

AUTOMAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA MAXIMIZAÇÃO DE POTÊNCIA DE PLACA SOLAR PARA FINS RESIDENCIAIS

Felipe Pinhelli (Graduando em Engenharia Eletrônica pela UTFPR-PG) E-mail: felipe.pinhelli@gmail.com

Guilherme Chitz Neto (Graduando em Engenharia Eletrônica pela UTFPR-PG) E-mail:

guilherme.chitz@gmail.com

Márcio Mendes Casaro (Professor Doutor da Coordenação de Engenharia Eletrônica na UTFPR-PG) E-mail:

casaro@utfpr.edu.br

Sergio Luiz Stevan Jr. (Professor Doutor da Coordenação de Engenharia Eletrônica na UTFPR-PG) E-mail:

sstevanjr@utfpr.edu.br

Resumo: Novas fontes energéticas vão ser necessárias para acompanhar o crescimento do país, então se procuram fontes de energia renováveis e sustentáveis. A energia elétrica obtida por painéis fotovoltaicos não acarreta nenhum problema de degradação socioambiental e é considerada uma fonte de energia limpa. O Brasil é privilegiado para o uso dessa fonte energética recebendo uma das maiores taxas de radiação solar do planeta, no entanto a eficiência dos painéis fotovoltaicos ainda é baixa e o custo do sistema é caro. Por esses aspectos apresenta-se um estudo sobre o aumento da eficiência e rendimento por meio de um circuito automático de posicionamento das placas. Este circuito mantém as placas perpendiculares aos raios solares, aumentando a taxa de conversão da energia solar em elétrica. Os resultados experimentais obtidos apontam que a automação de um painel através de um sistema móvel de orientação do mesmo aumenta em até 51,4% a eficiência do mesmo em relação às instalações fixas, sendo assim útil especialmente para instalações de pequeno porte.

Palavras-chave Sistema de posicionamento, Energia Solar, Painéis fotovoltaicos, Automação, Sistemas microcontrolados.

LOW COST AUTOMATION FOR MAXIMIZING POWER SOLAR PANEL FOR RESIDENTIAL PURPOSES

Abstract: New energetic sources will be necessary to keep up with the development of the country, then the need to look for renewable and sustainable sources. The electrical energy obtained by photovoltaic panels causes no environmental problems and is considered a clean energy source. Brazil is privileged to use this energy source, receiving one of the highest rates of solar radiation on the planet; however the efficiency of photovoltaic panels still low and the system implementation is still expensive. By these features this paper presents a study on improving the efficiency and performance using an automatic positioning system for solar panels. The system keeps the panels perpendicular to the sun, improving the conversion of solar energy into electrical energy. The results obtained on the experiments show that the automation can improve in 51, 4% the efficiency compared to fixed installations, and therefore can be especially useful for small installations.

Keywords: Positioning System, Solar Energy, Photovoltaic Panel, Automation, Microcontrolled System.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil se encontra em um avançado modelo de desenvolvimento econômico e social, o que requer o uso intensivo de recursos naturais e energéticos. Para isso precisa-se aumentar a disponibilidade de energia para garantir o progresso econômico. De acordo com Goldemberg (2005) essa energia deverá provir de diversas fontes energéticas, por razões de segurança de abastecimento, pois para Goldemberg é mais interessante depender de vários recursos energéticos primários, do que de apenas um ou dois. Além disso, procura-se sustentabilidade, primordialmente na geração de energia.

As principais fontes nacionais de energia elétrica são respectivamente: hidrelétrica, termoeletricas de biomassa e gás natural (MME, 2011). Essas fontes geram grandes impactos ambientais. Segundo Leite (2005), a implantação de hidrelétricas pode gerar alteração no clima local, erosão, alteração da fauna e paisagem, perda de biodiversidade e liberação de

metano pela vegetação que foi encoberta na inundação. Já as termoelétricas de queima de biomassa e gás natural segundo Inatomi (2007), geram impacto na emissão de gases tóxicos como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), ozônio troposférico (O_3), e clorofluorcarbonos (CFCs), esses provocam a absorção e reirradiação do calor, impedindo que o calor seja devolvido a espaço, também há poluição do ar, acidificação das águas e solos. Assim, a procura por sustentabilidade, que nesse caso seria gerar energia sem grandes impactos socioambientais, está ligada com as necessidades de altos investimentos em fontes de energia limpa, principalmente na construção de usinas geradoras, distribuição e redes de transmissão, onde se devem minimizar e compensar os impactos ambientais e etc (LINS, 2007).

