

DESENVOLVIMENTO DE MEDIDOR DE IRRADIÂNCIA E IRRADIAÇÃO SOLAR DE BAIXO CUSTO PARA FINS DIDÁTICOS

Marcelo Kenji Shibuya – marcelo.shibuya@ifsp.edu.br

Gir Heng Meu Lei - gir.heng@aluno.ifsp.edu.br

Instituto Federal de São Paulo, Câmpus Guarulhos

Resumo. Este artigo descreve o processo de desenvolvimento e os resultados obtidos de um medidor de irradiância e irradiação solar de baixo custo, utilizando como sensor, um módulo fotovoltaico de dimensões reduzidas e um Arduino UNO para o gerenciamento das medições realizadas. O medidor desenvolvido será utilizado para fins didáticos em cursos relacionados à energia solar fotovoltaica do Instituto Federal de São Paulo – câmpus Guarulhos. Na seção Resultados, apresenta-se uma metodologia para comparar os gráficos dos dados de irradiância solar com dados de geração de um gerador fotovoltaico, mostrando que o funcionamento do dispositivo desenvolvido apresentou resultados satisfatórios e dentro das expectativas de projeto. Ao final do artigo, são apresentadas as etapas futuras de execução do projeto, mostrando que o medidor desenvolvido será integrado com um medidor de energia para possibilitar realizar monitoramento de sistemas fotovoltaicos e alertar sobre a necessidade de manutenções no sistema de geração.

Palavras-chave: Irradiância, Irradiação, Recurso Solar

1. INTRODUÇÃO

O Sol é considerado como uma inesgotável fonte energética e pode ser aproveitado em diversos sistemas de conversão de energia térmica e elétrica. A radiação solar incidente sobre a superfície terrestre é constituída por uma componente direta e por uma componente difusa. A radiação direta é a componente da radiação solar que atravessa a atmosfera terrestre sem sofrer espalhamento, enquanto a radiação difusa é aquela proveniente de todas as direções e que atinge a superfície após sofrer espalhamento pela atmosfera terrestre e reflexão em nuvens conforme comentado por Pinho e Galdino (2014).

De acordo com Domingos et al. (2020), o estudo da radiação solar torna-se fundamental para a utilização apropriada das tecnologias solares obtendo-se assim, o melhor rendimento dos sistemas de geração fotovoltaica. Conhecer o potencial energético solar de uma região é importante para possibilitar o melhor aproveitamento desse recurso e para tanto, os instrumentos mais adequados para a medição da radiação solar comercialmente disponíveis são o piranômetro e o pireliômetro. O primeiro instrumento de medição citado realiza medidas de radiação global e o segundo, é utilizado para medidas da componente direta da radiação solar. Os piranômetros, de acordo com Rosso et al. (2018) podem ser do tipo fotovoltaico, que são compostos por uma célula fotovoltaica de pequenas dimensões e apresentam como vantagem o menor custo. Já os piranômetros do tipo termopilha usam como sensores os termopares.

Um dos problemas enfrentados pelas unidades de ensino, sejam as universidades, faculdades e as unidades que oferecem os cursos técnicos profissionalizantes é o alto custo desses equipamentos de medição. A falta desse equipamento impede que os alunos possam realizar as medições na prática, atividades essas requeridas para o aprendizado e fixação dos conhecimentos sobre o recurso solar.

Dentro desse enfoque, o presente estudo apresenta uma solução de baixo custo para a medição de irradiância e irradiação solar que está sendo desenvolvido no Instituto Federal de São Paulo, Câmpus Guarulhos em pesquisa interna de Iniciação Científica. Para atingir esse objetivo, foi utilizado para o desenvolvimento desse medidor de irradiância e irradiação solar, um módulo fotovoltaico como sensor e um Arduino UNO como gerenciador das medições a serem realizadas. O princípio de funcionamento desse dispositivo é a medição da corrente de curto-circuito (I_{sc}) do módulo fotovoltaico e a conversão desse valor de corrente em valor de irradiância solar.

Ao final do artigo são comparados os gráficos de irradiância solar e de geração fotovoltaica, cuja medição foi realizada no citado câmpus. O resultado da comparação realizada mostrou que o dispositivo desenvolvido apresentou resultados satisfatórios e promissores para a continuidade do projeto.

