

# ANÁLISE COMPARATIVA DA PRODUÇÃO DE ENERGIA DE UM SEGUIDOR SOLAR DE DOIS EIXOS PARA A REGIÃO DE FARROUPILHA-RS

**Fabiano Frosi** – fabiano.frosi@hotmail.com

**Douglas Chesini** – doch.gmo@hotmail.com

**Ivan Jorge Gabe** – ivan.gabe@farroupilha.ifrs.edu.br

**Júlio César De Bona** – julio\_debona@hotmail.com

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Farroupilha, Grupo de Pesquisa Aplicada em Energias Renováveis

**Resumo.** Este artigo aborda um comparativo entre a produção de energia fotovoltaica por módulos fixos e com rastreamento. Uma das formas de obtenção de energia solar é utilizando um sistema de rastreamento solar onde o sistema garante que o módulo esteja sempre perpendicular aos raios solares, aumentando o nível de radiação direta incidente sobre o módulo. Estudos indicam que rastreadores solares podem incrementar entre 11% a 50% o nível de energia gerada pelo módulo, dependendo da região a ser instalado. Este trabalho detalha um comparativo de produção de energia de dois módulos de 250 Wp idênticos em um sistema fixo e um seguidor solar de dois eixos instalados na cidade de Farroupilha, Rio grande do Sul, Brasil, situada a uma latitude de  $-29,2^{\circ}$  S. Observando o comportamento da geração levando em conta os dias com irradiância alta (condições climáticas favoráveis), houve ganho da geração do seguidor da ordem de 36%. A média geral, considerando todas as condições climáticas do período analisado, obteve-se ganhos da ordem de 25%.

**Palavras-chave:** Energia solar, Sistemas fotovoltaicos, Seguidor solar.

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente industrialização e o crescimento da população mundial nos últimos anos vem fazendo com que a demanda de energia elétrica venha aumentando expressivamente. Este aumento significativo no consumo de energia traz a necessidade de novas fontes de energia para suprir a demanda mundial. Somente no Brasil, entre 2006 a 2015 houve um aumento de 34% no consumo de energia elétrica e de 38,7% na produção de energia elétrica segundo EPE (2016). Este consumo cada vez mais crescente de energia elétrica em escala mundial e a necessidade de produzir alternativas para as fontes oriundas de combustíveis fósseis e nuclear torna muito importante a busca de energias renováveis e alternativas para suprir a demanda de energia.

Estudos apontam que até 2040, segundo WEO (2016), 37% da capacidade energética mundial será provida de energias renováveis, um aumento de 14% frente aos 23% utilizados atualmente. Dentre as fontes de energia renovável que vem em crescente expansão destaca-se a energia solar fotovoltaica, com um crescimento de aproximadamente 49% em 2016, com uma potência instalada de 76,1 GW, frente a 51,2 GW de potência instalada em 2015, como informa SolarPower Europe (2017). O país que apresentou o maior crescimento de energia solar em 2016 foi a China que oficialmente adicionou 34,2 GW de energia fotovoltaica à sua matriz energética, um aumento de 125% comparado à 2015. Este crescimento foi seguido de perto por Estados Unidos, com crescimento de 92%, adicionando 14 GW, frente à 7,3 GW do ano anterior.

Segundo dados da EPE (2015), no Brasil existe um grande potencial de radiação solar disponível variando de 4,8 a 6,0 kWh/m<sup>2</sup> para o plano inclinado, potencial superior, por exemplo, a Alemanha, um dos líderes mundiais em produção de energia fotovoltaica, que possui radiação disponível entre 2,46 kWh/m<sup>2</sup> a 4,52 kWh/m<sup>2</sup>. Como ocorreu em outros países, na Alemanha foram necessários incentivos governamentais de forma a impulsionar o mercado de micro e mini geração fotovoltaica, com isenção de impostos e descontos tarifários aplicados à conta de distribuição de energia elétrica, além de outros incentivos à produção de energia que fizeram com que o país tornasse uma potência no setor. No Brasil, o principal incentivo ocorreu com a entrada em vigor da resolução normativa 482/2012 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) que estabelece as condições gerais para o acesso da micro e mini geração distribuída, permitindo ao consumidor gerar a própria energia elétrica e fornecer a geração excedente à rede de distribuição.

Entre os anos de 2014 e 2015, de acordo com a EPE (2016), o Brasil teve um crescimento de 28,5% da potência de energia solar instalada, com um grande perspectiva de crescimento para os próximos anos. Estima-se que até 2024 o Brasil contará com uma potência instalada de 7 GW, sem contar outras formas de geração distribuída, segundo MME (2015).

Pelo grande uso de sistemas fotovoltaicos com rastreamento da posição solar, Oliveira (2008) mostra que justifica-se um estudo para verificar o acréscimo de produção energética de um sistema com seguidor em relação a um fixo. De acordo com esta possibilidade, este trabalho traz uma proposta de análise e comparação da produção de energia entre um sistema fixo e um sistema com seguidor solar de dois eixos, ambos instalados na cidade de Farroupilha, RS, que fica a uma latitude

de  $-29,2^\circ$  S, verificando o incremento real de produção fornecida pelo sistema com seguidor, além de uma análise financeira do sistema podendo ser avaliada a viabilidade de instalação.

