. New Delhi: Pearson Education India, 2010.

EMILIO, M.D.P. **Data Acquisition Systems: From Fundamentals to Applied Design**. Berlin: Springer Science & Business Media, v. 1, p. 135, 2013.

EXPRESS. **Express - Node.js web application framework**. Express. 2019. Disponível em: <https://expressjs.com/>. Acesso em: 11 out. 2020.

FADHEL, S. *et al.* PV shading fault detection and classification based on I-V curve using principal component analysis: Application to isolated PV system. **Solar Energy**, v. 179, p. 1-10, 28 jun. 2018.

FAZAI, R. *et al.* Machine learning-based statistical testing hypothesis for fault detection in photovoltaic systems. **Solar Energy**, v. 190, p. 405-413, 15 set. 2019.

FORERO, N.; HERNÁNDEZ, J.; GORDILLO, G. Development of a monitoring system for a PV solar plant. **Energy Conversion and Management**, v. 47, p. 2329-2336, set. 2006.

FRONIUS INTERNATIONAL GMBH. **Por Que Fronius Solar.Web?. Fronius Solar.web**. 2020. Disponível em: <https://www.solarweb.com/>. Acesso em: 11 out. 2020.

GOOGLE MAPS. **Encontre empresas locais, visualize mapas e obtenha rotas de tráfego no Google Maps**. Google Maps. 2019. Disponível em: <https://www.google.com/maps>. Acesso em: 1 out. 2019.

GUENOUNOU, A.; MALEK, A.; AILLERIE, M. Comparative performance of PV panels of different technologies over one year of exposure: Application to a coastal Mediterranean region of Algeria. **Energy Conversion and Management**, p. 7, 13 fev. 2016.

HAIBAOU, A. *et al.* Performance Indicators For Grid-Connected PV Systems: A Case Study In Casablanca, Morocco. **Journal of Electrical and Electronics Engineering**, v. 12, p. 11, mar. 2017.

IEC. **61724-1 Photovoltaic system performance – Part 1: Monitoring**. 2017.

IEC. **TS 61724-3 Photovoltaic system performance – Part 3: Energy evaluation method IEC**. International Electrotechnical Commission, 2016.

KATO, K.; MURATA, A.; SAKUTA, K. Energy pay-back time and life-cycle CO₂ emission of residential PV power system with silicon PV module. **Progress in Photovoltaics**, v. 6, mar. 1998.

KOURO, S. *et al.* Grid-Connected Photovoltaic Systems: An Overview of Recent Research and Emerging PV Converter Technology. **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 9, n. 1, p. 47-61, 19 mar 2015.

KOURO, S. *et al.* **Power Electronics for Renewable Energy Systems, Transportation, and Industrial Applications – Chapter 7: Photovoltaic energy conversion systems**. Hoboken: John Wiley & Sons, v. 1, 2014. 832 p.

KUMAR, N. M.; SUBATHRA, M. S. P; MOSES, J. E. On-Grid Solar Photovoltaic System: Components, Design Considerations, and Case Study. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL ENERGY SYSTEMS (ICEES). 2018. 4. ed, Chennai, India, 2018.

LI, Y. *et al.* On-line Monitoring System Based on Open Source Platform for Photovoltaic Array. **Energy Procedia**, v. 145, p. 427-433, jul. 2018.

MADETI, S. R.; SINGH, S.N. Monitoring system for photovoltaic plants: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 1180-1207, jan. 2017.

MESSENGER, R. A.; ABTAHI, A. **Photovoltaic Systems Engineering**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2010. 528 p.

NALAKA, D.; KAPILA, D. **Web-based Applications: Extending the General Perspective of the Service of Web**. 10th International Research Conference of KDU (KDU-IRC 2017) on Changing Dynamics in the Global Environment: Challenges and Opportunities, 2017.

NAQVI, S. N. Z.; YFANTIDOU, S. Time Series Databases and InfluxDB. **Advanced Databases**, v. 1, dez. 2017.

