

Development of low-cost and good-accuracy irradiance datalogger

Igor E. A. do Nascimento, Lucas S. dos Santos, Otávio A. Chase, *Senior Member, IEEE*, Wilson N. Macêdo and Josiane C. Rodrigues

Abstract This paper presents the development of a solar irradiance datalogger a low-cost alternative compared to proprietary solutions. The sensor was built with open hardware and software based on the Arduino platform. The sensor was installed and tested in photovoltaic installations in Boa Vista, capital of Roraima, Amazon region, Brazil. Initial results show that the system is promising and can identify overirradiance events ($> 1000 \text{ W/m}^2$) that can harm photovoltaic systems operation.

Index Terms Photovoltaic Systems, Irradiance Sensors, Open Hardware, Overirradiance Events.

I. INTRODUCTION

A matriz energética brasileira tem como fonte principal as hidrelétricas (51,3%), segundo os dados da Associação Brasileira de Energia Solar ó ABSOLAR [1]. Entretanto, apesar de ser renovável, a construção de hidrelétricas necessita da inundação de enormes áreas, alterando irreversivelmente o ambiente em seu entorno, ou seja, a construção da usina traz um impacto ambiental muito grande, além de ser de alto custo financeiro [2]. Uma alternativa que vem crescendo bastante nos últimos anos é a energia fotovoltaica, que fechou o ano de 2022 como a segunda fonte da matriz elétrica do Brasil ao alcançar a marca de 23.854 megawatts (MW) de potência instalada operacional [3].

A eficiência de um sistema fotovoltaico depende principalmente do rendimento da transdução fotovoltaica. Nesse contexto, os fenômenos meteorológicos impactam diretamente na produção de energia das usinas fotovoltaicas. Assim, irradiâncias direta e difusa, temperaturas ambiente e dos painéis e a umidade relativa do ar influenciam fortemente no processo de transdução fotovoltaica e no tempo de vida útil dos dispositivos [4].

Desta forma, para se desenvolver pesquisas científicas sobre a análise de desempenho e detecção de falhas em usinas de geração fotovoltaicas, são necessários valores precisos e confiáveis de irradiância [5]. Existem diversos trabalhos publicados que apresentam expressões matemáticas de obtenção da irradiância, através da medição da corrente de curto-circuito, da tensão de circuito aberto, entre outros parâmetros [5]-[7], tais métodos apresentam erros aceitáveis, comparando os valores de irradiância obtidos por tais métodos com aqueles obtidos por sensores. Entretanto, é necessário obter valores confiáveis dos parâmetros do modelo matemático, o que nem sempre é trivial.

Por outro lado, há vários trabalhos em que a irradiância é medida por sensores. Os mais modernos sensores utilizados para se medir irradiância solar caem em três categorias principais: piranômetros de termopilha, piranômetros de fotodiodos e células de referência fotovoltaica. Existem, dentro dessas categorias, vários instrumentos com preços e desempenhos variados. Desta forma, pode-se tornar difícil a comparação entre medições realizadas por diferentes instrumentos, principalmente de categorias diferentes [8].

Neste artigo será apresentada uma solução de baixo custo e boa precisão para se mensurar o parâmetro de irradiância solar, assim como seus valores extremos, cuja análise é importante para se criar estratégias de diminuir o efeito da irradiância extrema, que pode danificar sistemas fotovoltaicos [9,10].

A solução aqui proposta utiliza uma pequena placa fotovoltaica para captador a energia do sol. Transfere essa energia para um componente eletrônico (INA219), que realiza a transdução dessa energia em corrente elétrica. Essa corrente, posteriormente será utilizada para se calcular, matematicamente, a irradiância correspondente. Ou seja, na verdade há uma mistura dos tipos de sensores de irradiância destacados em [8] e descritos acima. Essa metodologia foi primeiramente apresentada em [10], o que este artigo apresenta é uma melhoria e adaptação da mesma.

II. DESCRIÇÃO DO DATALOGGER

O datalogger de baixo custo aqui proposto é composto por um conjunto de componentes eletrônicos que farão a aquisição da energia solar através de um pequeno painel solar, descrito na subseção posterior. Essa energia passa então para um transdutor (INA219), que transformará essa energia em corrente elétrica. Esses valores de corrente medidos são transformados matematicamente em irradiância e armazenados a uma taxa de 6 amostras por minuto. Concomitantemente, valores de temperatura ambiente, também, são medidos e

Roraima Renewable Energy Forum supported this work through the cooperation agreement between Federal University of Roraima (UFRR) and Euvaldo Lodi Institute/Roraima (IEL/RR).