Trabalhos que seguem esta linha foram realizados em diversas regiões do mundo, cada um com resultados particulares e específicos para suas características de latitude, região e sistema comparado. Neste contexto, Silva (2012) realizou um estudo comparativo entre um sistema fixo e um sistema munido de seguimento solar de dois eixos na cidade de Braga, Portugal, que fica a uma latitude de  $41^\circ$  norte, analisando a energia produzida nos meses de agosto, setembro e outubro. Concluiu-se que na média destes três meses o sistema móvel conseguiu produzir cerca de 50% a mais de energia em relação ao sistema fixo. Nestes meses especificamente, o incremento chegou a 57% a mais de energia para o sistema móvel frete ao fixo. Um valor semelhante é demonstrado por Allamehzadeh (2016), apresentando que um sistema que mantém os módulos a uma posição perpendicular à radiação solar durante o dia, pode acrescentar mais de 50% à quantidade de energia coletada frente a um sistema que se mantém fixo.

Uma outra análise de produção de energia entre um sistema fixo e um seguidor com dois eixos de movimentação é feita por Trevelin (2014). Neste estudo o autor compara a produção de energia para sistemas de seguidor de dois eixos em períodos de 10 horas, onde ocorre o seguimento tanto para a posição azimutal como para a posição de zênite, instalados na cidade de São Carlos, no estado de São Paulo, Brasil, que se encontra a uma latitude de  $-22^\circ$  S. Segundo Trevelin (2014), a potência do rastreador de dois eixos é 39% maior que a do sistema fixo. O autor conclui que na análise comparativa observa-se que a aplicação de rastreadores solares em sistemas de geração fotovoltaica é sempre vantajosa de um ponto de vista energético, porém é necessário uma análise financeira a fim de analisar agentes como o custo de instalação e manutenção, onde o consumo adicional do rastreador pode ser minimizado de forma a se anular dentro do rendimento proporcionado pelo rastreador.

Por fim, Vieira (2014) traz um estudo de um seguidor de um eixo (azimutal) para a cidade de Mossoró, no estado do Rio Grande do Norte, Brasil, situada a uma latitude de  $-5^\circ$  S. Como a cidade está posicionada próximo à linha do Equador, a irradiação solar incidente não sofre grandes alterações e a posição de elevação do sol permanece praticamente constante durante o ano, justificando o emprego de um seguidor solar de apenas um eixo. O ganho médio na geração de energia do módulo móvel foi de 11% em relação ao módulo estático, sem considerar a energia consumida pelo próprio sistema de rastreamento. O baixo aumento na eficiência do módulo móvel se deve à proximidade da região à linha do equador, pois não há grandes variações na posição do sol ao longo do ano. Cidades com uma latitude maior, como no caso dos estudos de Travelin e Silva apresentam desempenho maior do seguidor solar, uma vez que a variação na posição solar ocorre em maior escala.

Em uma análise para a cidade de Santa Maria, a uma latitude de  $29,7^\circ$ , muito próxima da cidade de Farroupilha, o software dedicado SAM (System Advisor Module) indica que o incremento de energia produzida pelo sistema com seguidor de dois eixos pode chegar a 30% em comparação a um sistema fixo ao longo do ano. Mousazadehet. al (2009) define que em locais com grande índice de dias nublados o ganho anual de um sistema seguidor deve ficar em torno de 20% em comparação ao sistema fixo. Já em locais com tempo bom, o ganho anual tipicamente pode variar entre 30% e 40%.

Este artigo avalia o rendimento de dois sistemas fotovoltaicos, sendo um fixo e um rastreador solar, comparando os valores de irradiação recebida entre os sistemas, além de valores de potência gerada, que variam com fatores como a temperatura dos módulos, a eficiência do sistema e/ou a eficiência e integridade dos módulos.

## 2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Para o estudo, dados necessários para a análise de produção de energia, bem como dados que permitem a comparação dos dados adquiridos com dados teóricos de produção serão coletados a partir de um sistema de aquisição de dados. Dados como corrente, tensão, temperatura e irradiação de ambos os sistemas serão coletados e serão devidamente analisados a fim de se obter a comparação de produção de energia e demais estudos abordados.

Tanto o sistema fixo quanto o seguidor solar contam com módulos Kyocera, modelo KD250GH-4FB2, de 250 W de potência. Para condições de irradiação de  $1000 \text{ W/m}^2$  e temperatura de  $25^\circ\text{C}$ , este módulo conta com  $V_{OC}$  de 36,9 V,  $I_{SC}$  de 9,09 A,  $V_{pm}$  de 29,8 V e  $I_{pm}$  de 8,39 A. Ambos os módulos estão conectados a um inversor de frequência cada de 600 W de potência.