Os resultados relatados no presente artigo se referem a estudos iniciais de um projeto que está ainda em fase intermediária de execução. Até o final do projeto, pretende-se calibrar o dispositivo de medição com o auxílio de piranômetros, buscando-se maior precisão nas medições obtidas por esse instrumento. Além disso, o dispositivo medidor de irradiância será complementado com um dispositivo medidor de geração fotovoltaica. Dessa forma, ao final do projeto espera-se obter um sistema de monitoramento de geração fotovoltaica que irá ter como referência os valores de irradiância solar do local e a geração elétrica obtida pelo sistema fotovoltaico. Por ser um dispositivo de baixo custo, esse sistema poderá ficar instalado de forma permanente com o sistema gerador fotovoltaico, cuja função será de monitorar a energia elétrica gerada em função dos dados de irradiância. Em caso de anomalias na geração, o sistema poderá emitir avisos para a manutenção no sistema de geração.

1.1 Irradiância e irradiação solar

A conversão da energia solar em energia elétrica é realizada por meio da incidência da radiação solar nas células fotovoltaicas que por sua vez, fazem parte do módulo fotovoltaico. Segundo Villalva (2015), a produção de eletricidade a partir dos sistemas fotovoltaicos consiste na conversão direta da radiação eletromagnética do Sol em energia elétrica por meio da criação de uma diferença de potencial elétrica sobre uma célula fotovoltaica fabricada a partir de material semicondutor.

Até atingir a superfície terrestre, a radiação solar atravessa a atmosfera terrestre e sofre influência dos gases componentes do ar, da poluição e das nuvens, que causam efeitos de refração, espalhamento e reflexão dos raios solares. Sendo assim, de acordo com Villalva (2015), Pinho e Galdino (2014) e Souza de Paula (2020) a radiação solar que atinge as células fotovoltaicas pode ser dividida em radiação direta e difusa. A soma dessas duas radiações resulta na radiação global que é a energia solar efetivamente aproveitável pelas células fotovoltaicas na conversão da energia solar para a elétrica. Com relação às nomenclaturas, Pinho e Galdino (2014) complementam que a medida de potência por unidade de área da radiação solar é denominada como irradiância solar (unidade de medida em W/m^2) e a unidade de energia por unidade de área é denominada como irradiação solar (unidade de medida em Wh/m^2).

Rosso et al. (2020) comentam que a radiação global que atinge uma determinada superfície pode ser mensurada através de um instrumento denominado como piranômetro. Os mesmos autores acrescentam que existem dois tipos de piranômetros que utilizam diferentes tipos de sensores. Esses sensores podem funcionar com o princípio da termopilha ou da célula fotovoltaica.

O primeiro tipo de piranômetro, segundo Pinho e Galdino (2014) é constituído por um conjunto de termopares, que forma a chamada termopilha, o qual é posicionada sob um difusor, contendo um lado posicionado em uma superfície enegrecida voltada para o Sol e o outro voltado para o interior do instrumento ou sob uma superfície de cor clara. A diferença de temperatura nas juntas dos termopares expostos em condições diferentes à radiação solar produz uma tensão elétrica proporcional à radiação solar incidente.

Já o segundo tipo de piranômetro, de acordo com os mesmos autores, utiliza uma pequena célula fotovoltaica de silício como sensor, que é posicionada sob um difusor e exposta à radiação solar. Pelo efeito fotovoltaico proveniente da radiação solar, a célula produz uma corrente elétrica que, sob determinadas condições, é proporcional à intensidade da radiação incidente, conforme comentam Rosso et al. (2020). Tais condições de funcionamento ocorre quando a célula opera na região da curva de corrente versus tensão entre o ponto de operação em curto-circuito e um ponto próximo ao de máxima potência, onde a corrente passa a decrescer com o aumento da tensão. A operação nessa região de linearidade pode ser conseguida conectando a célula a uma resistência de valor suficientemente baixo. Ainda, de acordo com os mesmos autores, o piranômetro que utiliza o sensor fotovoltaico tem, de uma forma geral, resposta mais rápida e linear em relação à intensidade da radiação solar, e um custo baixo, em comparação com o piranômetro do tipo termopilha mencionado anteriormente.

A proporcionalidade entre a corrente de curto-circuito (I_{sc}) de um módulo fotovoltaico e a irradiância solar foi estudada e comprovada em pesquisa realizada por Lei e Shibuya (2021). No experimento, foram realizadas medições dos pares de valores de irradiância solar e a respectiva corrente de curto-circuito de um módulo fotovoltaico exposto à radiação solar. O módulo fotovoltaico utilizado é disponível comercialmente com potência de $1Wp$ e tensão de circuito aberto de $6V$. Com os pares de valores obtidos, foi elaborado um gráfico de correlação e por meio das funções da planilha Excel, o coeficiente de correlação foi obtido, com valor de $0,99$.

