

Desenvolvimento e aplicação de um sistema supervisorio baseado em IoT em uma usina solar fotovoltaica

Anderson Rodrigues de Melo *
 Dra. Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella *
 Dr. Marcelo Roberto Bastos Guerra Vale *
 Aline Késia Ferreira Silva *

* Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE),
 Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), RN.
 e-mails: a-melo2@hotmail.com; fkv@ufersa.edu.br;
 marceloguerra@ufersa.edu.br; alinnekesia@hotmail.com)

Abstract: Measuring the energy generated by a solar photovoltaic system is essential when it is desired to identify the efficiency rate or the existence of failures. Therefore, predictive measurements allow to increase the efficiency of the system, since the continuous monitoring optimizes the operation and identifies the need for its maintenance. Therefore, this work aims to apply Internet of Things (IoT) to perform the measurement of electrical parameters generated by an inverter operating in a solar photovoltaic plant at the Federal Rural University of the Semi-Arid (UFERSA), since it does not have a supervisory system, that is, it does not provide the desired monitoring for the purpose of detecting failures and / or low production. In this context, an IoT-based device was developed to measure the energy generated by the photovoltaic solar plant, to make data available in real time, as well as the history through a supervisory system. Tests were carried out in order to evaluate the accuracy and the communication interface of the prototype, where it proved to be efficient in both aspects.

Resumo: Mensurar a energia gerada por um sistema solar fotovoltaico é essencial quando se deseja identificar o grau de eficiência ou existência de falhas. Portanto, mensurações preditivas permitem aumentar a eficiência do sistema, uma vez que o monitoramento contínuo otimiza a operação e identifica a necessidade de manutenção do mesmo. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo a aplicação de *Internet of Things* (IoT) para realizar a medição de parâmetros elétricos gerados por um inversor em operação em uma usina solar fotovoltaica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), visto que o mesmo não possui sistema supervisorio, ou seja, não fornecendo o monitoramento desejado para fins de detecção de falhas e/ou baixa produção. Neste contexto, foi desenvolvido um dispositivo baseado em IoT para mensurar a energia gerada pela usina solar fotovoltaica, disponibilizar os dados em tempo real, assim como o histórico através de um sistema supervisorio. Foram realizados testes com o intuito de avaliar a acurácia e a interface de comunicação do protótipo, onde este se mostrou eficiente em ambos os quesitos.

Keywords: Photovoltaic generation; IoT; Measurement of electrical energy; Supervisory system; Blynk; .

Palavras-chaves: Geração fotovoltaica; IoT; Medição de energia elétrica; Sistema supervisorio; Blynk.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por energia e a busca por fontes de geração consideradas limpas e sustentáveis, faz com que a implementação de projetos de energia solar tenha um papel fundamental no cenário energético.

No âmbito mundial a geração de energia solar fotovoltaica teve um aumento de 22% em 2019, que representa um aumento de geração estimado de 131 Terawatt-hora (TWh), sendo o segundo maior crescimento absoluto de geração de energia renovável, ficando um pouco atrás da energia eólica

e a frente da hidráulica. Representando aproximadamente 3% da matriz energética de geração de eletricidade, sendo a terceira maior tecnologia de eletricidade renovável (IEA, 2020).

Atualmente a capacidade instalada de geração por Usinas Fotovoltaicas (UFV) no Brasil representa cerca de 1,68% da matriz energética, cujos empreendimentos em construção iniciadas e não iniciadas representam respectivamente cerca de 5,68% e 43,50% do total de potência outorgada, demonstrando a tendência de aumento de aplicação da energia fotovoltaica (ANEEL, 2020).

A tecnologia solar fotovoltaicas será a segunda fonte de maior incentivo para atendimento à demanda no plano decenal (2019-2029), que prevê um acréscimo de 7.000 Megawatt (MW) de indicativa adicional, podendo chegar até 15.000 MW se mantiver a tendência de queda do custo de investimento (CAPEX). Não contabilizando a perspectiva de aumento da geração distribuída, onde se estima que 85% utiliza a tecnologia fotovoltaica (MME/EPE, 2020).

O monitoramento da energia gerada por sistemas fotovoltaicos, seja em grandes usinas fotovoltaicas ou pequenas unidades consumidoras, é de fundamental importância para rentabilidade e eficiência do projeto, visto que a rápida detecção de uma baixa eficiência ou falhas ocasionam um menor tempo de perda de geração.