Além dos módulos e inversores, responsáveis pela geração de energia, cada sistema também conta com um módulo calibrado de 10 W,  $V_{OC}$  de 21,6 V e  $I_{SC}$  de 0,6 A, que atua como módulo e referência, permitindo a obtenção de informações de irradiação sobre cada módulo.

### 2.1 Sistema fixo

O sistema fixo está construído campus Farroupilha do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) e conta com um módulo disposto em um ângulo de  $29^\circ$ , referentes à latitude local, instalados próximos ao chão. Apesar da estrutura contar com dois módulos, optou-se por analisar a produção de energia de apenas um módulo, ligando apenas um módulo ao inversor até a conclusão do estudo. Esta alternativa foi escolhida devido ao fato de o inversor adotado possuir limitação de corrente e tensão abaixo de valores que permitiriam conectar os módulo em série ou paralelo. Este fator também permite uma melhor análise de comparação entre os sistemas, uma vez que ambos passam a contar com o mesmo número de módulos instalados.

A Fig. 1 mostra o sistema fixo instalado, bem como o módulo de referência instalado na parte superior do sistema.



Figura 1 - Estrutura do módulo fixo.

## 2.2 Rastreador Solar

O sistema do seguidor solar, também instalado junto ao campus Farroupilha do IFRS, é constituído de apenas um módulo, porém a lógica de funcionamento e as características de construção permitem que sejam conectados mais de um módulo para cada seguidor. A movimentação do módulo é realizada por duas barras roscadas zincadas de 14 mm que, acopladas a motores CC, em cada seguidor, movimentam o módulo para a direção necessária. A Fig. 2 apresenta uma imagem do seguidor instalado no campus, juntamente com o módulo de referência.



Figura 2 - Seguidor Solar instalado no campus do IFRS.

A movimentação do módulo é feita por motores 12V de corrente contínua, acionados por um controlador da família Arduino através de um módulo ponte-H L298. Os motores escolhidos possuem torque de 8,5 Kgf.cm, velocidade de 13RPM, 3,7W de potência e são alimentados através da ponte H, a qual permite a inversão do sentido de giro, dependendo da direção necessária para movimentação do módulo. O esquema elétrico simplificado do sistema com seguidor é detalhado na Fig. 3, mostrando as conexões entre os componentes elétricos utilizados no sistema.

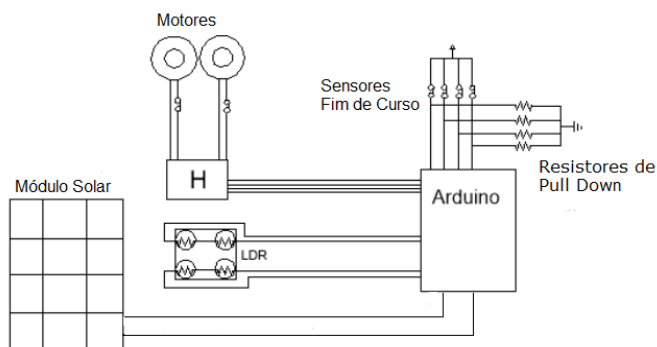


Figura 3 - Esquema elétrico simplificado do sistema.

Sensores fim de curso conectados às entradas digitais do controlador limitam a excursão do módulo. Quando o sistema chega a determinados pontos, como o ponto de inclinação máxima ou mínima, o Arduino determina que o motor desligue, de modo que a estrutura pare de se movimentar. Na hipótese de alguma falha ocorrer no mecanismo de fim de curso existe um sistema de redundância instalado por segurança, que atua interrompendo a alimentação dos motores, garantindo a parada destes.

O sistema de sensoriamento da posição solar é constituído por um artefato constituído por quatro fotoresistores LDR (*Light Dependent Resistors*) de 5mm separados por um anteparo opaco responsável por gerar a sombra decorrente do movimento do sol, como citado por Salgado-Conrado (2018). Os LDRs detectam a variação de luminosidade a medida que algum sensor for sombreado devido à movimentação natural do sol. O microcontrolador, então, identifica essa diferença e aciona comandos de atuação para corrigir a posição do módulo de modo que os quatro LDRs recebam a mesma incidência de luz. Salgado-Conrado (2018) ainda mostra que este dispositivo pode gerar um acréscimo de eficiência ao sistema de 30% até 40% ligado a um módulo fotovoltaico, de acordo com estudo realizado. A Fig. 4 expõe a configuração usada nesse trabalho, a qual é fixada no centro superior do módulo fotovoltaico.

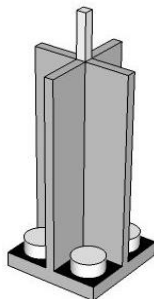


Figura 4 - Sensores LDRs separados por anteparo.