De acordo com Villalva (2015) a medida de irradiância que é dada em W/m^2 é útil para avaliar a eficiência dos dispositivos e sistemas fotovoltaicos. Com o valor padrão de $1000W/m^2$ as eficiências das células e módulos fotovoltaicos de diversos fabricantes podem ser especificadas e comparadas com base numa condição padronizada de irradiância solar. O mesmo autor acrescenta que ao se coletar e armazenar os dados de irradiância por um determinado período, é possível o cálculo da quantidade de energia recebida do Sol por uma determinada área no período considerado.

A irradiação solar, segundo a norma ABNT NBR 10899 (2013) pode ser definida como a integral da irradiância solar durante um intervalo de tempo especificado, normalmente 1 h ou um dia, medida em unidades de watt-hora por metro quadrado ou joules por metro quadrado, simbolizada por I , quando integrada no tempo de 1 h, ou por H , quando integrada no tempo de um dia.

A Fig. 1 exemplifica uma curva de irradiação solar obtida em experimento realizado por Lei e Shibuya (2021). Ao observar essa curva, cada uma das medições de valores de potência instantânea se refere à irradiância solar (em W/m^2) e a área total abaixo da curva é a medida de irradiação solar (em Wh/m^2).

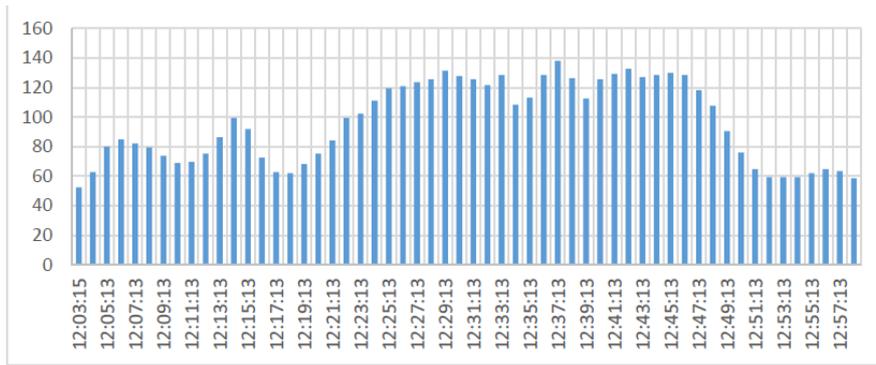


Figura 1 – Gráfico de irradiação solar (Fonte: Lei e Shibuya, 2021)

2. METODOLOGIA

O propósito do presente projeto consistiu na construção de um dispositivo para realizar a coleta de medidas de corrente de curto-circuito de um módulo fotovoltaico exposto ao Sol em intervalos programados de um minuto. As medidas de curto-circuito foram convertidas em valores de irradiância solar por meio de cálculo executado por um microcontrolador Arduino UNO. As medidas de irradiância eram armazenadas em cartão de memória. Após a finalização do período de coleta, os dados eram transferidos a um PC para a elaboração do gráfico de irradiação e o cálculo da irradiação solar do período.

Na Fig. 2 é possível de se visualizar o diagrama de blocos que define o fluxo operacional do dispositivo construído para medição de irradiância e irradiação solar.