Igor. E. A. do Nascimento is graduate student in electrical engineering at UFRR (igoraguilar1318@gmail.com).

Lucas S. dos Santos is graduate student in electrical engineering at UFRR (lucaslorival2@gmail.com).

Otávio A. Chase is with the Cyberspatial Institute, Federal Rural University of Amazonia, BRA (e-mail: otavio.chase@ieee.org).

Wilson N. Macêdo is with the Institute of Technology, Federal University of Pará, BRA (wnmacedo@ufpa.br)

Josiane C. Rodrigues is with the professor in the Electrical Engineering Department, Federal University of Roraima, RR 69310000 BRA (e-mail: josiane.rodrigues@ufrr.br).

armazenados. Desta forma, este sistema permite realizar a medição de parâmetros ambientais como a irradiância solar e temperatura ambiente [12,13], tão importantes para a análise de desempenho e eficiência de sistemas fotovoltaicos [8]. O sensor de irradiância é composto de diversos módulos que se encontram acoplado em uma caixa hermética que protege os componentes eletrônicos de poeira e chuva.

Detalhando melhor, o *datalogger* de irradiância é composto por: uma placa fotovoltaica, um módulo leitor de cartão micro SD, um relógio RTC, um sensor de corrente e tensão INA219, um módulo sensor temperatura infravermelho, duas baterias de íon-lítio e uma placa Arduino integrada a um microcontrolador ATmega328 [9,10,14], conforme ilustra a Figura 1.

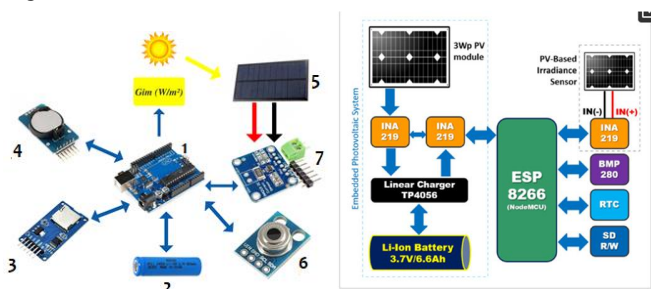


Figura 1 ó Componentes do sensor.

Observando a Figura 1, é possível perceber que os componentes do *datalogger* são:

- 1 ó Arduino Uno;
- 2 ó Pilhas de íon-lítio 18650;
- 3 ó Cartão micro SD;
- 4 ó RTC DS3231;
- 5 ó Placa fotovoltaica;
- 6 ó MLX90614;
- 7 ó INA 219.

Em seguida, os componentes enumerados na Figura 1 serão descritos.

A. Descrição dos Componentes

A alimentação da placa Arduino (1) se dá através de duas pilhas (2) íon-lítio 18650, 3,7 V e 2200 mA, conectadas em série em um *case* de baterias, essas pilhas são recarregáveis com uma excelente duração e muita aplicada em equipamentos eletrônicos portáteis.

O *datalogger* de irradiância tem a capacidade de armazenar medidas instantâneas de irradiância, a taxa de amostragem pode ser configurada, nas medições aqui apresentadas utilizou-se a taxa de 6 amostras por minutos, ou seja, a cada 10 segundo fazia-se uma medição e a armazenava. O armazenamento dos dados obtidos é realizado em um cartão micro SD de 8GB por meio do módulo leitor de cartão micro SD (3), a leitura das informações armazenadas se dá pela retirada do cartão SD para fazer a leitura em outro dispositivo eletrônico. O RTC DS3231(4) é um relógio de tempo real de alta precisão e baixo consumo de energia, que possui em sua placa um sensor de temperatura e um cristal oscilante para

melhorar sua exatidão. Utilizado para registrar dados como data e hora das medições, o RTC opera para regularizar o intervalo entre cada medição, liberando o módulo leitor de cartão SD para fazer o armazenamento, atualmente está se armazenando uma amostra a cada 10 segundos e somente no horário entre 6:00 e 18:00 horas, fora deste horário não são realizadas medições, entrando, portanto, em modo repouso.

A pequena placa fotovoltaica, de 11 cm x 13,5 cm, (5), que compõe o sensor de irradiância é composta por 24 células e, segundo o fabricante, tem uma tensão de máxima potência de 6,6V e uma tensão de circuito aberto de 7,44V, enquanto consegue gerar uma corrente de curto circuito de 340 mA, nas condições padrão de teste (1000 W/m² e 25 °C).