Fonte: <http://www.instructables.com/id/Arduino-Solar-Tracker/>

### 3. SISTEMA DE COLETA E INTERPRETAÇÃO DE DADOS

O sistema completo, composto pelo módulo fixo e o módulo com seguidor, está conectado à rede elétrica, possibilitando a análise de produção de ambos. Para a conexão dos sistemas junto à rede elétrica foram utilizados dois inversores de frequência de 600 W cada, conectados em paralelo à rede elétrica, que fazem a transformação da corrente contínua gerada pelos módulos para corrente alternada e interliga com a rede do IFRS. Cada inversor tem corrente DC máxima de entrada de 30 A e possui seguidor do ponto de máxima potência (MPPT). A eficiência nominal de cada inversor é de 88%, porém a eficiência real do inversor no sistema pode não ser igual à nominal, uma vez que operam com um módulo de potência menor que a metade da potência do inversor. A Fig. 5 apresenta um desenho com o esquema simplificado do sistema como um todo.

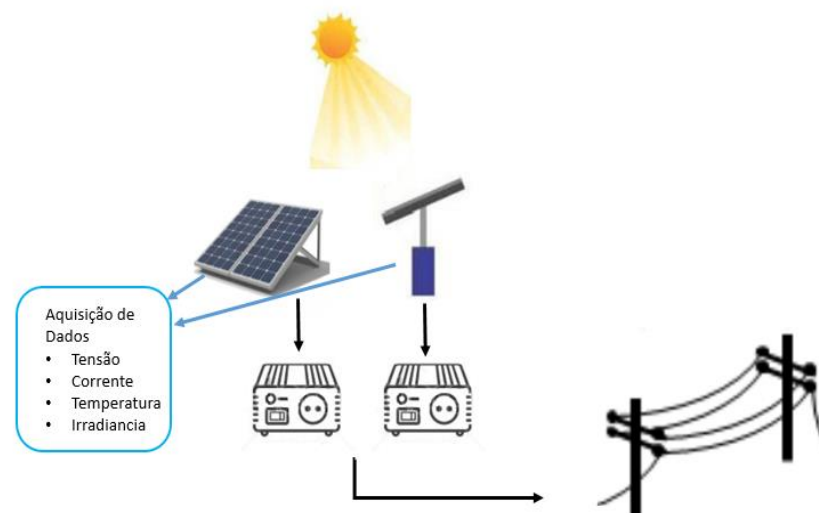


Figura 5 - Esquema Simplificado do sistema.

Para a análise da geração de energia entre os sistemas foi necessário a coleta de dados que possibilitem esta análise, além de permitir uma comparação entre os dados coletados e valor teórico esperado, calculado através de equacionamento matemático. Neste contexto, estão previstas medições de irradiância (coletadas a partir de células de referência instaladas em cada sistema), tensão e corrente de saída dos sistemas fixos e móvel. Além destes dados, também serão coletadas as informações de temperatura em ambos os sistemas e nas células de referência, a fim de analisar a correta medição da energia produzida e verificar a influência da temperatura no resultado final apresentado pelos módulos.

A coleta de dados é realizada através de um sistema que utiliza um microcontrolador Arduino que faz a medição e leitura dos sensores e sistemas desenvolvidos para a coleta dos dados. Para a medição da tensão do sistema fixo e móvel, bem como dos módulos de referência, utilizou-se um divisor de tensão resistivo que envia o sinal devidamente condicionado para que a máxima tensão não ultrapasse o limite de tensão da entrada do Arduino, que é de 5 V. O sinal, então, é medido através de uma porta analógica do Arduino que possui resolução de 10 bits.

A medição da corrente dos dois sistemas é obtida por meio de um sensor de corrente ACS-712, com limite de 20 A e resolução de 66 mV/A na saída do sensor. Como a corrente máxima a ser medida não ultrapassa a corrente de curto circuito do módulo, que é de 9,09 A, o sinal precisa ser condicionado a fim de obter a melhor resolução possível para a entrada na porta analógica do Arduino, melhorando a exatidão do sinal mensurado. Para o condicionamento do sinal implementou-se o circuito contido na Fig. 6.

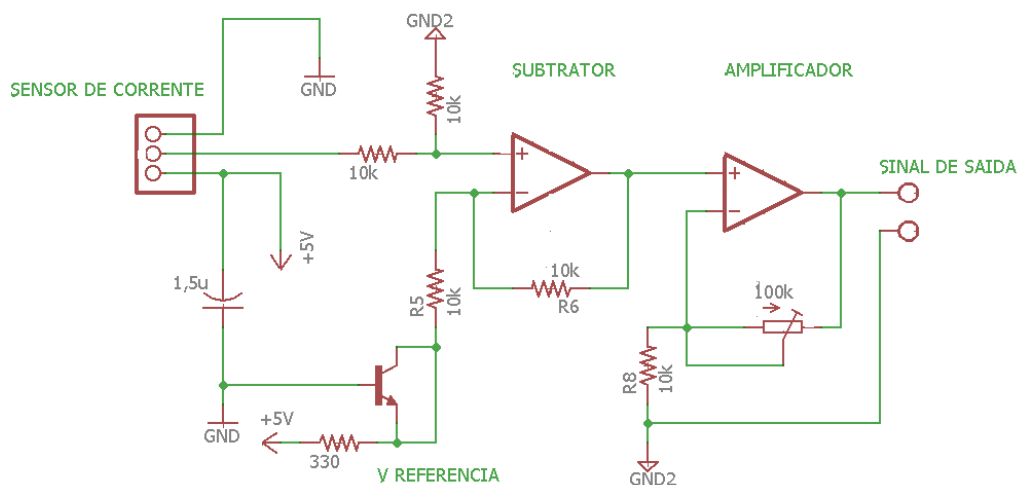


Figura 6 - Condicionamento de sinal do sensor de corrente.