Segundo ABSOLAR (2020), a geração distribuída no Brasil obteve um aumento de 77,83% no primeiro trimestre de 2020 (em comparação ao mesmo período de 2019) e possui tendência de crescimento do aumento da geração distribuída fotovoltaica no segundo semestre. Demonstrando assim que o consumidor brasileiro identificou uma forma de redução de custos, reduzindo a dependência das bandeiras tarifárias amarela ou vermelha e aumentos das distribuidoras.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema de medição que possibilita o monitoramento dos parâmetros elétricos de uma usina solar fotovoltaica da UFERSA campos leste em Mossoró/RN, podendo verificar a geração de energia em tempo real e histórico, aplicando o conceito de IoT, tendo um segundo banco de dados que é independente do fabricante do inversor e de código aberto.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão abordados assuntos relevantes para caracterização do trabalho.

2.1 Smart Grid

O termo *Smart Grid* surgiu pela primeira vez em 2005, presente no artigo publicado por Amin and Wollenberg (2005), com o título de “*Toward a Smart Grid*”, o qual tem como objeto o aumento da segurança, agilidade e robustez de uma infraestrutura de energia elétrica de enfrentar ameaças e condições imprevistas.

De acordo com US (2020), *Smart Grid* não trata apenas de utilitários e tecnologia, mas sim de fornecer informações e ferramentas para que o usuário possa fazer escolhas sobre o uso. Assim, o usuário poderá acompanhar por meio de medidores inteligentes o consumo de eletricidade do mês, sem que seja necessário aguardar o extrato mensal.

As primeiras implementações de sistemas com alguma inteligência na rede foram possibilitadas através da medição eletrônica, tendo como exemplo no início de 2000, foi desenvolvido um projeto na Itália, instalando medição eletrônica em larga escala de cerca de 30 milhões de medidores eletrônicos com capacidade de comunicação via PLC – *Power Line Communications*, possibilitando a comunicação remota entre a concessionária e com o medidor (Botte et al., 2005).

2.2 Internet das Coisas - (IoT)

De acordo com Sacomano et al. (2018), IoT, consiste em conectar objetos utilizados diariamente à *internet*, de forma a poderem ser acessados remotamente, através de dispositivos móveis como celular, notebook e outros, que tenham conexão à *internet*, podendo eles comunicarem entre si. Esses objetos podem ser dotados de capacidade de processamento, onde passam a serem chamados de “inteligentes” (*smart*).

De acordo com Santos et al. (2016) e Samie et al. (2016), os dispositivos inteligentes aplicados em sistemas de IoT, apresentam em suas estruturas quatro unidades, onde as três primeiras são responsáveis pela aquisição (sensores), processamento (microcontrolador) e armazenamento dos dados (manter registro dos dados “*log*”), enquanto a última realiza a comunicação com a rede (com ou sem fio).

Em virtude dos equipamentos IoT possuem poder computacional restrito, o protocolo de comunicação utilizado por eles tem como prerrogativa de transmitir a informação com baixo poder computacional, para isso utilizam como estratégia de comunicação de *publish/subscribe*, em que os dispositivos se registram (*subscribe*) a um *broker* (servidor que controla a comunicação) para obter informações e avisar sempre que for publicado (*publishers*) informações através do *broker*, sendo assim uma comunicação assíncrona (Santos et al., 2016).

Sistema supervisorio De acordo com Rosário (2005), sistema supervisorio pode ser definido como uma interface amigável entre homem-máquina em que é utilizada tecnologia de computação e comunicação que permite que um sistema automatizado possa ser supervisionado e/ou controlado assumindo elevada relevância para o processo, obtendo como resultado redução de custos de desenvolvimento e manutenção.

O sistema de energia tornou-se cada vez mais vulnerável com adição de sistemas renováveis, tornando necessário o monitoramento e controle de modo remoto dos dispositivos conectados à rede principalmente quando a capacidade exceder os limites de estabilidade (Sarinda et al., 2017).

Em Sarinda et al. (2017), inversores de baixo custo podem ter o mesmo desempenho dos inversores de ponta porém não possuem sistema de monitoramento embutido. Diante disso, o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de baixo custo torna-se atraente, sendo avaliados métodos e *softwares* para serem utilizados, onde a plataforma Blynk® possui como característica a fácil instalação, fácil desenvolvimento e como desvantagem o monitoramento é realizado apenas através do aplicativo instalado em dispositivo móvel.

Plataforma Blynk® A plataforma Blynk® permite realizar o controle e/ou monitorar um hardware programável através de aplicativo instalado no dispositivo móvel (*smartphone* ou *tablet*). Ele disponibiliza uma vasta gama de possibilidades de implementação em projetos de IoT, visto que o mesmo suporta placas de desenvolvimento como Arduino, Raspberry Pi e microcontroladores similares (Seneviratne, 2018).

A plataforma Blynk® é composta por três componentes principais que são mostrados na Figura 1.