As medições de temperatura da costa da placa fotovoltaica e do meio ambiente são obtidas pelo sensor de temperatura infravermelho MLX90614 (6), esse sensor tem precisão de 0,5° C e detecta a temperatura corporal ou de objetos por infravermelho sem que seja necessário o contato direto, a distância máxima do sensor para a placa deve ser de 2 cm [15].

O principal componente eletrônico para o cálculo da irradiância solar é o INA219 (7), um módulo sensor de corrente e tensão de alta precisão que utiliza um resistor *shunt* para fazer as medições necessárias, tem resolução de 0,80 mA e uma tensão que varia de 0V a 26V, possuindo uma taxa de erro de ±0,5% [16]. A corrente do painel solar medida pelo INA219 é utilizada para calcular a irradiação solar, através da equação (1).

$$G_{\text{med}} = \frac{I_{\text{med}} \cdot R_{\text{shunt}}}{A_{\text{PV}}} \quad (1)$$

Sendo:

G_{med} - Irradiância medida pelo sensor;

I_{med} - Corrente obtida pelo INA219;

G_{ref} - Irradiância de referência, valor de 1000 W/m²;

I_{ref} - Corrente de referência, 340 mA, especificado pelo fabricante.

A Figura 2 apresenta um fluxograma com princípio de funcionamento do sistema de aquisição de dados (*datalogger*) descrito.

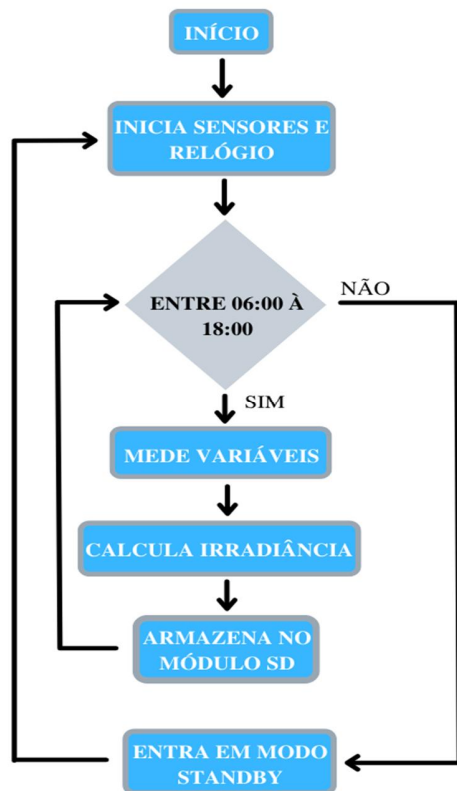


Figura 2 ó Fluxograma de funcionamento do sistema de aquisição de dados (*datalogger*).

O fluxograma é representação da lógica de programação utilizada para automatizar e configurar o *datalogger*. Esta ultima foi elaborado na linguagem C e compilado pela própria *Arduino*. O software é concebido a partir da logica de programação orientada a objeto, onde se declaram as características de cada objeto, nesse caso os sensores, e as funcionalidades dos mesmos, como seu intervalo de leitura, tempo de atuação, entre outras funcionalidades. Além disso, a *Arduino* conta com diversas bibliotecas de diversos fabricantes, facilitando assim a configuração e programação do sistema ao usufruir dos benefícios cedidos pelas mesmas. Dessa forma, a estrutura do software se dá em etapas logicas e sequenciais, sendo elas:

1. Declaração de bibliotecas a serem utilizadas;
2. Declaração de constantes e variáveis a serem utilizadas no decorrer do código;
3. Inicialização e configuração de cada componente do sistema;
4. *Loop* de funções, onde se declara como e quando cada componente deverá atuar;
5. Verificação e retorno para o início do *loop*;

III. RESULTS

A fim de testar o *datalogger* desenvolvido, foram realizadas várias campanhas de medição, que serão descritas a seguir:

A. Campus Cauamé

Com o *datalogger* implementado, chegou o momento de se questionar sobre a precisão do mesmo. Ele realizava as medições de forma confiável?

Para responder a esse questionamento, foi feita uma medição na UFRR, campus Cauamé, que possui uma estação meteorológica. Sendo assim, o sensor apresentado neste artigo, foi posicionado próximo ao sensor de irradiância existente na estação meteorológica comercial, certificada e calibrada.