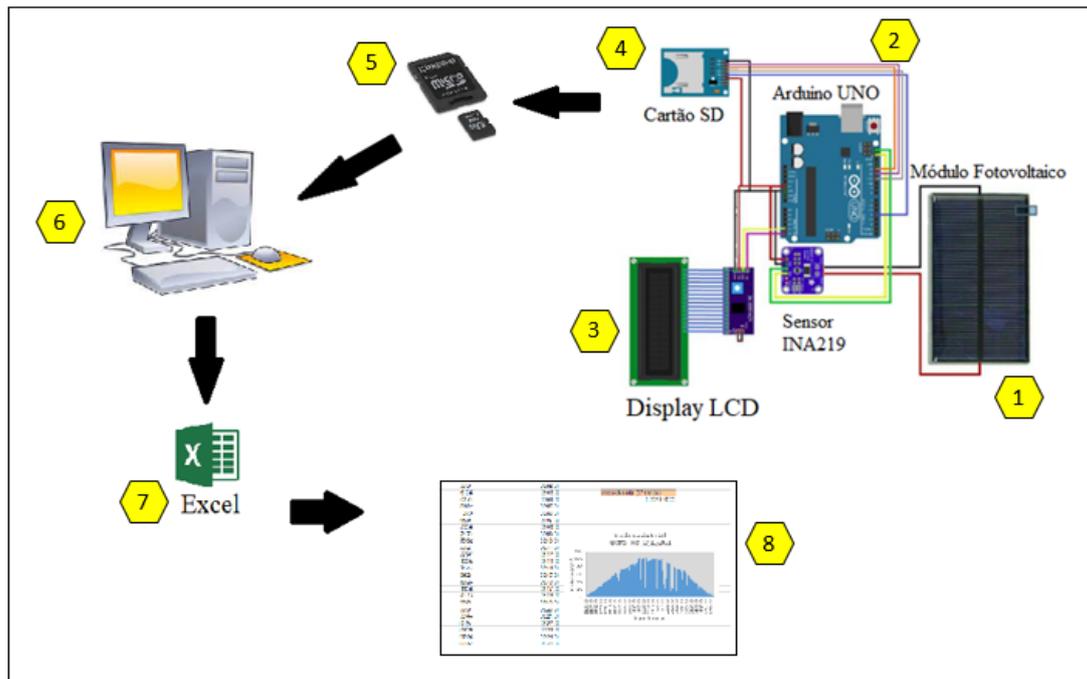


Figura 2 – Diagrama de Blocos mostrando funcionamento do dispositivo.

A seguir, descreve-se para cada numeração dos blocos da Fig. 2, as respectivas explicações sobre a funcionalidade dos mesmos.

1. Módulo fotovoltaico de potência 1Wp e tensão de circuito aberto (V_{oc}) de 6V com dimensões de 5cm de largura por 10cm de comprimento.
2. Arduino UNO com sensor de corrente modelo INA219. O sensor INA219 realizava as medições de corrente de curto-circuito do módulo fotovoltaico (Bloco 1) e o Arduino UNO, por meio de programação, executava a conversão da corrente de curto-circuito lida pelo sensor INA219 para valores de irradiância solar.
3. *Display LCD*: é ligado a uma das saídas do Arduino UNO e possibilita visualizar os valores instantâneos de irradiância solar.
4. Leitor de cartão de memória: é ligado a uma das saídas do Arduino UNO e possibilita realizar a gravação de dados medidos em cartão de memória.

5. Cartão de memória: após finalizado o período de medição o cartão de memória é retirado e inserido no microcomputador para elaboração do gráfico de irradiância e cálculo da irradiação do período.
6. Microcomputador: utilizado para leitura dos dados do cartão de memória e cálculos em planilha Excel.
7. Planilha Excel: utilizado para realizar os cálculos e gráfico de irradiância solar.
8. Gráfico de irradiância solar elaborado.

Para a construção do dispositivo de medição da irradiância solar, foi utilizado como sensor (sonda) um módulo fotovoltaico de 1Wp, cuja tensão de circuito aberto (Voc) é de 6V. Por meio desse sensor, foram coletadas as medidas da corrente de curto-circuito (Isc) desse módulo fotovoltaico e os valores de correntes foram convertidas em valores de irradiância solar.

Para a calibração do medidor de irradiância solar, buscou-se realizar a coleta de uma série de 200 medições de valores da corrente de curto-circuito do módulo fotovoltaico de 1Wp e os respectivos valores de irradiância solar (que foi medido com auxílio de um solarímetro). Assim, com a finalidade de obtenção de uma amostragem suficiente de valores de irradiância solar para a calibração pretendida, utilizou-se como critério a coleta de valores que compreendessem as diversas possibilidades de irradiâncias, desde a irradiância máxima (que ocorre em dias ensolarados sem nuvens com sol perpendicular à superfície terrestre), passando por irradiâncias em dias nublados em diversos horários do dia e ocasiões em que a irradiância solar é mínima, fazendo-se assim, uma completa varredura das possíveis variações de condições climáticas que possam ocorrer. Conforme mencionado anteriormente, para cada valor de corrente de curto-circuito medido pelo módulo fotovoltaico, procurou-se obter a respectiva medida de irradiância solar com auxílio de um solarímetro marca ICEL, modelo SP2000.

Com os pares de valores de corrente de curto-circuito do módulo fotovoltaico e o respectivo valor de irradiância solar, foi possível elaborar o gráfico de correlação, obter a reta de correlação e a respectiva equação da reta, que determina o valor da irradiância solar de acordo com a corrente de curto-circuito medido pelo módulo fotovoltaico de 1Wp. A Fig. 3 mostra o gráfico de dispersão com os dados coletados. Como pode ser observado na Fig. 3, os pontos do gráfico que não se alinham à reta de tendência podem ter sido causados pela variação da temperatura do módulo fotovoltaico devido à exposição aos raios solares durante a realização da medição.