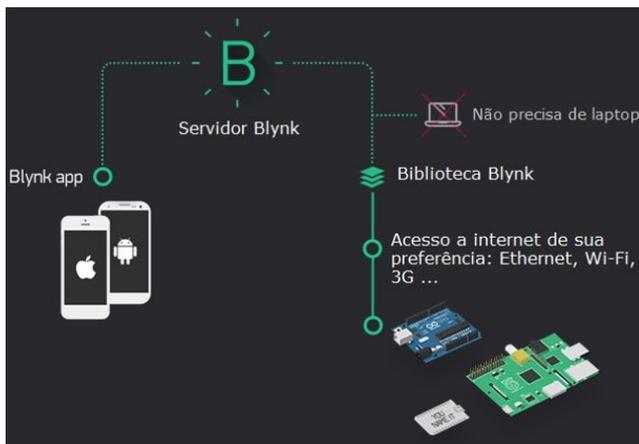


Figura 1. Componentes da plataforma Blynk®.
Fonte: Blynk® (2019)

- Blynk app: aplicativo instalado no dispositivo móvel em que é criada a interface com o usuário (supervisor).
- Servidor Blynk: responsável pela transmissão de dados entre o aplicativo Blynk e o hardware. O mesmo possui código aberto, desenvolvido em Java.
- Biblioteca Blynk: possibilita comunicação do servidor e processar todos comandos entre o Blynk app e o hardware.

Assim como citado, o servidor do Blynk é responsável pela comunicação entre o dispositivo móvel e o hardware. Podendo ser na internet do Blynk (Blynk Cloud) ou num servidor local (rede privada), sendo que ambas as aplicações apresentam vantagens e desvantagens. O servidor Blynk Cloud, tem como principal vantagem o acesso ao supervisor em qualquer lugar, desde que esteja conectado à Internet. Contudo, não se tem garantia que o servidor permaneça online sempre. Já o servidor local, possui garantia de uma maior confiabilidade e baixa latência. No entanto, o acesso só é possível na área de abrangência da rede em que o mesmo está conectado (roteador) (Seneviratne, 2018).

3. DESCRIÇÃO DO PROJETO

A pesquisa foi desenvolvida na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Leste, localizado na cidade de Mossoró-RN, em um sistema de geração de energia fotovoltaica (Mossoró I) situado no Centro Integrado de Inovação Tecnológica do Semiárido (CITED), que foi instalada com fins didáticos, possibilitando os testes e desenvolvimento deste projeto.

A usina Mossoró I, possui 14 módulos do fabricante *Yingli Solas*, modelo YL245P-29b, cuja potência de pico total é de 3,43 kWp. Os módulos são instalados em uma estrutura no solo, sendo posicionado no azimute 0° com inclinação de 11° (UFERSA, 2019a).

O seu inversor de frequência instalado é abrigado no laboratório de sistemas de energia, de fabricante SMA, modelo *Sunny Boy 3000HF-US*, que possui corrente nominal de saída à 240V de 12,5 Amperes (A) e a corrente máxima

para 208V é de 14,5A, sendo esses valores utilizados para o dimensionamento do protótipo (SMA®, 2019).

Para desenvolver o projeto proposto, o mesmo foi dividido em etapas, a fim de se obter uma visão mais clara de cada etapa e, por conseguinte uma melhor organização e otimização. Tais etapas estão descritas a baixo:

- Obtenção de dados técnicos relacionados à usina fotovoltaica da UFERSA (Mossoró I), sendo eles: potência nominal, corrente e tensão de saída;
- Projeto, montagem e calibração do módulo de aquisição de dados, que será responsável pela medição dos parâmetros elétricos gerados pelo inversor monitorado;
- Teste de calibração do protótipo na usina fotovoltaica de modo a validar a calibração e ajustes;
- Implementação do *firmware* do módulo de processamento de dados, responsável pela leitura e processamento da informação e comunicação com o servidor remoto;
- Configuração do servidor local, compreendendo as etapas: configuração do servidor *broker*; integração do servidor local ao módulo de processamento de dados; integração da aplicação à interface do usuário;
- Teste do protótipo na usina fotovoltaica Mossoró I (3,43 kWp) e avaliação dos resultados.

Na Figura 2 são ilustradas os processos realizados pelo protótipo, que são: obtenção dos parâmetros elétricos, processamento e disponibilização dos dados para o usuário através da plataforma Blynk® instalado no servidor e no dispositivo móvel.