O sinal obtido pelo ACS-712 apresenta uma tensão de 2,5 V quando a corrente medida é de 0 A. Para aumentar a resolução e fazer com que a máxima tensão a ser medida coincida com a máxima tensão de entrada do conversor A/D, um amplificador operacional em sua configuração subtratora é responsável por garantir uma saída de 0 V quando a corrente for

de 0 A. Após este processo, um amplificador não inversor faz a amplificação do sinal garantindo que, quando o painel apresentar corrente de aproximadamente 10 A ( $I_{CC} + 10\%$ ) o sinal na entrada do conversor A/D seja de 5 V. Utiliza-se um fator de segurança de 10% acima da corrente  $I_{CC}$  uma vez que esta corrente é definida para uma irradiância padrão de 1000  $W/m^2$  e pode ocorrer dias em que a irradiância esteja acima deste valor, garantindo uma medição mais precisa da corrente gerada.

A temperatura dos módulos e células de referências é obtida através de um sensor digital de temperatura DS18B20 que possui uma resolução de até 12 bits a incrementos de temperatura de 0,0625 °C, com precisão de 0,5 °C e range de -55 °C a 125 °C. Diferentes configurações de circuito e outros componentes podem ser utilizados no decorrer do trabalho, entretanto, os dados a serem obtidos continuarão sendo os mesmos.

O Arduino responsável pela aquisição dos dados se comunica, através de um módulo Wi-fi ESP8266, com um banco de dados on-line alocado em um servidor junto ao campus do IFRS, onde os dados são armazenados. Estes dados contidos no banco de dados permitem acesso remoto pela internet, possibilitando a análise dos dados em tempo real, além de manter um histórico atualizado dos dados permitindo análises futuras. Uma imagem com a descrição completa do sistema de controle e aquisição de dados pode ser vista na Fig. 7.



Figura 7 - Circuito de controle e de aquisição de dados.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos dados coletados, uma análise de desempenho de cada sistema, além de uma análise comparativa entre ambos é apresentada. Os dados de tensão, corrente, irradiância e temperatura foram coletados a partir do dia 19 de setembro de 2017. Em um primeiro momento, houveram problemas de obtenção das informações de temperatura, que foram totalmente resolvidos na primeira semana de outubro com a substituição dos sensores que estavam avariados. Apesar da discrepância nos valores da temperatura na primeira semana de funcionamento, os demais dados foram coletados normalmente, permitindo análises de irradiância, energia e potência dos sistemas.

Outro problema encontrado foi um sombreamento em um pequeno intervalo de tempo pela manhã nos módulos instalados devido a uma torre instalada nas proximidades. Observou-se, porém, que a interferência de sombreamento sobre os módulos não afeta significativamente a análise dos dados. Também percebeu-se que à medida que o sol aumenta o seu ângulo de elevação com a proximidade do verão, menor é a interferência do sombreamento.

Para a validação dos dados obtidos, verificou-se a correta obtenção dos valores de medição. Os valores de corrente medidos se encontram abaixo da corrente de curto circuito dos módulos e muito próximas da corrente de máxima potência dos módulos, que, segundo o fabricante, é de 8,39 A, para uma irradiância de 1000  $W/m^2$  a uma temperatura de 25 °C. Tomando por base o dia 4 de outubro observa-se que, para valores de irradiância levemente acima de 1000  $W/m^2$  e temperatura próxima de 35 °C, a corrente do módulo fixo oscilou entre 7 A e 8 A, valor dentro do previsto devido ao aumento da temperatura e informado pelo fabricante. Já para a tensão medida nos módulos, os valores ficaram entre 27 V e 28 V, abaixo da tensão  $V_{oc}$  de 36 V e próximas da tensão de máxima potência, de 29,8 V, para as mesmas condições de temperatura, irradiância e corrente.

Examinando a irradiação absorvida, observou-se que o seguidor solar apresenta comportamento distinto em dias com diferentes condições climáticas, sendo que o melhor aproveitamento do sistema ocorre em dias com máxima radiação e sem incidência de nuvens. A Fig. 8 mostra o comportamento da absorção para o seguidor solar e o sistema fixo para o dia 3 de outubro.