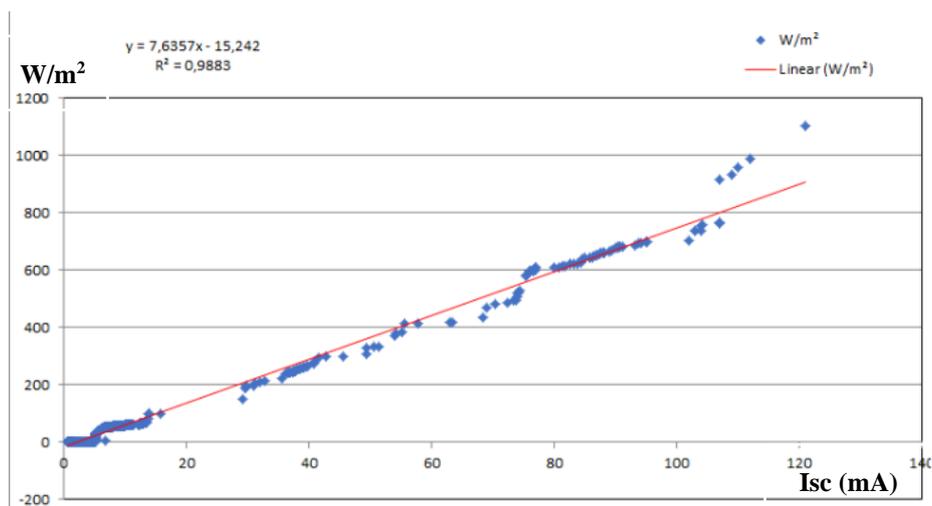


Figura 3 – Gráfico de dispersão entre os valores medidos de Isc do módulo fotovoltaico (eixo X) e os respectivos valores de Irradiância Solar (eixo Y).

A Eq.(1) reproduz a função matemática obtida por meio da reta de tendência da planilha Excel. Essa equação foi utilizada para programar o Arduino UNO para realizar a conversão da corrente de curto-circuito medida pelo módulo fotovoltaico em medida de irradiância solar:

$$Y = 7,6357.X - 15,242 \quad (1)$$

Em que:

- Y = valor de irradiância solar em W/m²;
- X = valor medido de corrente de curto-circuito do módulo fotovoltaico de 1Wp.

Para realizar as medições, o dispositivo foi instalado sobre um telhado do campus Guarulhos do IFSP conforme mostrado na Fig. 4. A inclinação do módulo fotovoltaico utilizado como sonda (sensor) foi paralela em relação ao solo.



Figura 4 – Instalação do dispositivo de medição de irradiância.

Para fins de análise do funcionamento do dispositivo de medição de irradiância e irradiação, optou-se por selecionar dados coletados em dois dias com características diferentes de ocorrência de nuvens no céu. No dia 17/11/2021 constatou-se dia com céu claro e poucas nuvens. Na outra ocasião, a medição foi realizada no dia 27/11/2021, houve uma ocorrência de quantidade maior de nuvens ao longo do dia.

Após a elaboração dos gráficos de irradiação solar dos dias mencionados anteriormente, estes foram comparados com os gráficos de geração fotovoltaica do sistema de geração do campus Guarulhos do Instituto Federal de São Paulo. Os dados para a elaboração desses gráficos foram conseguidos do sistema de gerenciamento de geração (marca SolarView) que foi instalado para monitorar a produção de energia.

A comparação das curvas de irradiação solar com as respectivas curvas de geração do sistema fotovoltaico se deu pela análise do formato dessas duas curvas, que é o principal objetivo do presente estudo. Conforme mencionado anteriormente em Introdução, os resultados divulgados no presente estudo fazem parte de um projeto em execução, cujo objetivo final é de se obter um dispositivo de monitoramento de sistemas fotovoltaicos instalados. Nesse caso, o dispositivo faria a análise comparativa de curvas de geração e da curva de irradiância para poder detectar anomalias no sistema de geração.

3. RESULTADOS

Uma das premissas e expectativas quanto aos resultados a serem apresentados é que os valores coletados para irradiância solar e de potência gerada variem de forma proporcional em função da radiação solar incidente sobre os módulos fotovoltaicos do sistema de geração fotovoltaica e do sensor do medidor de irradiância solar. Sendo assim e partindo-se desse princípio, espera-se que as curvas de irradiância solar e de potência gerada tenham formatos semelhantes entre si.

Os resultados das medições realizadas são mostrados a seguir. A Fig. 5 mostra os gráficos comparativos para dados de irradiância solar e geração fotovoltaica para o dia 17/11/2021. O dispositivo medidor de irradiância estava ajustado para coleta de dados para intervalos a cada minuto ao passo que o *data logger* que faz a coleta de dados de geração fotovoltaica vem ajustado de fábrica para fazer a aquisição de dados a cada 5 minutos. Essa diferença de intervalos de aquisição de dados é, provavelmente, uma das possíveis razões para os gráficos apresentarem algumas diferenças no formato das curvas de irradiância obtidas.