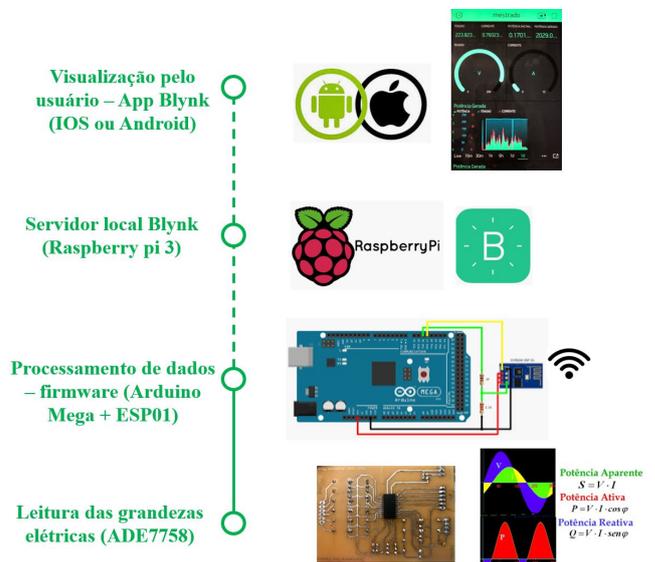


Figura 2. Processos realizados pelo projeto.
Fonte: Autoria própria (2020)

Para esclarecer melhor cada item presente na Figura 2, será dividido em módulos que serão descritos na seção 4.

4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Na Figura 3 é apresentado o fluxograma da representação global do protótipo proposto, bem como os módulos que o compõe.

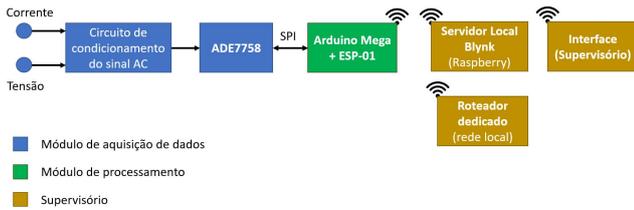


Figura 3. Representação global do protótipo.
Fonte: Autoria própria (2020)

4.1 Módulo de aquisição de dados

É composto pelos sensores de corrente e tensão que são responsáveis pela leitura das grandezas elétricas, cujo circuito de condicionamento do sinal irá adequar o sinal para que possa ser processado por um Circuito Integrado (CI) ADE7758, que realiza o processamento dos dados lidos, tendo como saída os parâmetros elétricos (tensão, corrente, potência, fator de potência). O CI ADE7758 disponibiliza os dados do módulo de processamento através do protocolo SPI (*Serial Peripheral Interface*) (Devices, 2011).

4.2 Módulo de processamento

O módulo de processamento tem a função de se comunicar com o CI ADE7758 através da entrada serial, recebendo os valores das grandezas elétricas e bem como realizar o tratamento dos dados através do microcontrolador Arduino Mega 2560. O módulo *WiFi* ESP8266 (modelo ESP-01) é utilizado para possibilitar conexão *Wi-Fi*, assim enviando os dados tratados para o supervisório.

É neste módulo onde se implementa o *firmware*, que realiza o tratamento dos dados, quantificando e realiza interface com o sistema supervisório.

4.3 Supervisório

O sistema supervisório tem como objetivo principal disponibilizar os dados para o usuário e armazenar os dados no servidor "log".

No sentido de ampliar a segurança dos dados do projeto, foi implementado uma rede *Wi-Fi* dedicada, sendo implementado IP (*Internet Protocol*) fixo ao MAC (*Media Access Control*) do *Raspberry*, assim como alterado o login da rede e a senha de acesso.

Foi implementado no computador tipo *Raspberry* o servidor local do Blynk®, com objetivo de obter melhor segurança, estabilidade, baixa latência e máxima privacidade (Blynk®, 2019).

4.4 Calibração do projeto

A leitura das grandezas elétricas, realizada pelo módulo de aquisição de dados, mesmo sendo proporcional aos valores medidos, requer a realização da conversão para os valores reais. Para isso é necessária a obtenção das equações de conversão, sendo realizada a comparação dos valores lidos pelo *firmware*, com o valor medido por um instrumento que será utilizado como padrão. No caso desse projeto, o

analisador de energia utilizado é do fabricante Minipa®, modelo: ET-5061C será utilizado como referência.

Também foi utilizado um regulador de tensão monofásico, que possibilitou variar os valores de tensão aplicada, obtendo a equação de tensão. Da mesma forma um banco de resistência foi utilizado em conjunto com o regulador de tensão para que se pudesse obter a equação da corrente.

Para realizar a leitura dos valores lidos pelo *firmware*, foi utilizado o *software* PLX-DAQ (*Parallax Microcontroller Data Acquisition for Excel*), desenvolvido pela Parallax Copyright© 2007, possibilitando a comunicação serial dos dados lidos pelo Arduino Mega com o Excel, sendo utilizado para comparar o valor lido pelo *firmware* com o valor medido pelo analisador de energia.