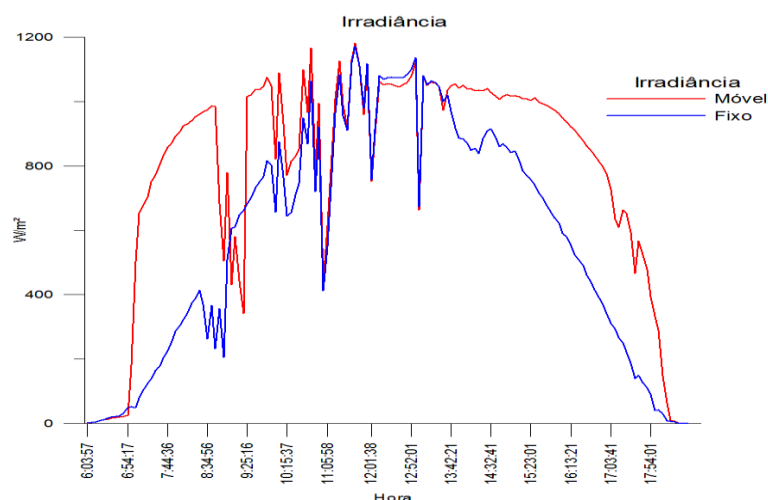


Figura 8 - Gráfico de irradiação absorvida pelos sistemas fixo e móvel no dia 3 de outubro.

Neste gráfico, é possível observar o correto funcionamento do seguidor pela absorção de radiação através da irradiação medida, onde percebe-se que o seguidor possui maior abrangência horária na absorção da irradiação durante o dia. É possível notar algumas nuvens por volta das 12 horas, porém não afetando consideravelmente o desempenho. Também é possível perceber a influência do sombreamento causado pela torre próxima aos sistemas por um período em torno de 30 minutos, próximo das 9 horas.

A maior diferença de irradiação incidente sobre os dois sistemas ocorre no início e ao final do dia, quando o seguidor consegue compensar a perda de absorção que ocorre no módulo fixo devido a mudança na angulação do sistema. Na metade do dia, quando o seguidor e o módulo fixo têm aproximadamente a mesma angulação, os valores de irradiação se aproximam. Também neste período ocorreu a maior incidência de irradiação sobre os módulos chegando a 1181 W/m<sup>2</sup> para o módulo móvel e 1171 W/m<sup>2</sup> para o módulo fixo as 11:41 da manhã.

Considerando que o período entre setembro e outubro foi de bastante instabilidade meteorológica, com períodos de muitas nuvens e chuva, intercalando com alguns dias de sol, foi possível analisar o desempenho dos sistemas instalados em diferentes condições climáticas. O dia 26 de setembro se apresentou como um dia de céu praticamente limpo. O valor da potência entregue pelos sistemas apresenta um comportamento regular, descontando as pequenas oscilações causadas pelo problemas de sombreamento, como pode ser visualizado na Fig. 9.

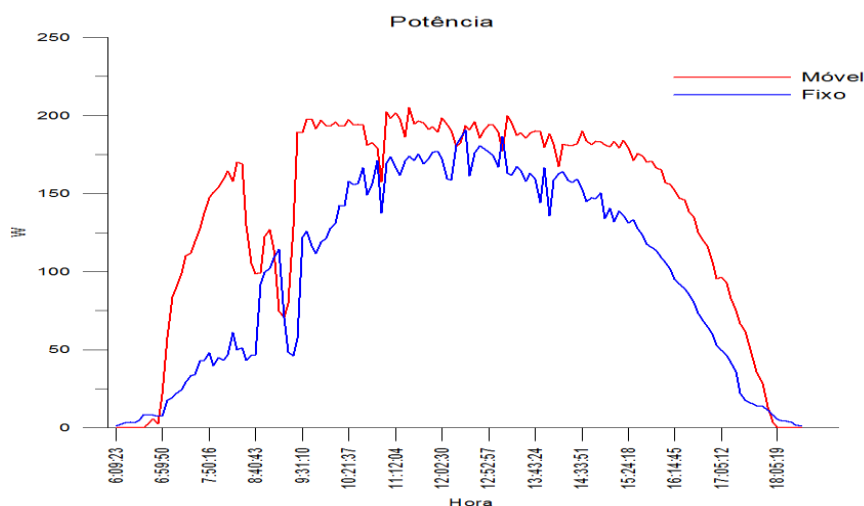


Figura 9 - Gráfico de irradiação recebida pelos sistemas fixo (azul) e móvel (vermelho) no dia 26 de setembro.

O valor da potência entregue pelo sistema alcança o máximo na metade do dia quando a incidente chegou perto dos 1000 W/m<sup>2</sup>. Com a Fig. 8 e a Fig. 9 é visível que o sistema com rastreador possui maior diferença na potência em relação ao fixo nas primeiras e nas últimas horas do dia. Na metade do dia os valores ficam próximos entre os sistemas.

Analisando a energia gerada pelos sistemas e descontando o período em que há interferência do sombreamento da torre pela manhã, para que não haja discrepância nos dados, o sistema com seguidor solar apresentou um ganho de 36% em relação ao sistema fixo. Neste dia, o módulo fixo gerou 1154 Wh de energia frente a 1567,5 Wh de energia do sistema móvel. A potência média dos módulos durante o dia foi de 151,7 W para o seguidor e de 110 W para o módulo fixo.