O primeiro ponto a ajustar foi a taxa de aquisição da irradiância, no sensor em desenvolvimento era possível ajustar para mais de uma amostra por minuto, enquanto o da estação fornecia uma medição por hora. Entrando em contato com o fabricante, foi possível obter a taxa máxima de 1 amostra a cada 10 minutos. E assim o *software* do sensor desenvolvido foi ajustado para a mesma taxa. Entretanto, os dois relógios não estavam ajustados, de tal forma que havia uma diferença de segundos em tempos de aquisição. Além disso, a autonomia do *datalogger* desenvolvido não foi a esperada necessitando, desta forma, em aprimoramento. A Figura 3 apresenta uma imagem do posicionamento do *datalogger* desenvolvido no projeto, caixinha cinza, e o sensor da estação meteorológica, preso à haste.



Figura 3 ó Sensores da estação de Cauamé (na haste) e o desenvolvido no projeto (abrigo cinza).

Após a coleta dos dados, foi feito o processamento dos mesmos para que fosse possível fazer a comparação entre os dados medidos obtidos pelo *datalogger* com os dados medidos pela estação meteorológica do campus Cauamé, conforme mostrado no gráfico apresentado na Figura 4. Observe que entre as duas medições, representadas pela linha laranja e pelas barras em azul, existe uma defasagem de tempo e amplitude. Entretanto, o formato do traçado, em geral, apresenta a mesma tendência.

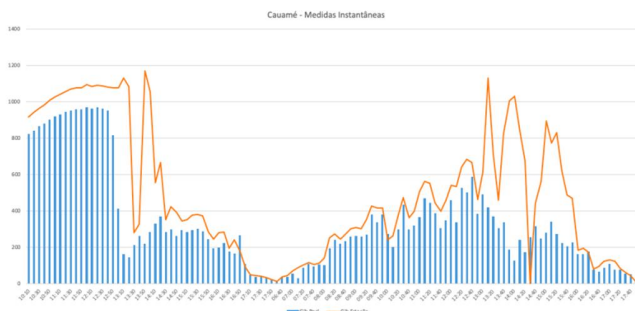


Figura 4 ó Irradiâncias instantâneas medidas pela estação meteorológica (linha) e pelo sensor desenvolvido (barras).

Observe na Figura 4 que o eixo horizontal apresenta o tempo, das 10:40h às 17:40h do primeiro dia de medição e das 06:50 às 17:50 do segundo dia. O intervalo entre os dois dias de medição se dá pela falta de irradiância solar no período noturno, obviamente.

O objetivo maior dessa medição no campus Cauamé era calibrar o sensor em desenvolvimento em relação ao piranômetro de termopilha, ôsensorô, da estação meteorológica. Essa calibração era importante para que se tivesse confiança nos dados medidos pelo sensor em desenvolvimento. Entretanto, como já citado em [8], existem dificuldades, imprecisões, ao se comparar medições provenientes de sensores de categorias distintas, tecnologias de construção diferentes, como é o caso aqui. Talvez isso justifique as diferenças entre os valores. Mas note que as tendências, ou envoltórias, dos sinais medidos são muito parecidas.

Tendo-se as medições obtidas, primeiramente tentou-se a calibração através de uma relação linear, descrita pela equação (2) e o resultado obtido está apresentado na Figura 5. Em (2) Gih_PIRN é cada dado medido pela estação meteorológica e Cal_Linear é o dado medido pelo sistema desenvolvido no projeto, após passar por uma calibração linear.

$$0,9721 * 27h_2222 55,797 \quad (2)$$

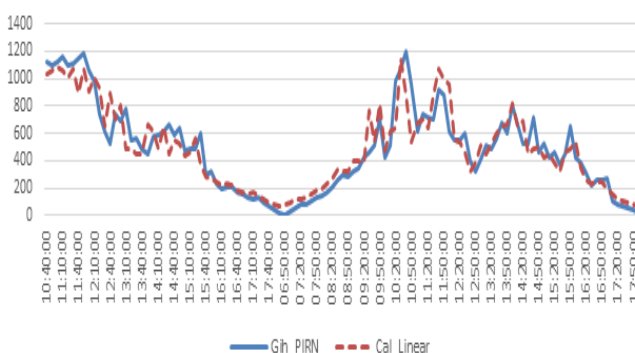


Figura 5 ó Dados da estação (linha cheia) versus dados do datalogger, após passar pela calibração dada por (2) (linha pontilhada).