Para realizar a calibração do protótipo, foram utilizadas todas as ferramentas descritas acima. Devido a limitação de potência da fonte de tensão, foram dadas 5 voltas nos Transformadores de Corrente (TC), para simular o valor da corrente nominal do inversor, como demonstrado na Figura 4.

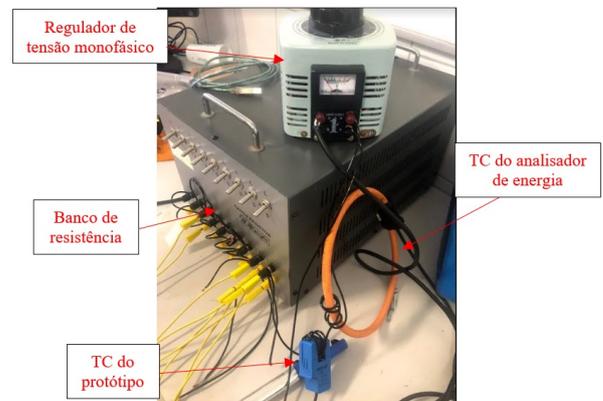


Figura 4. Regulador de tensão, banco de resistências e TC's.
Fonte: Autoria própria (2020)

Com todos os instrumentos e equipamentos devidamente montados e funcionando adequadamente, seguiu-se a sequência de calibração conforme o fluxograma feito no *software* Bizagi®, mostrado na Figura 5.

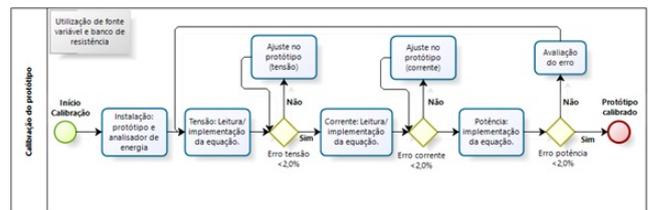


Figura 5. Fluxograma de calibração do projeto.
Fonte: Autoria própria (2020)

Foi realizada a calibração do protótipo, sendo inseridas no *firmware* as equações obtidas e avaliado os erros de acordo com o fluxograma de calibração ($\text{Erro}(\%) = ((\text{Valor lido} - \text{Valor padrão}) / (\text{Valor padrão})) * 100$).

Posteriormente, foi realizada a avaliação dos erros medidos, sendo registradas as leituras de tensão, corrente e potência, como mostrado nas Tabelas 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 1. Erro de leitura de tensão.

Tensão <i>firmware</i>	Tensão lida ET-5061C	Erro tensão(%)
217,68	218,0	-0,15
213,23	214,1	-0,41
205,33	206,7	-0,66
224,90	225,0	-0,04
230,27	229,9	0,16
206,31	207,2	-0,43
205,35	206,3	-0,46

Fonte: Autoria própria (2020)

Tabela 2. Erro de leitura de corrente.

Corrente <i>firmware</i>	Corrente lida ET-5061C	Erro corrente(%)
3,88	3,9	-0,51
3,81	3,8	0,26
3,67	3,7	-0,81
4,00	4,0	0,00
4,09	4,1	-0,24
7,48	7,5	-0,27
11,14	11,2	-0,54

Fonte: Autoria própria (2020)

Tabela 3. Erro de leitura de potência.

Potência <i>firmware</i>	Potência lida ET-5061C	Erro Potência(%)
0,85	0,84	1,19
0,81	0,81	0,00
0,75	0,75	0,00
0,90	0,90	0,00
0,94	0,94	0,00
1,54	1,55	-0,65
2,29	2,31	-0,87

Fonte: Autoria própria (2020)

Como pode ser visto na Tabela 3, o erro máximo de potência obtido foi menor que 2%, portanto, a calibração do protótipo foi considerada validada.

5. TESTES DE VALIDAÇÃO

Com o intuito de validar o protótipo desenvolvido, foram realizados dois testes, o primeiro para avaliar a calibração, enquanto o segundo para avaliar a comunicação com o usuário e armazenamento dos dados no servidor local.

5.1 Teste de acurácia na usina fotovoltaica Mossoró I (calibração)

Após a conclusão da calibração foi iniciada a primeira etapa de validação do protótipo desenvolvido, em que foi realizado o primeiro teste de campo, sendo o projeto instalado na Usina fotovoltaica Mossoró I, conforme já mencionado na seção 3 deste trabalho, e seguindo o fluxograma que está mostrado na Figura 6.