Sobre esses aspectos tem-se tornado constante a procura por fontes de energia por métodos alternativos, limpos, sem geração de resíduos e com recursos inesgotáveis como, por exemplo, a energia eólica e a energia solar. Estima-se que o território brasileiro receba cerca de 2500 horas de radiação solar por ano (COMETTA, 1982) com uma média de $5\text{KW.h.m}^{-2}/\text{dia}$ (MARTINS, 2005), o que faz o uso de energia solar uma opção a ser estudada, seja para sistemas de aquecimento ou sistemas fotovoltaicos.

O uso de fonte energética solar no âmbito nacional com sistemas fotovoltaicos começou em 1994 com o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM) que promoveu a aquisição de sistemas fotovoltaicos por meio de licitações internacionais com o programa “Luz para todos” (ANEEL, 2005), existem ainda muitos outros pequenos projetos nacionais de geração fotovoltaica, principalmente para o suprimento de eletricidade em comunidades rurais ou isoladas do Norte e Nordeste do Brasil (ABINEE, 2012). Esses projetos atuam no bombeamento de água para abastecimento doméstico, irrigação, piscicultura, iluminação pública, sistemas de uso coletivo, tais como eletrificação de escolas, postos de saúde e centros comunitários, atendimento domiciliar entre outros. Atualmente o Brasil possui seis usinas de geração de energia por luz solar, somando uma potência instalada atual de 1MW (MME, 2011).

Em termos de custo, no panorama atual a implantação de sistemas fotovoltaicos ainda é cara, de acordo com Teixeira (2011) um sistema com potência de 4.597,258 Wpico utilizando 34 painéis de 135 Wpico, um inversor de 12 Vcc com potência de 20 kW e um banco com 24 baterias 240Ah teria um valor total de R\$88.062,00, durante 25 anos somando os custos de manutenção o preço total seria R\$227.246,00. A potência desse sistema leva em conta o consumo residencial de 10.236,5 Wh/dia e um sistema de captação da luz solar fixo em uma só posição. No entanto sabe-se que um sistema com painéis móveis orientados pela luz solar, obtém um melhor desempenho e potência, podendo assim baratear o custo.

Considerando o supracitado, este artigo apresenta um projeto de automação de um sistema fotovoltaico de baixo custo para uso residencial, com controle automático de posição (orientação) do painel em função da incidência solar visando o aumento da eficiência da transformação de energia solar para elétrica.

2. PLACAS SOLARES

Os painéis solares fotovoltaicos baseiam-se no princípio fotoelétrico na transformação direta da energia solar em energia elétrica, sobre forma de tensão e corrente contínuas. Os fótons quando colidem com átomos de certos materiais acabam por deslocar elétrons deste, assim se esses elétrons forem impedidos de voltar ao seu orbital de origem então esses podem ser aproveitados como corrente, sendo as lacunas deixadas nos orbitais cargas positivas, podemos assim gerar diferença de potencial e corrente elétrica (COMETTA, 1982). As placas fotovoltaicas são baseadas principalmente de silício, que é o segundo elemento mais

abundante na Terra. O Brasil possui 90% dos recursos mundiais de silício mineral disponível (ABADE, 1982).

Sobre as células solares comerciais existem três principais tecnologias comparadas na Tabela 1, sendo essas: As células mono-cristalinas, que são as de maior rendimento, mas são caras e difíceis de fabricar por exigirem o silício na forma de cristal puro; As células poli-cristalinas, que possuem custo de produção inferior, com um rendimento inferior as mono-cristalinas por causa de suas imperfeições no cristal devido ao sistema de fabrico; As células de silício amorfo, com rendimento ainda menor do que as anteriores, mas também a de preço reduzido (CEETA, 2001).

Tabela 1 – Eficiência de conversão e custo de células solares.

Tipo de Célula	Eficiência (%)		Custo (US\$/Wpico)
	Teórica	Laboratório	
Mono-cristalinas	27	28,2	5 a 8
Poli-cristalinas	25	19,8	4 a 7
Silício amorfo	13	4 a 7	-

Fonte: Adaptado de GREEN, M. A. et Al. Solar cell efficiency (2000).

Para os experimentos práticos foram usados painéis MSX-70, já antigos, produzidos pela Solarex, constituído de 36 células de silício poli-cristalino, estes módulos são bem adequados para praticamente todas as aplicações onde painéis fotovoltaicos são fontes viáveis de energia, tais como telecomunicações, bombeamento de irrigação, aldeias remotas e também para um sistema híbrido com a rede elétrica para residências. As características do painel MSX-70 são apresentados na Tabela 2, sendo esses valores, segundo o fabricante, válidos para 20°C de temperatura ambiente, irradiação solar de 0,8 kW/m² e velocidade média do vento de 1 m/s sendo o vento paralelo orientado para o plano da matriz e em todos os lados da matriz totalmente exposta ao vento.