Um outro fator que pode justificar a ocorrência de diferenças entre os gráficos de medidas de irradiância solar coletadas e os valores de potência de geração fotovoltaica é a diferença da área de incidência solar para o sistema de geração fotovoltaica e o módulo sensor. A área em que os módulos fotovoltaicos que compõem o sistema de geração fotovoltaica estão instalados mede aproximadamente 170m² (trata-se de um sistema de 58kWp) ao passo que a área do módulo fotovoltaico que é utilizado como sensor do dispositivo medidor de irradiância solar é de 50cm². Em determinados períodos do dia e dependendo da distribuição das nuvens no céu, é possível que ocorra sombreamento parcial em alguns módulos do sistema de geração fotovoltaica e não ocorrer sombreamento no módulo sensor, o que pode causar diferenças das medidas coletadas

Por outro lado, pode ocorrer o sombreamento total no módulo sensor e o sombreamento parcial ou mesmo, a não ocorrência de sombreamento nos módulos que compõem o conjunto gerador fotovoltaico. Essas análises e considerações são importantes para compreender a razão dos eventuais desvios ocorridos entre o formato das curvas de medições de irradiância e os valores instantâneos de potência gerada.

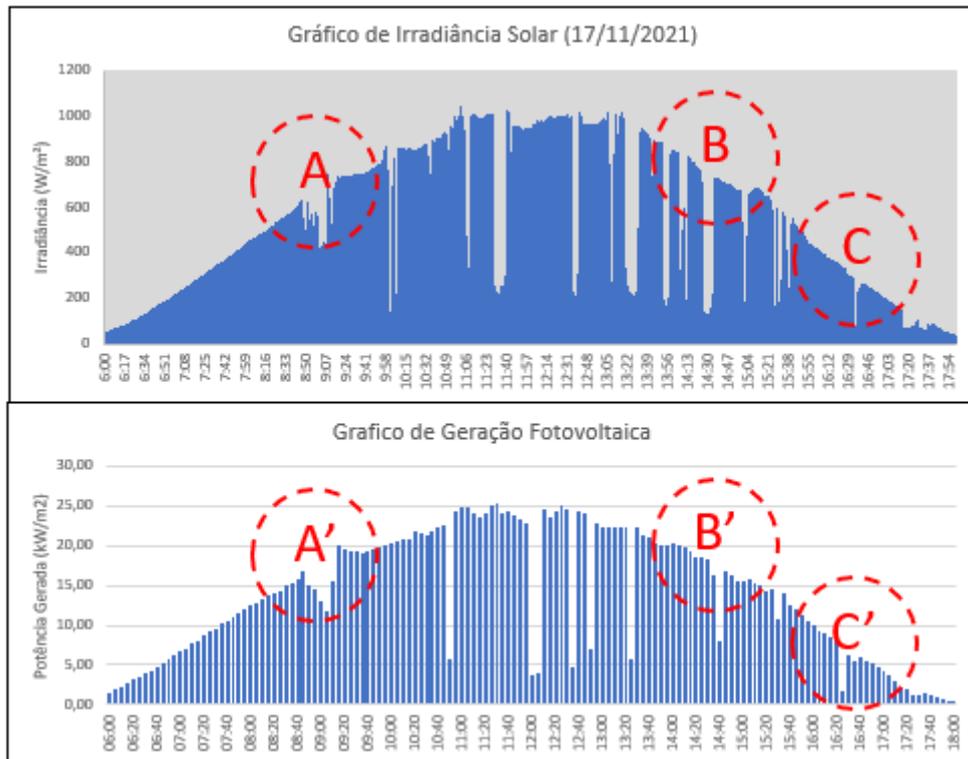


Figura 5 – Gráficos de irradiância e de geração fotovoltaica para o dia 17/11/2021.

Analisando se a Fig. 5, em ambos os gráficos é possível constatar a reduzida ocorrência de sombreamento tanto no dispositivo de medição da irradiância solar como no sistema gerador fotovoltaico. Isso ocorreu devido ao dia ter sido de céu claro e praticamente sem nuvens. A semelhança apresentada quando ocorre a redução da irradiância e geração entre algumas partes das curvas apresentadas pode ser notada nos horários como as 9:00h (representado pela letra A no gráfico de irradiância e A' no gráfico de potência de geração fotovoltaica), horário das 14:40h (letras B e B' respectivamente) e horário das 16:40h (representada pelas letras C e C' respectivamente). Tais características mostram que os gráficos obtidos possuem formatos semelhantes e as variações percebidas nos demais pontos que fazem com que as curvas não sejam coincidentes, podem ser explicadas pela diferença das aquisições de dados e das dimensões dos módulos fotovoltaicos utilizados como gerador e como sensor.