Em dias com longos períodos de nebulosidade, sem radiação direta incidindo sobre os módulos, intercalados com períodos de sol o seguidor encontra dificuldades de corrigir sua posição. O maior prejuízo ocasionado pela nebulosidade ocorre sobre o módulo com seguidor solar, que teve geração de energia significativamente menor. Este fator pode ser justificado pelo atraso do seguidor ao corrigir a posição em relação ao sol, devido a presença de nuvens.

Em um dia com alternância entre sol e nuvens, como o dia 7 de outubro, ocorre uma diminuição considerada, não só na potência entregue pelos sistemas, como também na diferença de produção entre ambos. Conforme a Fig. 10, durante o dia ocorrem picos de produção de potência na faixa de 200 W, principalmente na primeira metade do dia. Porém, devido à presença de nuvens, com aumento da nebulosidade a tarde, a irradiação incidente sobre os módulos oscila, fazendo com que os módulos tenham uma produção instável.

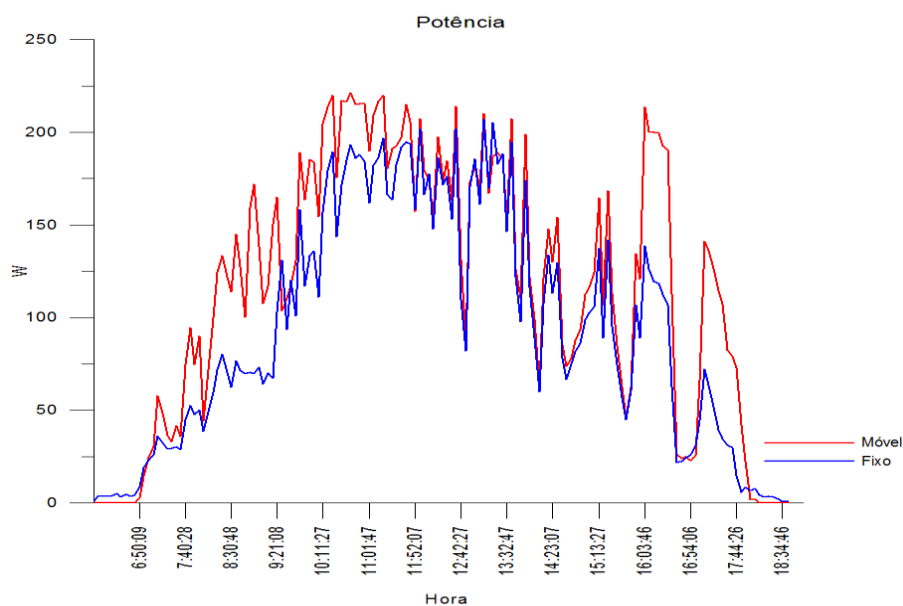


Figura 10 – Potência produzida no dia nebuloso de 7 de outubro pelos sistemas fixo (azul) e móvel (vermelho).

Para este dia, o módulo munido de sistema de rastreamento obteve potência média de 130,4 W e produziu 1468 Wh de energia, enquanto o módulo fixo produziu 1182 Wh com potência média de 104,6 W. O acréscimo de energia proveniente do sistema móvel em relação ao fixo alcançou 24,18 %.

Durante o período analisado, compreendido entre os dias 19 de setembro a 09 de outubro de 2017, a potência média diária do módulo móvel foi de 101 W, produzindo um total de 23,7 kWh. Já o módulo fixo apresentou potência média diária de 80,7 W com uma produção de energia de 18,9 kWh. A Fig. 11 apresenta a comparação de produção durante os dias analisados.

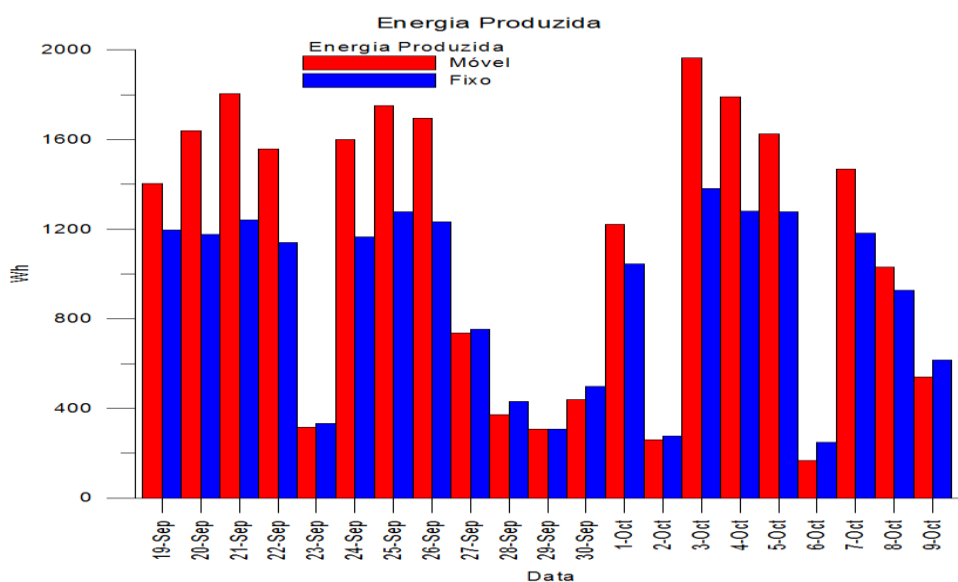


Figura 11 – Comparação da produção entre o sistema fixo e o sistema móvel.