Tentou-se também calibrar os dados através de uma polinomial dada por (3), cujo resultado comparativo é apresentado na Figura 6.

$$0,00022222 * 27h_2222 14,429 \quad (3)$$

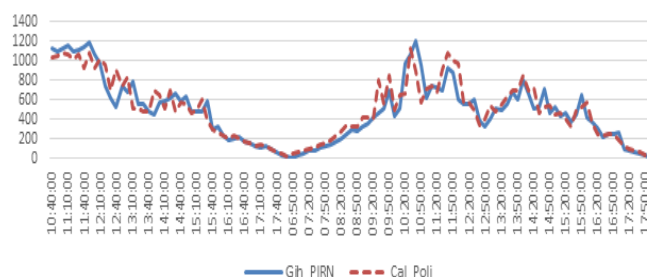


Figura 6 ó Dados da estação (linha cheia) versus dados do sensor, após passar pela calibração dada por (3) (linha pontilhada).

A Figura 7 apresenta uma comparação entre os dados medidos, Gih_FV, os dados calibrados pela equação linear, equação (2), Cal_Linear, e dados calibrados por uma equação polinomial, equação (3), Cal_Poli.

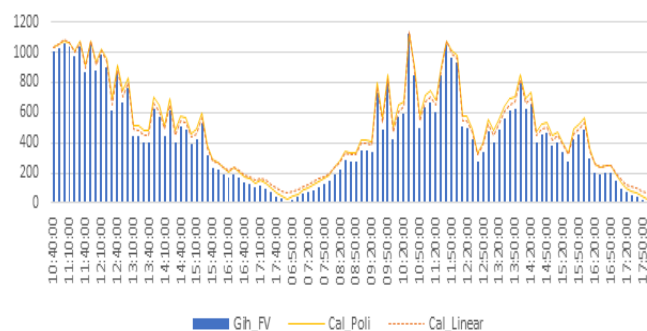


Figura 7 - Gráficos comparativos entre dados medidos sem e com calibrações posteriores.

Tanto usando a calibração linear quanto a calibração polinomial, a correlação entre os dados medidos pela estação meteorológica e pelo sensor desenvolvido, após calibração, se manteve em 93%. Contudo, devido à capacidade de memória utilizada, deve-se preferir a utilização da calibração linear.

B. Microusinas Residenciais

Essa microusinas está situada em uma área residencial de Boa Vista, cujas coordenadas geográficas são: latitude 2,845136 e longitude 660,653570 (2°50'41.8"N 60°39'12.9"W), veja a Figura 8, possuindo uma altitude 85 m. Nesta localização há uma microgeração de energia fotovoltaica com 44 painéis BYD PHK com potência de 335 W e dois inversores REFUONE 7K-2T com máxima potência de pico STC 11,25 kWp.

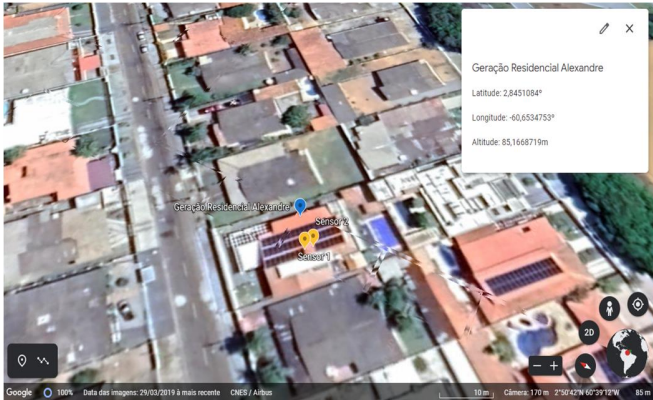


Figura 8 - Localização da medição.

Os sensores foram fixados ao lado das placas da microgeração, observe a Figura 9, inclinando a célula solar do sensor o mais próximo possível da inclinação das placas da microgeração fotovoltaica.



Figura 9 - Localização dos sensores em relação aos painéis da microgeração.

Obteve-se do sensor 1, SIB 1, um total de 4787 medições, sendo 2522 medições no decorrer de 7 horas de medições no dia 24 de fevereiro, mas também este mesmo sensor obteve 2265 medições no dia posterior durante aproximadamente 6 horas de medições, totalizando 13 horas solar.

Considerando a irradiância de referência (1000 W/m^2), se teve 335 medições acima deste valor no SIB 1, enquanto no sensor 2, SIB 2, foram obtidas 158 medições. Foi possível observar que 7% e 10,42% foram medições de irradiância extrema, respectivamente. É importante observar que as medições foram realizadas em dias atípicos de fevereiro, período seco no estado de Roraima. Nesses dias, entretanto, o tempo estava nublado e com chuvas de verão.