Tabela 2 – Características elétricas MSX – 70

Potência máxima (Pmax)	70,1W
Tensão para Pmax (Vmp)	16,4V
Corrente para Pmax (Imp)	4,28A
Tensão de circuito aberto (Voc)	20,5V
Corrente de curto circuito (Isc)	4,73A

Fonte: Adaptado de SOLAREX, Msx - 70 datasheet (1997).

Para calcular e determinar a eficiência teórica das placas foi utilizada a relação abaixo (Treble, 1991):

$$\eta = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{S \times I_c}$$

Onde: “Imp” é a corrente máxima de pico (A); “Vmp” é a tensão máxima de pico (V); “S” é a área útil do módulo solar (m²), e “Ic” é a taxa de irradiação solar (W/m²). O valor da Irradiação solar utilizado como referencia em dias típicos de inverno e é de aproximadamente 350 W/m² para a região de Ponta Grossa (Prates, 2012).

Para obtenção prática do ponto de máxima transferência de potência utilizou-se a lei de Ohm, com os valores de tensão (Vmp) e corrente (Imp) máximos da placa se encontra um valor para

a resistência onde se dissiparia a maior potência. Entretanto, devido às características intrínsecas da placa fotovoltaica utilizada (já antiga) este valor de carga sofre alterações e o ponto de máxima transferência de potência foi empiricamente obtido, ajustando-se o valor da carga através de uma resistência variável.

O custo do sistema ainda não é barato, segundo Teixeira (2011) para uma residência com quatro moradores a carga total média é de 10.238,5 Wh/dia que necessitaria de uma geração por painéis fotovoltaicos de 4.567,256 W e também de um inversor compatível com essa carga. Considerando o uso de painéis MSX-70, para a energia hipotética indicada seriam necessários 24 painéis, resultando em um valor total aproximado do custo de instalação desse sistema móvel acima de 64 mil reais, conforme detalhado na tabela 3.

Tabela 3 – Preço de instalação do sistema móvel (base 2011).

Item	Preço Unitário (R\$)	Valor total (R\$)
24 Painéis MSX-70	711,44	17074,56
Um inversor 12 Vcc e 20000 W	25.000,00	25.000,00
24 Baterias 240 Ah	929,00	22.296,00
Um motor de passo torque 24N	44,61	44,61
Um PIC 16F877A	15,00	15,00
Estrutura Metálica	100,00	100,00
Total		64.530,17

Fonte: Adaptado e complementado de: TEIXEIRA, A. A. et al. Análise da Viabilidade para implantação do sistema de energia solar residencial, (2011).

3. AUTOMAÇÃO PARA O RASTREAMENTO SOLAR

Com objetivo de obter maior eficiência na utilização dos painéis fotovoltaicos foi proposto um circuito eletrônico microcontrolado para orientação do painel em função da maior radiação solar incidente. Este circuito compara periodicamente a incidência luminosa solar em determinados ângulos através de sensores de luminosidade do tipo LDRs acoplados a placa, movimentando-a com a ajuda de um motor de passo, para a posição de maior recepção solar, como mostrado no diagrama simplificado da Figura 1.

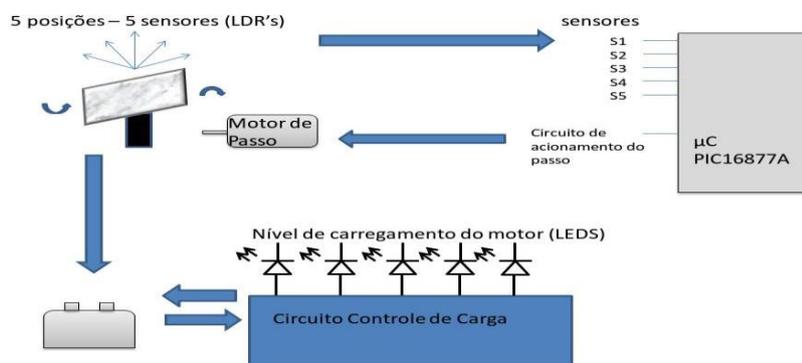


Figura 1 – Diagrama simples de funcionamento do sistema de automação proposto.

Foram determinadas no projeto cinco posições angulares do painel solar, configuráveis por cinco LDRs equidistantes de 30° entre si. Para fazer o controle da posição da placa fotovoltaica foi usado um microcontrolador PIC16F877A, o qual compara as tensões

analógicas de entrada fornecidas pelos sensores e atua sobre o motor de passo. Este microcontrolador (PIC) possui 40 pinos sendo 33 de entrada e saída digitais e destas, oito podem ser entradas analógicas, o que possibilitaria a expansão para oito sensores analógicos de posição. Este PIC foi escolhido por ser de fácil acesso no mercado e ter portas analógicas suficientes, e ainda apresentar periféricos de controle de potência (PWM), além de três temporizadores e comunicação serial, conversores A/D de até 10 bits disponíveis, entre outros periféricos (MICROCHIP, 2003). A movimentação do painel é realizada através de um Motor de passo de 39 mm com força radial de 28N e axial de 10N, usando o torque máximo ele utiliza uma tensão de 12 V e uma corrente de 0.3A, logo após a movimentação é ativada uma trava mecânica que segura a posição do passo sem necessitar do motor ligado, quando for necessário outro passo a trava é desativada.