É realizada a instalação do protótipo e analisador de energia na saída do inversor da usina fotovoltaica, de modo a obter dados da tensão, corrente e potência gerada, lidos pelo protótipo e pelo analisador de energia, com o intuito de validar a acurácia do projeto.

Na Figura 7 é apresentado o gráfico da potência lida pelo protótipo e analisador de energia.

De acordo com o gráficos da Figura 7, pode-se verificar que apenas em dois pontos os valores medidos pelo protó-

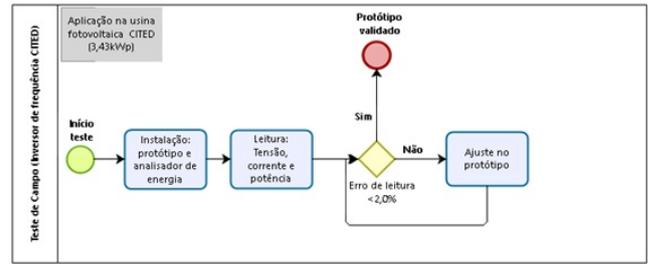


Figura 6. Fluxograma de teste de campo (acurácia)
Fonte: Autoria própria (2020)

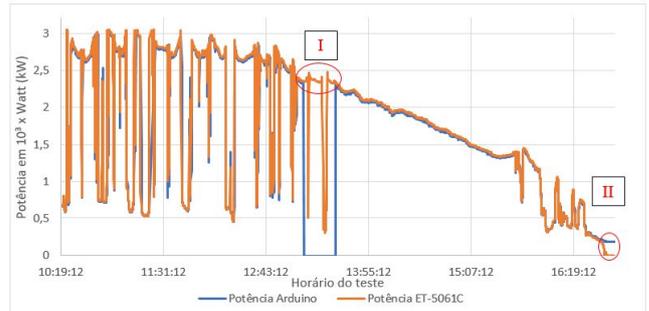


Figura 7. Comparação dos valores de potência lidos pelo protótipo e analisador.
Fonte: Autoria própria (2020)

tipo diferem do valor do analisador de energia, sendo as seguintes causas:

- I – Durante a leitura dos dados via *software* PLX-DAQ, às 13:10h o computador entrou em modo de hibernação, parando assim a comunicação. Foi verificado às 13:30h, e houve retorno da comunicação após sair do modo hibernação;
- II – Conforme a folha de dados do analisador de energia, para valores de corrente a baixo de 1A, são considerados zero pelo instrumento, sendo confirmado ao ler o valor da corrente no inversor a baixo de 1 A (Ampere) (Minipa©, 2020).

O teste de campo de calibração foi considerado válido, habilitando o protótipo a ir para o teste seguinte, onde será avaliada a comunicação com o sistema supervisor.

5.2 Teste de comunicação do protótipo monitorando a usina fotovoltaica (Mossoró I)

Após a conclusão do teste de acurácia foi iniciado o teste de comunicação, etapa responsável pela avaliação da comunicação entre o protótipo com o servidor e aplicativo instalado no dispositivo móvel, assim como o armazenamento de dados no servidor local, como mostra fluxograma apresentado na Figura 8.

Realizada a instalação do protótipo completo e devidamente configurado (Figura 9), foi iniciado o teste de comunicação, onde foram obtidos os dados de tensão, corrente e potência gerada instantânea, bem como o valor de potência gerada acumulada.

No registro mostrado na Figuras 10, é possível ler os valores instantâneos de corrente, tensão e potência, assim como a potência gerada acumulada e o gráfico dessas grandezas.

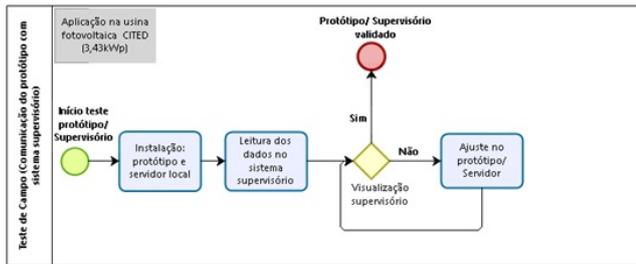


Figura 8. Fluxograma de teste de campo (comunicação).
Fonte: Autoria própria (2020)

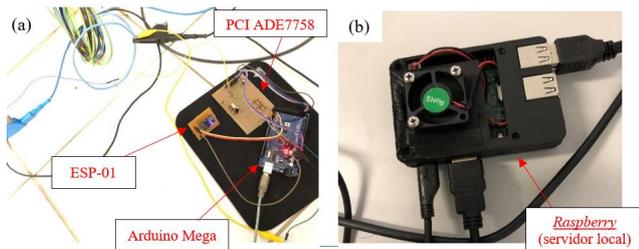


Figura 9. Placa com ADE7758, Arduino Mega e ESP-01 (a) e Raspberry (b).
Fonte: Autoria própria (2020)