Levando em consideração o período total analisado, o módulo com rastreador solar obteve um ganho de 25,4 % em relação ao sistema fixo. Vale ressaltar que o período analisado foi composto por muito dias de tempo instável e que, para um dia de tempo bom, o ganho do seguidor pode chegar a 36% frente ao fixo.

## 5. CONCLUSÕES

Uma das formas de aumento do rendimento dos módulos fotovoltaicos acontece pela utilização de seguidores solares que rastreiam a posição do sol e posicionam os módulos de modo que fiquem perpendiculares aos raios solares. Apesar do conhecido aumento de energia imposto por seguidores solares, estes valores podem variar de região a região dependendo de vários fatores como a latitude do local, temperatura, incidência solar, dias nublados, entre outros fatores. Por isso a análise de um seguidor solar para uma abrangência local se torna interessante do ponto de vista de rendimento, devido a variação climática presentes na região.

Analisando os dados obtidos, o seguidor solar apresenta boa vantagem em relação ao sistema fixo, quando analisada a energia produzida por ambos os sistemas. Em dias de céu limpo, com grande aproveitamento da irradiância incidente sobre os módulos, o ganho do sistema móvel em relação ao fixo chegou a 36%. Apesar do período analisado ter sido um período com condições climáticas bastante instáveis, ainda assim, o ganho médio do sistema móvel em relação ao sistema fixo foi de 25%.

## REFERÊNCIAS

- EPE (2016), Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2016, Ano Base 2015. Rio de Janeiro, 2016.
- EPE (2015), Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br). Acesso em: Abril de 2017.
- MME (2015), Ministério de Minas e Energia. Fonte Solar Será Responsável por 7 mil MW na Matriz Elétrica até 2024. Disponível em: [www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br). Acesso em: Março de 2017.
- Oliveira, M.M.(2008), Análise e Desempenho de um Gerador Fotovoltaico com Seguidor Azimutal, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.
- Silva, M. C. da C. (2012), Estudo Comparativo de um Painel Solar Fotovoltaico Fixo vs Móvel. Tese de Mestrado da Escola de Engenharia da Universidade do Minho. Braga, 2012.
- SolarPower Europe (2017), Global Solar Power Demands Grow Nearly 50% in 2016, Europe Drops by 20%. Bruxelas, 2017.
- Trevelin, F.C. – Estudo Comparativo Entre Métodos de Rastreamento Solar Aplicados a Sistemas Fotovoltaicos, Trabalho de Conclusão de Curso da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo- USP, São Carlos, 2014.
- Vieira, R.G. – Análise do Desempenho Entre um Painel Solar Estático e com rastreamento no Município de Mossoró-RN, Dissertação de Mestrado Acadêmico Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Comunicação e Automação. Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA. Mossoró, 2014.
- WEO (2016), World Energy Outlook 2016.The Energy Factor in 2040. Disponível em: [www.iea.org/WEO](http://www.iea.org/WEO). Acesso em Abril de 2017.
- Mousazadeh, H., Keyhani, A., Javadi, A., Mobli, H., Abrinia, K., & Sharifi, A., 2009. A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13, 1800-1818.
- Salgado-Conrado, L., 2017. A review on sun position sensors used in solar applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2128-2146.
- Allamehzadeh, H. (2016). Solar energy overview and maximizing power output of a solar array using sun trackers. In *Technologies for Sustainability (SusTech)*, 2016 IEEE Conference on (pp. 14-19). IEEE.

### COMPARATIVE ANALYSIS OF A DUAL AXIS SOLAR TRACKER ENERGY PRODUCTION PERFORMANCE IN THE CITY OF FARROUPILHA RS.

**Abstract:** *This paper deals with a comparative of energy production by identical PV modules mounted in different configurations: a double axes sun tracking and a fixed PV system. It is well known in Literature that double axes solar trackers are able to increase between 11 % and 50 % the energy produced by the PV module, depending on the system's geographical location (latitude). The work confronts two identical 250 Wp PV modules mounted on a fixed system and a double axes solar tracker installed in the city of Farroupilha, Rio Grande do Sul, Brazil, located at a latitude of 29.2° S. Considering the days with high irradiance incidence, the energy production increments up to 36 %. The average gain, considering all climate conditions during the period of analysis, is of 25 %. The sampling is performed during the months of October and November, 2017.*

**Keywords:** *Solar Energy, Photovoltaic Systems, Solar Trackers.*