Periodicamente é realizada uma varredura dos dados dos LDRs que estão conectados nos portos de entradas analógicas do microcontrolador. O microcontrolador converte os sinais analógicos das cinco entradas em sinais digitais de 10 bits, posteriormente comparando-os. O LDR que estiver recebendo mais luz tem um menor valor digital no microcontrolador, indicando a necessidade ou não do deslocamento do painel. Quando for necessário o microcontrolador controla adequadamente o movimento do motor. Essa rotina é realizada a cada hora, a partir de uma quantidade mínima de radiação solar. Nos intervalos, o microcontrolador é colocado em modo de dormiência (*sleep*) que mantém apenas suas funções básicas, visando à economia de energia. Na Figura 2 é apresentado o fluxograma que descreve a rotina de rastreamento do sol, onde S1, S2, S3, S4 e S5 representam os cinco sensores LDRs.

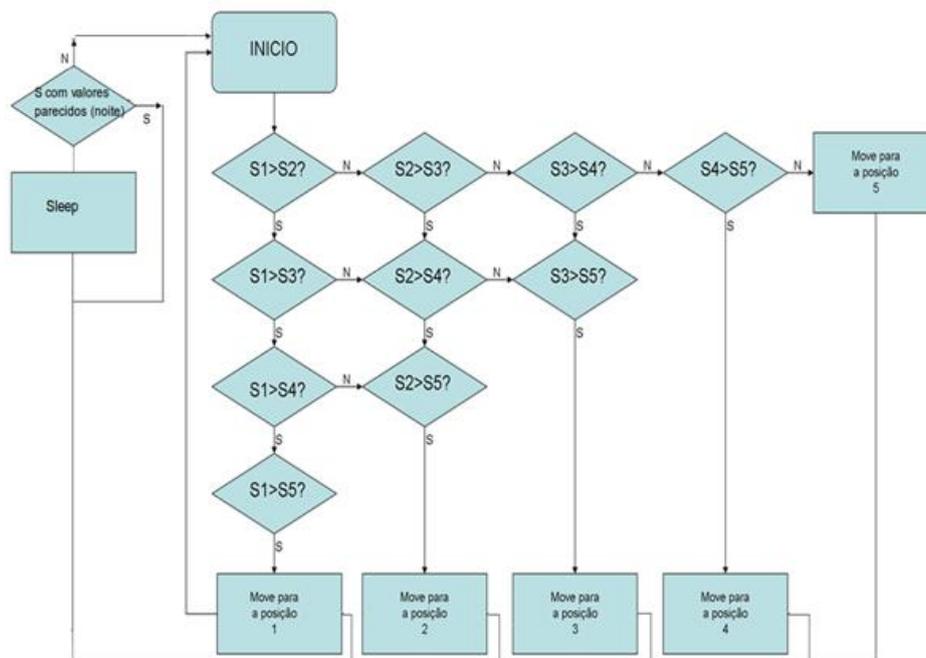


Figura 2 – Fluxograma de comparação sensores, onde Sn são os n sensores LDRs utilizados.

A Figura 3 apresenta o circuito eletrônico do sistema de controle de posicionamento do painel fotovoltaico proposto. Ao lado esquerdo encontram-se os cinco LDRs, no centro o microcontrolador PIC16F877A e no lado direito, estão os transistores Q1, Q2, Q3 e Q4 de alimentação do motor de passo M1.

O *firmware* do microcontrolador PIC foi desenvolvido em linguagem Assembly.