Os valores de irradiância obtidos nos dois dias de medição são apresentados nas Figuras 10 e 11, para o SIB1 e SIB2, respectivamente. Onde as linhas com coloração laranja (Gih) refere-se à irradiância solar obtida pela equação (1), azul (GihCal) refere-se àquela obtida pela equação (3) e amarela (I), é a corrente obtida pelo INA219.

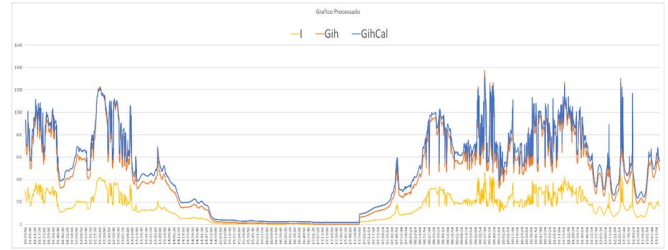


Figura 10 ó Dados obtidos do sensor 1 (SIB1).

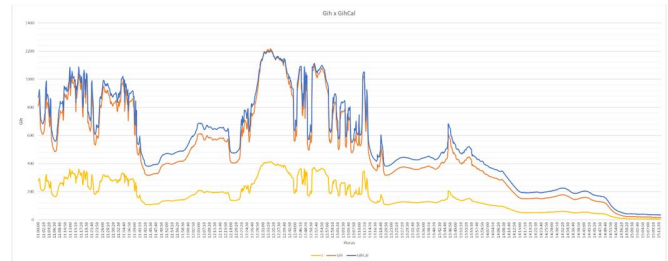


Figura 11 ó dados obtidos do sensor 2 (SIB2).

No SIB 2 se obteve menos medições que no SIB 1, pois o tempo de duração das baterias deste sensor foi menor em relação ao outro, totalizando 1515 medições durante um pouco mais de 5 horas solar.

C. Usina da Vimezer

Em Boa Vista existe uma cadeia de lojas de materiais de construção chamada de Vimezer. Os proprietários da Vimezer possuem uma usina solar com 294 placas de 270 kW cada, com o objetivo de abater a energia gerada pela usina da conta de energia elétrica final da empresa. Essa òfazenda solarõ é situada na área rural da cidade, situando-se numa propriedade da família detentora das lojas. Assim, o sensor foi inserido ao lado de uma das placas dessa fazenda, conforme mostra a Figura 12, com o intuito do mesmo realizar a captação da irradiância solar de maneira análoga às placas solares, ou seja, mesmo azimute e inclinação. Desta forma, o sensor captaria a mesma irradiância que as placas solares.



Figura 12 - òFazenda solarõ da Vimezer com o sensor (em destaque) instalado.

A fazenda está localizada nas coordenadas geográficas de latitude $2,896411^\circ\text{N}$ e longitude $-60,748819^\circ\text{W}$, com uma

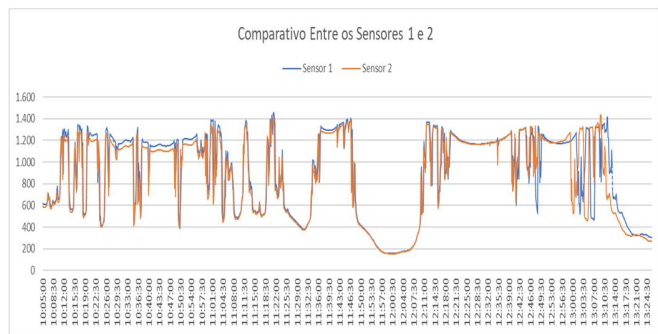
altitude de 78 metros, como mostrado na Figura 13. As medições foram realizadas no dia 3 de março de 2022 a partir de dois sensores dispostos em pontos distintos da usina fotovoltaica. Enquanto isso os sensores 1 e 2, à esquerda e à direita na Figura 13, respectivamente, apresentaram uma média de, $830,97 \text{ W/m}^2$ e de $917,91 \text{ W/m}^2$, respectivamente, tendo o primeiro sensor coletado dados num intervalo de aproximadamente 6 horas, sendo das 10:00 às 15:51 horas, e o segundo sensor um intervalo de aproximadamente 5 horas, sendo das 10:00 às 14:51 horas, com um total de 2080 medições no SIB 1 e 1718 medições no SIB 2.