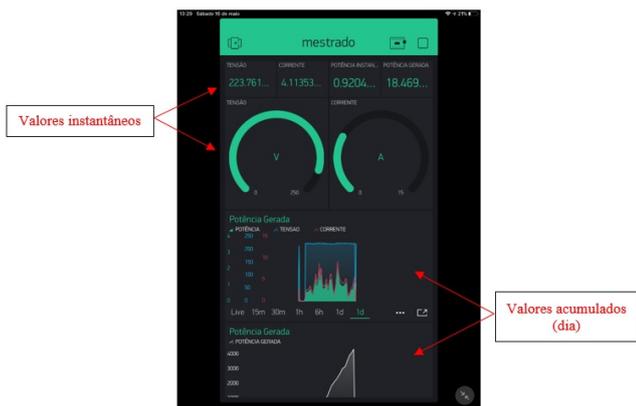


Figura 10. Interface com o usuário aplicativo Blynk.
Fonte: Autoria própria (2020)

Ao clicar no menu de configurações, representado pelo ícone de “três pontos”, é possível gerar o relatório das variáveis que estão sendo monitoradas no servidor local, sendo os mesmos registrados num intervalo de 60.000 milissegundos (para reduzir o tamanho dos arquivos gerados), validando assim o teste.

6. RESULTADOS

De acordo com INMETRO (2012), para definir a classe de exatidão de um medidor eletrônico são realizados ensaios com 10% e 100% da corrente nominal (I_n). Os medidores que apresentam erros percentuais em energia ativa de até 2,5% são classificados como classe A.

Durante o teste de calibração do protótipo o erro máximo obtido foi de 1,19%, mas devido às limitações do regulador de tensão e banco de carga, não foi possível realizar todos os testes que são descritos nos ensaios de verificação periódica

para medidores eletrônicos de acordo com INMETRO (2012).

Durante o teste de campo, foi verificado que a medição do protótipo na maior parte dos dados não ultrapassa a faixa de erro de 2,5%, conforme pode ser verificado na Figura 11.

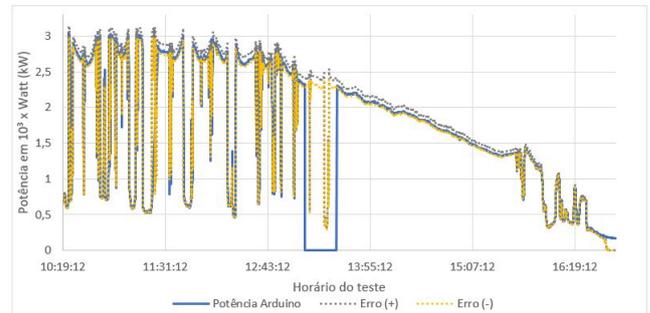


Figura 11. Valor medido pelo protótipo e faixa do erro de $\pm 2,5\%$.

Fonte: Autoria própria (2020)

Por se tratar de um protótipo, das limitações de recursos para realizar calibração, limitações de circuito e dos componentes, destaca-se por se manter boa parte do tempo dentro de da faixa de erro de 2,5%. Apesar das notáveis variações da geração, não houve grandes discrepâncias relevantes do valor lido pelo protótipo em relação ao valor real, mantendo-se dentro da faixa de erro aceitável durante a maior parte do teste realizado. Sendo, portanto, considerado válido de acordo com os padrões exigidos pelo (INMETRO, 2012).

Os resultados do teste de comunicação, já apresentado na Figura 10, evidencia a comunicação do protótipo com o sistema supervisório, exibindo os dados elétricos em tempo real e armazenamento do histórico dos mesmos, cujo acesso se dá através do arquivo gerado no servidor. Dessa forma, o teste comprovou a eficiência do protótipo quanto à comunicação.

7. CONCLUSÃO

Com a finalização do protótipo e realização dos testes na usina solar fotovoltaica Mossoró I, foi possível perceber que os principais objetivos definidos para este trabalho foram atingidos. O teste de acurácia realizado mostrou que o protótipo possui uma precisão aproximada de 2,5%, valor este equivalente a medidores eletrônicos com classe de exatidão A, e durante avaliação da calibração obteve-se um erro máximo próximo a 1,2% em relação ao analisador de energia ET-5061C.

O servidor Blynk® executou com eficiência seu papel, demonstrando robustez, com um tempo de resposta desejável na atualização dos dados no aplicativo instalado nos equipamentos móveis. A possibilidade de fácil integração do mesmo servidor local para mais de um projeto é ideal para implementação de monitoramento de sistema de geração de energia fotovoltaica que possua mais de um inversor de frequência, como é o caso da usina solar Mossoró II, que possui 10 inversores (UFERSA, 2019b).