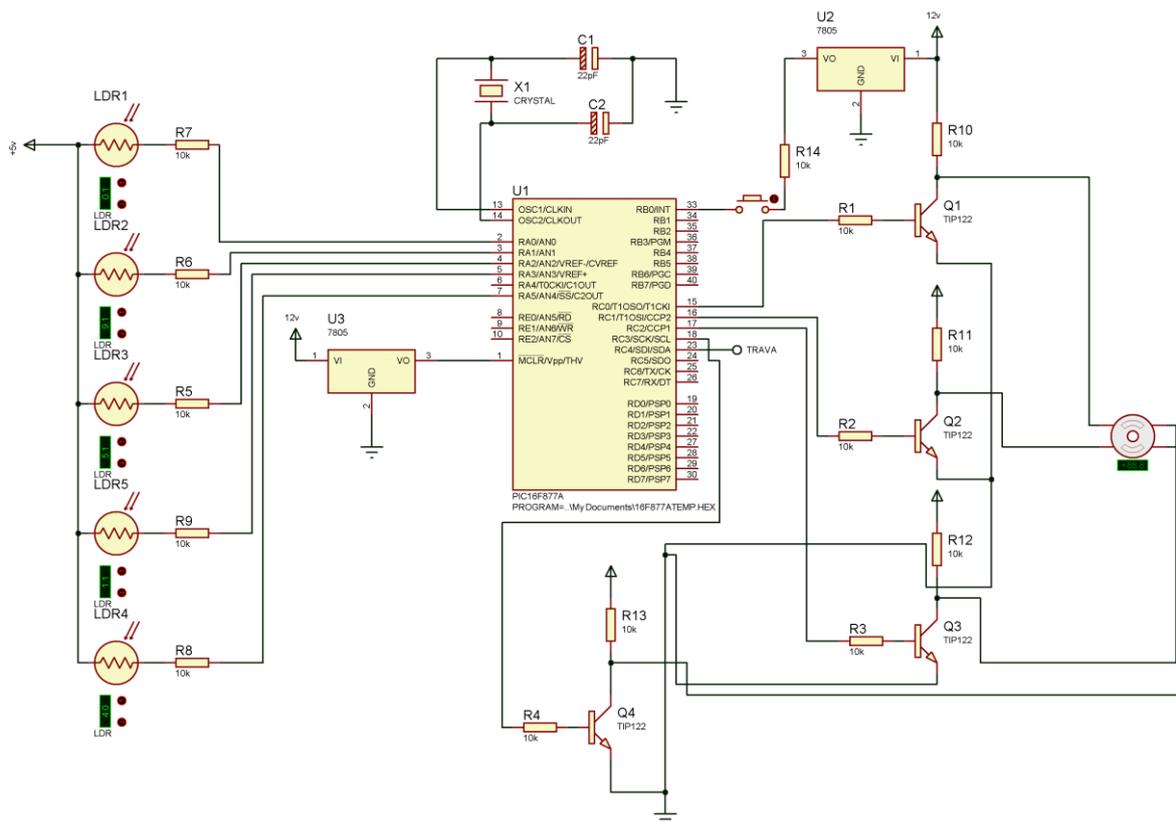


Figura 3 – Circuito eletrônico de controle e acionamento.

4. ANALISE EXPERIMENTAL

Foram utilizados três panoramas experimentais em função da fixação do painel fotovoltaico para análise comparativa.

O primeiro método constituiu-se de um painel que foi instalado sobre um telhado inclinado a 30° de um bloco da UTFPR, campus Ponta Grossa, o qual foi construído com face sudoeste, considerando esta uma hipotética instalação residencial comum, que muitas vezes utiliza a inclinação e orientação existentes do telhado, sem modificações, para fixar mais facilmente as placas fotovoltaicas.

O segundo método utiliza um painel instalado segundo orientações do fabricante, o qual recomenda 15° em relação ao percurso do sol e inclinado 45° do chão.

Já o terceiro método baseou-se em um painel instalado com 15° em relação ao percurso do sol em uma estrutura automatizada que possibilita a movimentação do painel em relação ao eixo de apoio alterando sua angulação conforme a intensidade do sol, considerando cinco possibilidades de inclinação (30°, 60°, 90°, 120° e 150° em relação ao eixo horizontal - solo), buscando a maior transferência de potência para a carga. Nessa análise experimental, para todos os métodos, foram realizadas medições com intervalo de tempo de uma hora durante as 10 horas até às 17 horas.

Primeiramente, foi analisada a carga que possibilitaria a máxima transferência de potência. Segundo o fabricante, a impedância recomendada é obtida através da razão entre a tensão de circuito aberto e a corrente de curto circuito do painel fotovoltaico, que para este painel, o valor é de 3,8Ω. Entretanto, devido às características intrínsecas do material semiconductor, com o passar do tempo a eficiência destes painéis é alterada. Assim, utilizando uma resistência de 100 W, variável de 10Ω, foi empiricamente determinada qual seria a

impedância de carga para maior transferência de potência, a qual obteve valor de $3,3\Omega$, carga esta utilizada para os três métodos experimentais.

A Figura 5 apresenta o comportamento do produto tensão de circuito aberto (V_{oc}) e da corrente de curto circuito (I_{sc}) em função do tempo, para os três casos em questão. Verifica-se que a potência transferida para a carga, em um telhado com características arbitrárias (curva tracejada) tende a ter valores mais baixos quando comparado com as características de inclinação orientadas pelo fabricante (curva pontilhada). Entretanto, verifica-se que a automação de mobilidade do painel (curva contínua) implica em um aumento superior a 10W para os momentos diferentes da melhor orientação do painel fixo, o qual ocorreu às 14h nos experimentos realizados.