NODE.JS FOUNDATION. **About. Node.js**. 2019. Disponível em: <https://nodejs.org/en/about/>. Acesso em: 11 out. 2020.

NORDMANN, T. *et al.* **Analysis of Long-Term Performance of PV Systems: Different Data Resolution for Different Purposes**. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2014.

ORTEGA, E.; ARANGUREN, G.; JIMENO, J. C. New monitoring method to characterize individual modules in large photovoltaic systems. **Solar Energy**, v. 193, p. 906-914, 15 nov. 2019.

PACHECO-TORGAL, F. *et al.* **Nearly Zero Energy Building Refurbishment: A Multidisciplinary Approach**. Berlin: Springer Science & Business Media, 2013. 658 p.

PARIDA, B.; INIYAN, S.; GOIC, R. A review of solar photovoltaic technologies.

Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 15, n. 3, p. 1625-1636, 11 jan 2011. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110004016>. Acesso em: 21 jul. 2019.

PEARSALL, N. **The Performance of Photovoltaic (PV) Systems: Modelling, Measurement and Assessment**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2016. 366 p.

PENNINGTON, C. *et al.* Introduction to Web Services. **Semantic Web Services: Theory, Tools and Applications**. Hershey: IGI Global, jan. 2007.

PHROMKET, C.; PLANGKLANG, B.; SKUNPONG, R. An Optimized PV Monitoring System for the Bus Shelter. **Procedia Engineering**, v. 8, p. 62-66, 31 mar. 2011.

PRESSMAN, R. S. **Engenharia de Software: Uma Abordagem Profissional**. 7. ed. Rio Grande do Sul: AMGH Editora Ltda, 2011.

RAHMAN, M.; HASANUZZAMAN, M.; RAHIM, N. A. Effects of various parameters on PV-module power and efficiency. **Energy Conversion and Management**, v. 103, p. 348-358, 06 jul. 2015.

RASPBERRY PI FOUNDATION. **Raspbian. Raspberry Pi**. 2019. Disponível em: <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/>. Acesso em: 11 out. 2020.

REZK, H. *et al.* Performance of data acquisition system for monitoring PV system parameters. **Measurement**, v. 104, p. 204-211, 13 jun. 2016.

SHKLAR, L.; ROSEN, R. **Web Application Architecture: Principles, protocols and practices**. Hoboken: John Wiley & Sons, Ltd, 2003. 372 p.

SILVESTRE, S. *et al.* Remote supervision and fault detection on OPC monitored PV systems. **Solar Energy**, v. 137, p. 424-433, 1 nov. 2016.

SOMMERVILLE, I. **Software Engineering**. 9. ed. London: Pearson Education, Inc, f. 792, 2011.

SOPITPAN, S.; CHANGMUANG, P.; PANYAKEOW, S. Monitoring and data analysis of a PV system connected to a grid for home applications. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 67, p. 481-490, mar. 2001.

SOUMIA, B.; NALLAPANENI, M. K.; A. T. Data acquisition system: On the solar photovoltaic module and weather parameters monitoring. **Procedia Computer Science**, v. 132, p. 873-879, 8 jun. 2018.

SWAIN, A. Solar Energy Generation Potential on National Highways. **International Research Journal of Engineering and Technology**, v. 4, set. 2017.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors datasheet (Rev. H)**. TI. 1999. Disponível em: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>. Acesso em: 11 out. 2020.

THERISTIS, M. *et al.* Energy Yield in Photovoltaic Systems. **McEvoy's Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications**, London: Academic Press, p. 671-713, 01 jan. 2018.

ULIERU, V. D. *et al.* Data Acquisition in Photovoltaic Systems. **Renewable Energy - Trends and Applications**, London: IntechOpen, p. 213-230, 09 nov. 2011.

VAN DYK, E.E. *et al.* Long-term monitoring of photovoltaic devices. **Renewable Energy**, v. 25, p. 183-197, fev. 2002.

WOYTE, A. *et al.* **Analytical Monitoring of Grid-connected Photovoltaic Systems: Good Practices for Monitoring and Performance Analysis**. International Energy Agency, 2014.