De modo geral o protótipo cumpriu com seu objetivo de realizar o monitoramento, aquisição e armazenamento dos

parâmetros elétricos de um sistema de geração de energia fotovoltaica, gerando histórico e possibilitando vários tipos de implementações, por possuir protocolo aberto. A sua implementação não se restringe somente a monitoramento de um sistema de geração, mas também pode ser implementado em unidades consumidoras, ou equipamentos específicos que se deseje monitorar, apresentando assim uma grande versatilidade em projetos de medição (seja monofásico ou trifásico).

O armazenamento de dados deve ser avaliado numa aplicação com mais de um inversor, pois o espaço de memória do *Raspberry* é bastante limitado, sendo necessário avaliar o período de registro e o quanto de memória se tem disponível.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR (2020). Infográfico absolar. 2020. aneel/absolar. URL <http://www.absolar.org.br/infografico-absolar.html>. Acesso em: 16 jun. de 2020.
- Amin, S.M. and Wollenberg, B.F. (2005). Toward a smart grid: power delivery for the 21st century. *IEEE power and energy magazine*, 3(5), 34–41.
- ANEEL (2020). Matriz elétrica brasileira. referência dos dados 08/06/2020, 13:00h. microsoft power bi. URL <https://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao>. Acesso em: 08 jun. de 2020.
- Blink® (2019). Blynk server. URL <https://docs.blynk.cc/#blynk-server>. Acesso em: 12 dez. 2019.
- Botte, B., Cannatelli, V., and Rogai, S. (2005). The telegestore project in enel’s metering system. In *CIREN 2005-18th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution*, 1–4. IET.
- Devices, A. (2011). Poly phase multifunction energy metering ic with per phase information - ade7758. URL <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADE7758.pdf>. Acesso em: 05 mai. de 2019.
- IEA (2020). Solar pv – tracking report june 2020, paris. URL <https://www.iea.org/reports/solar-pv>. Acesso em: 08 jun. de 2020.
- INMETRO (2012). Portaria inmetro n.º 602, de 09 de novembro de 2012. URL <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001931.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2019.
- Minipa© (2020). Proposta técnica - analisador de energia modelo: Et-5061c. URL http://www.minipa.com.br/images/proposta_tecnica/ET-5061C-1303-BR.compressed.pdf. Acesso em: 11 jun. de 2020.
- MME/EPE (2020). Plano decenal de expansão de energia 2029. URL <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 08 jun. de 2020.
- Rosário, J.M. (2005). *Princípios de mecatrônica*. Pearson Educación.
- Sacomano, J., GONÇALVES, R., BONILLA, S., SILVA, M., and SÁTYRO, W. (2018). Indústria 4.0 conceitos e fundamentos. *São Paulo: Blucher*.
- Samie, F., Bauer, L., and Henkel, J. (2016). Iot technologies for embedded computing: A survey. In *2016 International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis (CODES+ ISSS)*, 1–10. IEEE.
- Santos, B.P., Silva, L.A., Celes, C., Borges, J.B., Neto, B.S.P., Vieira, M.A.M., Vieira, L.F.M., Goussevskaia, O.N., and Loureiro, A. (2016). Internet das coisas: da teoria à prática. *Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, 31.
- Sarinda, J.L., Iqbal, T., and Mann, G. (2017). Low-cost and open source scada options for remote control and monitoring of inverters. In *2017 IEEE 30th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, 1–4. IEEE.
- Seneviratne, P. (2018). *Hands-On Internet of Things with Blynk: Build on the power of Blynk to configure smart devices and build exciting IoT projects*. Packt Publishing Ltd.
- SMA© (2019). Datasheet inversor sunny boy 3000hf-us. URL <http://files.sma.de/dl/9524/SB20-30HF-US-IA-en-12.pdf>. Acesso em: 26 mai. 2020.
- UFERSA (2019a). Ficha técnica usina fotovoltaica cited (3,4 kwp). URL <https://usinasolar.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/130/2019/03/Ficha-Tecnica-USF-CITED.pdf>. Acesso em: 07 jun. de 2019.
- UFERSA (2019b). Usina solar mossoró ii – campus leste: Características gerais da central geradora. mossoró: Ufersa, 2017. URL <https://usinasolar.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/130/2019/03/Ficha-Tecnica-USF-MOSSOR%C3%93-2-CAMPUS-LESTE.pdf>. Acesso em: 07 jun. de 2019.
- US (2020). Smart grid. URL https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html. Acesso em: 11 jun. de 2020.