Figura 13 - Localização da fazenda solar da empresa Vimezer.

Após o tratamento dos dados, observou-se, nos sensores 1 e 2, SIB 1 e SIB 2, respectivamente, uma incidência de 37,78% e 48,83% de valores acima do de referência de 1000 W/m^2 .

A Figura 14 apresenta dois gráficos, contendo os valores de irradiância medidos pelos sensores SIB1 e SIB2, linhas azul e marrom, respectivamente, usando uma taxa de 1 amostra a cada 3 minutos. Percebe-se que existe uma variação média de $13,78 \text{ W/m}^2$ entre os valores obtidos por ambos os sensores, mas o contorno das curvas é exatamente o mesmo. Várias possíveis causas podem ser usadas para justificar essa pequena diferença, por exemplo, a posição dos sensores, a precisão dos componentes circuitais envolvidos e outros.



Temperature (K), not Temperature/K.ö

IV. CONCLUSÃO

O projeto, cujos resultados estão expostos neste artigo, teve duração de 1 ano, muito pouco para o desenvolvimento de qualquer mecanismo robusto e de alta precisão. Portanto, deve ser continuado, sempre no intuito de aprimoramento do desempenho e autonomia. Aliás, autonomia certamente é um parâmetro a ser melhorado, pois, as baterias que sustentavam o sistema apresentaram várias falhas. Perderam-se muitos dados, pois se acreditava que o sensor estava funcionando e, ao

analisar os dados medidos, verificava-se que o mesmo estava sem energia há muito tempo.

O sistema desenvolvido até aqui, se mostrou bastante promissor. Novos testes estão sendo realizados, para se obter o aperfeiçoamento do sistema.

REFERÊNCIAS

- [1] www.absolar.org.br, visitado em 05/01/2023.
- [2] M. G. Villalva, *ÓEnergia Solar Fotovoltaica ó Conceitos e Aplicações*, 2ª Ed., Editora Érica/Saraiva, 2012
- [3] <https://www.cnnbrasil.com.br/business/capacidade-de-energia-solar-no-brasil-cresce-mais-de-60-no-ano-diz-associacao/>, visitado em 05/01/2023.
- [4] A. Lazzarini Barnabei, M. Grassi, E. Dallago, P. Malcovati, D. G. Finarelli, A. Liberale and F. Quaglia, *óA Wireless Irradiance-Temperature-Humidity Sensor for Photovoltaic Plant Monitoring Applications*, in Proc. of SENSORS, 2012 IEEE, Taipei, Taiwan, 28-31 October 2012.
- [5] Li Feng, Matthias Diehl, Frank. U. Hamelmann, Thomas Pfeil, Steffen Brandt, Jingwei Zhang, Kun Ding and Nowshad Amin, *óA Novel Method to Evaluate Irradiance in PV Field without Irradiance Sensors*, in Proc. of 47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), Calgary, AB, Canada, 15-21 Aug. 2020.
- [6] Joel Cruz-Colon, Luis Martinez-Mitjans and Eduardo I. Ortiz-Rivera, *óDesign of a Low Cost Irradiance Meter using a Photovoltaic Panel*, in Proc. of 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Austin, TX, USA, 03-08 Jun. 2012.
- [7] Eduardo I. Ortiz, F.Z. Peng, *óAlgorithms to Estimate the Temperature and Effective Irradiance Level Over a Photovoltaic Module using the Fixed Point Theorem*, 2006 PESC 06 IEEE 37th.
- [8] Anton Driesse and Wim Zaaiman, *óCharacterization of Global Irradiance Sensors for use with PV Systems*, in Proc. of 42nd IEEE Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), New Orleans, LA, USA, 14-19 June 2015.
- [9] W. R. Q. Coaquira, R. C. Yucra, N. J. B. Castañón e W. N. Macêdo, *óMedición y monitoreo de eventos extremos de irradiancia solar mediante una plataforma sensorial de bajo costo en las condiciones geográficas y climatológicas de Juliaca*, NAWPARISUN - Revista de Investigación Científica, Vol. 3, Num. 2, Enero - Marzo, 2021.
- [10] O. A. Chase, M.B. Teles, M. de Jesus dos Santos Rodrigues, M., De J.F.S. Almeida, W. N. Macêdo, C. T. da Costa Junior, *A Low-Cost, Stand-Alone Sensory Platform for Monitoring Extreme Solar Overirradiance Events*, Sensors 2018, 18, 2685. <https://doi.org/10.3390/s18082685>
- [11] 2016, ISBN: 9781491921760
- [12] O. A. Chase, A. N. Carvalho, E.S.S. Andrade, J. F. Almeida, C. Tavares-da-Costa Junior, *Environmental Measurement Technology: An Approach to the Amazonian Environment*. IEEE Latin America Transactions, v. 16, p. 1036-1041, 2018.
- [13] K. Gusso Lenzi, L.G. Pedroso Meloni, *óPerformance Measurement Simulations for Analog-to-Digital Converters*, IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, Vol. 10, No. 1, pp. 1168-1174, Jan. 2012.
- [14] M. Hughes, *Arduino: A Technical Reference*. O'Reilly Media, Inc.,
- [15] <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/218975/ETC2/MLX90614.html>, consultada em 06/01/2023.
- [16] Datasheet do INA219,
- [17] J.T. Pinho, M. A. Galdino, *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*; CRESESB: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito: Rio de Janeiro, Brazil, 2014; ISBN 978-85-99714-10-2.
- [18] EPE, *Balanco Energético Nacional*, 2019. Rio de Janeiro: EPE, 2019.
- [19] EBC, *Energia solar cresce e se torna 3ª fonte da matriz elétrica do Brasil*. Brasília: EBC, 2022.