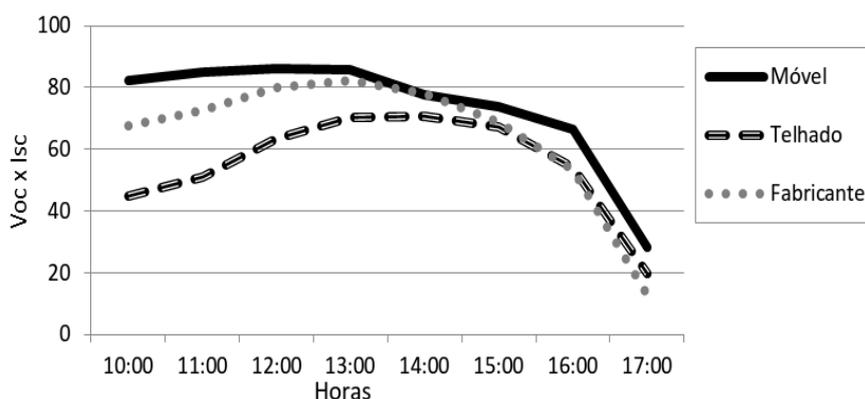


Figura 5 – Variação do $V_{oc} \times I_{sc}$ em função do tempo.

A Figura 6 apresenta o comportamento da potência em função da carga de $3,3\Omega$ aplicada, em função do tempo, para os três tipos de instalação, onde a curva contínua representa o painel móvel, a pontilhada, o painel fixo sob as orientações do fabricante e a curva tracejada, o painel fixo arbitrariamente.

Verifica-se que, assim como na Figura 5, a Figura 6 apresenta uma coincidência de máxima potência transferida a carga às 14h para o caso de instalação segundo orientações do fabricante e o caso de instalação móvel. Nota-se que nas horas adjacentes há um aumento de potência em torno de 15%. Já no caso do telhado com orientação arbitrária, fica evidente principalmente nas primeiras horas uma menor eficiência.

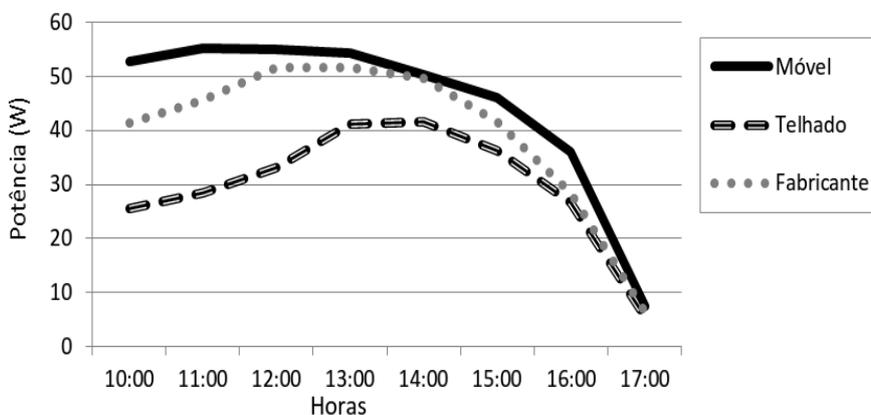


Figura 6 - Potência em função do tempo.

A Figura 7 mostra o percentual de potência atingido em relação à potência máxima teórica de 70,1W, analisando-a fica evidente que o painel móvel possui um desempenho muito melhor de que os outros apresentados.