A Fig. 6 apresenta os gráficos comparativos para as medições do dia 27/11/2021. Da mesma forma que observado para os resultados apresentados anteriormente, comparando-se os gráficos de irradiância e de geração fotovoltaica para o dia 27 pode-se visualizar que esses gráficos possuem semelhança na forma o que pode ser visto pelos sombreamentos ocorridos às 7:20h, 13:00h, 16:30h. Além disso, no intervalo entre as 8:00h até as 9:20h, pode-se verificar que não houve ocorrências de céu com nuvens e, portanto, ambos os gráficos mostram isso.

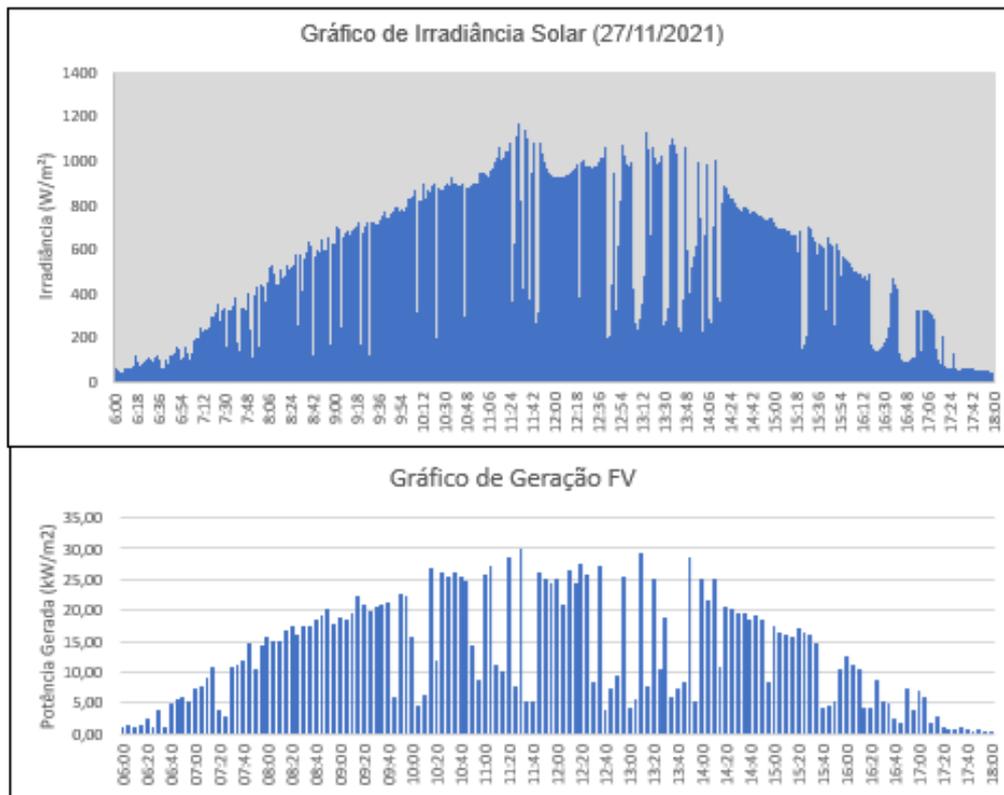


Figura 6 – Gráficos de irradiância e de geração fotovoltaica para o dia 27/11/2021.

4. CONCLUSÃO

O estudo realizado teve como objetivo, o desenvolvimento de um dispositivo para medição de irradiância e irradiação solar de baixo custo para utilização em curso de Instalações de Sistemas Fotovoltaicos oferecido no Instituto Federal de São Paulo, campus Guarulhos. Após as operações de ajustes e calibração do dispositivo desenvolvido, os dados solarimétricos referentes a dois dias foram coletados e comparados com os dados de geração fotovoltaica do sistema de geração instalado na unidade de ensino citada anteriormente.

Analisando-se aspectos de funcionalidade do dispositivo desenvolvido, o mesmo apresentou desempenho satisfatório, possibilitando fazer a aquisição dos dados de irradiância e a elaboração dos respectivos gráficos. Ao se realizar a comparação do gráfico de irradiação solar com o de geração fotovoltaica para um mesmo período de medição, constatou-se que essas curvas não são idênticas no que se refere ao formato. As diferenças constatadas no formato das curvas podem ser justificadas por dois fatores, sendo o primeiro deles, a periodicidade de aquisição de dados, que era de minuto a minuto para a aquisição de dados de irradiância e de cinco em cinco minutos para dados de geração fotovoltaica. O segundo fator que deve ter contribuído para a diferença de formato dos gráficos pode ter sido a área ocupada pelos módulos fotovoltaicos do sistema de geração fotovoltaica e a área do sensor – que dependendo do posicionamento das nuvens pode ocorrer a probabilidade de sombreamento em uma parte dos módulos do sistema de geração e a não ocorrência de sombreamento no módulo utilizado como sensor e vice-versa.