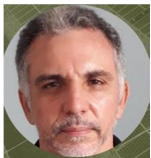
Igor Emanuel Aguiar do Nascimento Graduando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Roraima (UFRR), Boa Vista, Roraima, Brasil, 2022. Suas principais áreas de pesquisa são: Energias Renováveis e Sensoriamento.



Lucas Sousa dos Santos Graduando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Roraima (UFRR), Boa Vista, Roraima, Brasil, 2022. Técnico em Informática pelo Instituto Federal de Roraima (IFRR), Boa Vista, Roraima, Brasil, 2017. Suas principais áreas de pesquisa são: Energias Renováveis, Automação e inovação.

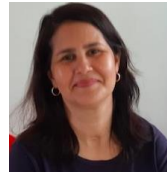


Otavio Andre Chase é Professor Adjunto IV do Instituto Ciberespacial da Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA; Membro Sênior do IEEE e Integrante do Laboratório de Sistemas Ciberfísicos do ICIBE/UFRA desde 2010; Doutor (2018) e Mestre (2009) em Engenharia Elétrica, na área de Sistemas de Energia Elétrica pela Universidade Federal do Pará - UFPA; Bacharel (2007) em Engenharia da Computação, com ênfase em Sistemas Eletrônicos pelo antigo Instituto de Estudos Superiores da Amazônia - IESAM; Desde o ano 2000 atua e publica nas áreas de Engenharia de Sistemas, Sistemas Ciberfísicos, Tecnologias Ambientais, Energias Renováveis e, Educação em Engenharia.



Wilson Negrão Macêdo é Professor Associado III do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará. Membro permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE/UFPA) e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (PRODERNA/UFPA). Possui graduação (1999) e mestrado (2002) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará e Doutorado em Energia pela Universidade de São Paulo (2006), onde desenvolveu atividades de pesquisa no período de 2002 a 2006, no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Eletrotécnica e Energia. Atualmente desenvolve trabalhos de pesquisa e inovação, na área de energia solar fotovoltaica e sistemas híbridos, no Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas da Universidade Federal do Pará (GEDAE/UFPA), onde coordena o Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos. Pesquisador colaborador do Grupo de Pesquisa em Inovação, Desenvolvimento e Adaptação de Tecnologias Sustentáveis - GPIDATS - IDSM-OS. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência, atuando principalmente nos seguintes temas: Energia solar Fotovoltaica, Geração Distribuída, Conexão à Rede Elétrica de Baixa Tensão, Atendimento de Localidades Isoladas, Sistemas Fotovoltaicos OFF-GRID, Sistemas

Fotovoltaicos de Bombeamento de Água, Sistemas Híbridos e Micro-redes de Corrente Contínua.



Josiane do Couto Rodrigues possui graduação (2000), mestrado (2002) e doutorado (2011) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Tem mais de 15 anos de experiência no ensino de graduação em vários cursos de engenharia. Atualmente é professora do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Roraima (UFRR) e membro do Fórum de Energias Renováveis de Roraima. Suas principais áreas de pesquisa são: comunicações móveis, propagação de sinal e energias renováveis.