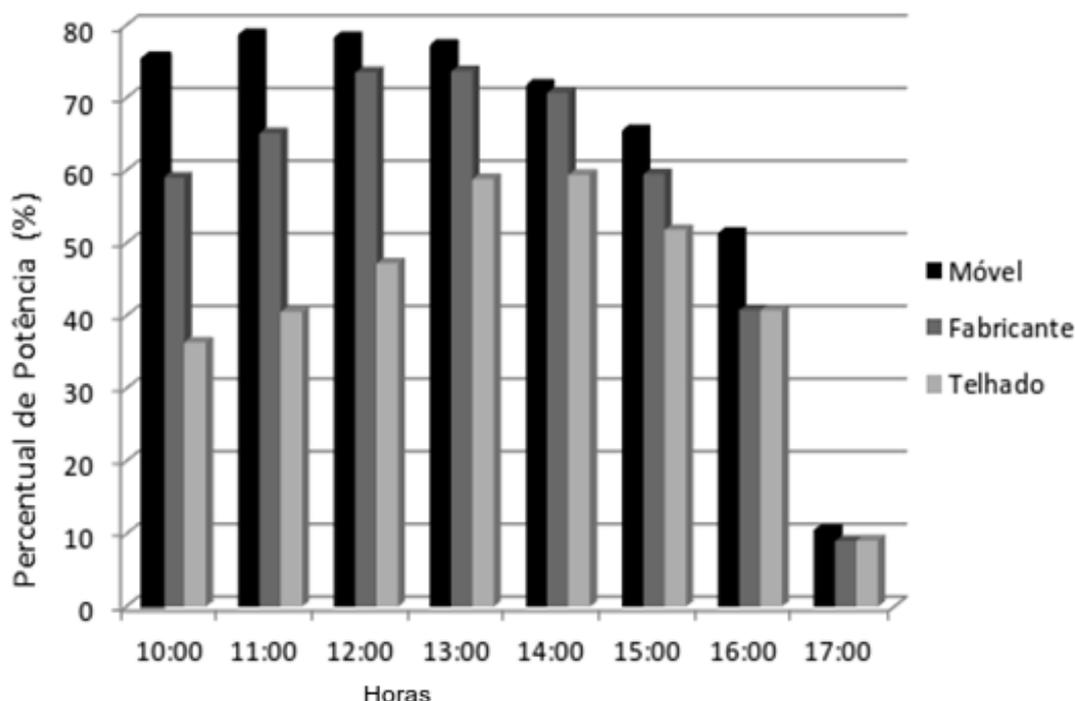


Figura 7 – Percentual de potência dissipada em relação à máxima, para os 3 panoramas experimentais.

Considerando o valor da Irradiação solar utilizado como referencia em dias típicos de inverno de aproximadamente 350 W/m² para a região de Ponta Grossa (Prates, 2012), foram calculadas as eficiências de conversão do painel, considerando os resultados experimentais. A tabela 4 apresenta os valores de eficiência para os três panoramas comparativos de instalação do painel, obtidos à 13h.

Tabela 4 – Eficiência de conversão (%).

Tipo de Instalação	Eficiência (%) Teórica
Móvel (Automatizado)	22,09
Fixo segundo sugerido pelo fabricante	20,67
Fixo em telhado arbitrário.	16,57

A Figura 8 mostra o quanto o painel móvel é mais eficiente em relação ao do telhado e do orientado pelo fabricante em termos de porcentagem. A linha contínua mostra que o painel móvel pode ser até 110% mais efetivo que um sistema fixo em um telhado enquanto que a linha tracejada mostra que o painel pode ser até 27% mais efetivo do que quando instalado segundo recomendações do fabricante (nas primeiras horas do dia).

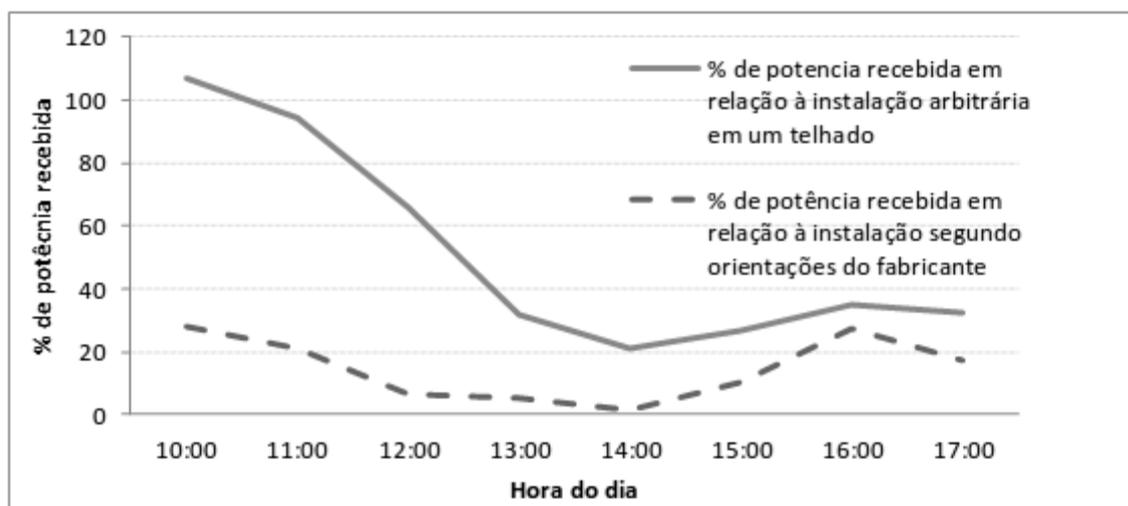


Figura 8 – Percentual de potência do painel móvel em relação a outros métodos.

Ao realizar a média dos dados experimentais obtidos, verifica-se que o painel móvel obteve uma média diária de rendimento de 14,5% maior que o painel montado segundo as orientações do fabricante e de 51,4 % melhor do que o instalado sobre o telhado arbitrário. Tais resultados confirmam que a proposta de automação dos painéis melhora sensivelmente a eficiência do sistema fotovoltaico.