Conforme comentado em Introdução, o dispositivo desenvolvido para medição da irradiância e irradiação solar irá futuramente, após conclusão do projeto, auxiliar no monitoramento da geração fotovoltaica, dando subsídios do recurso solar disponível em um sistema de geração de energia fotovoltaica. Por ser um dispositivo de baixo custo de fabricação (estima-se que o custo de materiais seja inferior a USD 30,00), após o seu completo desenvolvimento, o protótipo poderá se tornar um equipamento comercial para monitorar a energia produzida por um gerador fotovoltaico em função da disponibilidade de irradiância solar. Sendo assim, através de análise das curvas de irradiância solar e de geração, possíveis defeitos e necessidades de limpeza dos módulos fotovoltaicos poderão ser detectados de forma rápida, minimizando se assim, as perdas de eficiência na geração fotovoltaica.

Para fins de continuidade e finalização do desenvolvimento do dispositivo, algumas providências precisam ser tomadas. A primeira delas é a calibração do dispositivo de medição com auxílio de um padrão mais preciso. Para tanto, pretende-se utilizar um piranômetro em lugar do solarímetro que foi utilizado no presente estudo. Uma outra necessidade constatada é com relação a comunicação do equipamento: os dados coletados e medidos poderão ser transmitidos por meio de tecnologias tal qual a IoT (*Internet of Things*), pois assim, não haveria a necessidade de armazenar os dados coletados em cartão de memória e os gráficos e análises comparativas poderiam ser realizadas de forma automatizada e de forma remota.

Quanto as análises dos dados coletados referente a geração fotovoltaica e dados de irradiância solar, estes poderiam ser analisados segundo tecnologias como Inteligência Artificial. Devido os gráficos não terem formatos idênticos por

razões já comentadas no presente estudo, essas tecnologias poderiam auxiliar na análise dos gráficos de geração e de recurso solar, possibilitando-se assim, comunicar a ocorrência de possíveis anomalias no sistema fotovoltaico..

Agradecimentos

Agradecimento ao PIBFISP (Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e Tecnológica do IFSP) pelo incentivo e auxílio financeiro para a execução desse projeto.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 10899. Energia Solar Fotovoltaica – Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.
- Domingos, S. F., Monteiro, L. G., Boaventura, W. C. Estado da Arte para Previsão da Radiação Solar. VIII CBENS. Fortaleza. 2020.
- Lei, G. H. M.; Shibuya, M. K. Medidor de Irradiância e Irradiação Solar. 12º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP – Campus Cubatão. 2021.
- Pinho, J. T. Galdino, M. A.; Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. CEPTEL-CRESESB; Rio de Janeiro, 2014.
- Rosso, A. P., Ludke, M. C., Crotti, P., Rampinelli, G. A., Marcelino, R. Desenvolvimento de protótipos de módulos de referência para medição de radiação solar. VII CBENS. Gramado. 2020.
- Santos, B. P., Silva, L. A. M., Celes, C. S. F. S., Borges Neto, J. B., Peres B. S., Vieira, M. A. M., Vieira, L. F. M., Goussevskaia, O. N. e Loureiro, A. A. F. Internet das Coisas – da Teoria à Prática. XXXIV SBRC; Salvador/Bahia; 2016.
- Souza de Paula, J. F.; Ribeiro, G. B.; Silva, S. T. A.; Figueirêdo, V. B. Confecção e Análise de um Piranômetro Fotovoltaico de Baixo Custo. VIII CBENS. Fortaleza. 2020.
- Villalva, M. G. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações; Segunda Edição. São Paulo. Editora Érica. 2015.

DEVELOPMENT OF LOW COST IRRADIANCE AND SOLAR IRRADIANCE METER FOR EDUCATIONAL PURPOSES

Abstract. *This article describes the development process and the results obtained from a low cost solar irradiance and irradiation meter, using a small photovoltaic module as a sensor and an Arduino UNO to manage the measurements carried out. The developed meter will be used for educational purposes in courses related to photovoltaic solar energy at the Federal Institute of São Paulo – Guarulhos unit. In the Results section, a methodology to compare the graphs of solar irradiance data with generation data from a photovoltaic generator is presented, showing that the functioning of the developed device presented satisfactory results and within the project expectations. At the end of the article, the future stages of project execution are presented, showing that the developed meter will be integrated with an energy meter to enable monitoring of photovoltaic systems and alerting about the need for maintenance in the generation system.*

Key words: *Irradiance, Irradiation, Solar Resource.*