5. CONCLUSÕES

A utilização de painéis fotovoltaicos ainda é uma solução de energia pouco utilizada no Brasil (em torno de 1%), entretanto é uma forma de energia limpa que está se difundindo, principalmente para pequenas aplicações residenciais. Considerando isso, foi proposto um circuito que melhorasse o rendimento da máxima transferência de potência destes painéis, utilizando um recurso de movimentação destes em função da posição solar.

Foram sugeridos três métodos para obtenção de dados comparativos de rendimento. Um painel instalado em um telhado aleatório, um segundo as orientações do fabricante e um terceiro, móvel, automatizado por nós proposto. O painel móvel obteve uma média de rendimento durante o dia de 14,5% maior que o painel montado segundo o fabricante e de 51,4 % melhor do que o telhado arbitrário, justificando os custos envolvidos para implantação da proposta.

Entretanto, devido aos custos envolvidos a energia solar tem sido principalmente instalada para fins residenciais com objetivos específicos, como na manutenção de circuitos fechados, aquecimento de água e/ou carregamento de pequenos bancos de bateria, mas pode ser uma solução para regiões rurais mais isoladas, para sistemas de irradiação ou sinalização.

REFERÊNCIAS

- GOLDEMBERG, J. & MOREIRA, J. R.** *Política energética no Brasil. Estudos Avançados*, v. 19, n. 55, p. 215-228, 2005.
- COMETTA, E.** *Energia Solar: utilização e emprego práticos*. Ed. São Paulo: Hemus, 1982.
- TREBLE, F. C.** *Generating electricity from the sun*. New York: Pergamon Press, 1991.
- MARTINS, F. R. et al.** *Mapas de irradiação solar para o brasil: Resultados do Projeto*

SWERA . *Anais xii: impósio Brasileiro de Sensoriamento*. Ed.Goiânia, Brasil, p.3137-3145. 16 abr, 2005.

LINS, C.; OUCHI, H. C.; STEGER, U.. *Sustentabilidade Corporativa – Energia Elétrica*. Janeiro de 2007. Disponível em: <<http://fbds.org.br/apresentacoes/FBDS-IMD-EnergiaEletrica.pdf>>. Acessado em: 23 de maio de 2012.

ABADE, A. K. *Energia solar fotovoltaica no Brasil: projeto piloto ou grande mercado*. In: *Congresso brasileiro de energia. Desafio da reestruturação e desenvolvimento econômico e social*. Ed. Rio de Janeiro: UFRJ, p. 347-357, 1996.

MINISTÉRIO MINAS E ENERGIA (MME). *Resenha energética brasileira – Resultados preliminares*. Disponível em: <http://www.biblioteca.presidencia.gov.br/publicacoes-oficiais-1/catalogo/conselhos/conselho-nacional-de-politica-energetica/resenha-energetica-brasileira-exercicio-de-2011-resultados-preliminares/at_download/file>. Acessado em: um de junho de 2012.

CENTRO DE ESTUDOS EM ECONOMIA DA ENERGIA DOS TRANSPORTES E DO AMBIENTE (CEETA). *Tecnologias de Micro-Geração. 6 – Painéis Solares Fotovoltaicos*, p48-52. Dezembro, 2001.

INATOMI, T. A. H. *Análise dos impactos Ambientais na produção de Energia dentro do Planejamento Integrado de Recursos*. Dissertação de Mestrado. USP, 2000.

LEITE, M. A. *Impacto Ambiental das Usinas Hidrelétricas. II Semana do Meio Ambiente*. UNESP. Ilha Solteira, junho 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA (ABINEE). *Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira*. Disponível em: <www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>. Acessado em: um de junho de 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Atlas de energia elétrica*. Segunda ed. –243 p. ANEEL, 2005

PRATES, J.E. *Inventário de energia solar no Paraná*. Instituto Tecnológico SIMEPAR. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/11-5a265ef06586a8756837248033b062c7.pdf>>. Acessado em: 23 de maio de 2012.

TEIXEIRA, A. A. et al. *Análise da Viabilidade para implantação do sistema de energia solar residencial. e-xacta*, Belo Horizonte, v. 4, n. 3, p. 117-136. (2011). Editora UNIBH. Disponível em: <www.unibh.br/revistas/exacta/> Acessado em: um de junho de 2012.

GREEN, M. A. et al. *Solar cell efficiency tables: version 16. Progress in Photovoltaic: Research and Applications*, Sydney, v.8, p. 377-384, 2000.

MICROCHIP. *Datasheet: PIC16F87XA*. 2003, disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf>>

SOLAREX. *Datasheet: MSX70*. 1997

Silonex INC, LDR NSL-19M51 – Datasheet 102082 REV 3, Disponível em: <<http://silonex.com/datasheets/specs/images/pdf/102082.pdf>>