

# DESENVOLVIMENTO DE UM SEGUIDOR SOLAR AUTOMATIZADO DE BAIXO CUSTO

Renner R. Brandão, Isabella F. Caetano, Brenno, S. Pinheiro, Otavio S. M. Gomes,  
Rafael V. T. Nobrega

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – IFMG, Grupo de Pesquisa C2ISC – Concepção de Circuito Integrado e Sistemas de Comunicação, Formiga – MG, Brasil

E-mail: [rafael.nobrega@ifmg.edu.br](mailto:rafael.nobrega@ifmg.edu.br)

**Resumo** - Com o passar dos anos o consumo de energia elétrica está se tornando cada vez maior, aumentando-se, conseqüentemente, a necessidade de produzir energia através de formas alternativas, ou seja, formas renováveis que não agredam tanto os recursos naturais, que um dia podem acabar. Assim, temos um cenário favorável na busca de dispositivos capazes de converter outros tipos de energia renovável em energia elétrica. A energia solar é a fonte mais abundante em nosso planeta, e o Brasil encontra-se em posição privilegiada, tendo uma alta taxa de radiação solar ao longo de todo ano. Assim, neste trabalho desenvolveu-se um breve estudo sobre a energia fotovoltaica no Brasil e posteriormente, desenvolveu-se um dispositivo eletromecânico automatizado de baixo custo, chamado de seguidor solar, capaz de sustentar e movimentar um pequeno painel fotovoltaico ao longo do dia, mantendo sempre a sua superfície direcionada em posição perpendicular aos raios solares. Por fim, apresentaram-se os resultados obtidos do seguidor solar automatizado em relação à placa fotovoltaica fixa, apresentando também os custos dos equipamentos utilizados na confecção do seguidor automatizado.

**Palavras-Chave** - Energia Solar, geração de energia elétrica, células fotovoltaicas, fontes alternativas de energia, energia renovável, controle e automação.

## DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC SOLAR TRACKER OF LOW COST

**Abstract** - Over the years, the power consumption is becoming larger, increasing the need to produce energy through alternative ways, i.e., renewable ways that do not harm the natural resources much, which may one day end. So we have a favorable scenario in seeking devices capable of converting other types of renewable energy into electrical energy. Solar energy is the most abundant source on our planet, and Brazil is in a unique position, having a high rate of solar radiation throughout the year. Thus, this paper developed first, a brief study of photovoltaics in Brazil. Later developed a prototype of an automated electromechanical device low cost, called a solar follower, capable of supporting and moving a small photovoltaic panel throughout the day, keeping its surface oriented perpendicular to the sun's position. Finally, we presented the results obtained from the automated solar tracker relative to the fixed photovoltaic

plate, also showing the cost of the equipment used in the manufacture of automated solar tracker.

**Keywords** - Solar energy, power generation, photovoltaics, alternative energy sources, renewable energy, control and automation.

## I. INTRODUÇÃO

A energia solar fotovoltaica é uma das fontes de energia que mais cresce em todo o mundo, ela é uma forma promissora de geração de energia elétrica, pois esta forma de geração trata-se da captação da radiação solar para a geração direta de corrente elétrica por meio de um painel fotovoltaico. Este painel utiliza células fotovoltaicas para captação da radiação solar incidente em uma determinada área [1].

Com isso, muitos países estão investindo na implantação da energia solar fotovoltaica em suas matrizes energéticas, uma vez que esta é uma forma de geração “completamente limpa”, por não liberar nenhum tipo de resíduo no meio ambiente, além de depender apenas da radiação solar que é abundante em nosso planeta [2].

A geração de energia elétrica via radiação solar pode ser obtida de duas maneiras distintas, a primeira é a geração distribuída que acumula a energia elétrica gerada em baterias e a segunda é a conexão direta com a rede de corrente alternada que são os sistemas *on-grid* [1].

No Brasil a segunda maneira é a mais utilizada, uma vez que é a opção mais viável para atender conjuntos populacionais isolados dos grandes centros urbanos. Porém, este tipo de geração de energia elétrica ainda representa uma pequena participação em relação às demais formas de geração de energia elétrica presentes na matriz energética brasileira, conforme ilustrado na Figura 1.

O grande problema na geração de energia elétrica via radiação solar é a sua baixa eficiência, que atualmente, apresentam um valor em torno de 15% [1]. Um meio de melhorar a eficiência seria a construção de placas fotovoltaicas mais eficientes do que as placas disponíveis no mercado, outro meio seria a melhora da eficiência na captação da energia solar através de sistemas de rastreamento dinâmico do Sol, fazendo com que os raios solares incidam



XII CEEL – ISSN 2178-8308  
13 a 17 de Outubro de 2014  
Universidade Federal de Uberlândia – UFU  
Uberlândia – Minas Gerais – Brasil

sempre perpendicularmente ao painel fotovoltaico, diminuindo assim os diversos tipos de perdas de radiação solar [1].

Dessa forma, apresentamos na próxima seção uma contextualização da energia fotovoltaica no Brasil atualmente.

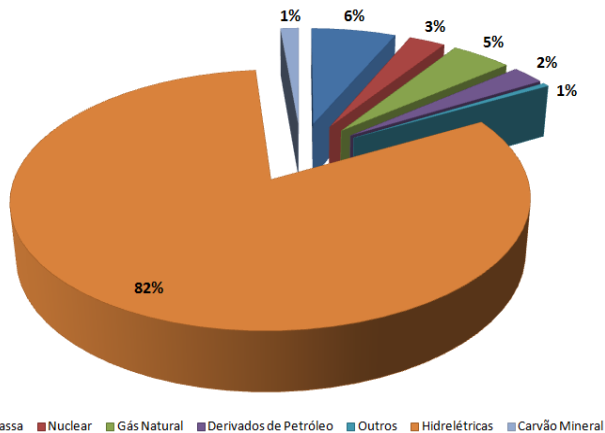


Fig. 1. Representação da matriz elétrica brasileira em 2012, [3].

### A. Contextualização da Energia Fotovoltaica no Brasil

Durante muitos anos os recursos fósseis e hídricos comandaram o desenvolvimento da civilização juntamente com a economia mundial, assim como, a economia brasileira. O Brasil se apoiou nessas fontes energéticas para realizar o seu desenvolvimento industrial e social. Entretanto, tem-se atualmente uma crise no abastecimento energético, fruto de diversos problemas no âmbito geopolítico e ambiental, devido à comercialização de recursos não-renováveis [3]. Outro grande problema é a extensão do território brasileiro, cujo sistema de transmissão e distribuição de energia elétrica torna-se complexo. Uma vez que as grandes usinas hidrelétricas geradoras de energia elétrica encontram-se afastadas dos grandes centros urbanos, acarretando assim em grandes investimentos em transmissão e distribuição de energia elétrica para atender famílias e/ou comunidades afastadas dos grandes centros. Além do mais, o sistema convencional de distribuição não atende algumas localidades, com eficiência, confiabilidade e custo acessível [2].

A construção destas usinas hidrelétricas proporciona outro problema de cunho sócio-ambiental, tais como, o alagamento de grandes áreas férteis, o deslocamento de pessoas e principalmente perdas consideráveis no bioma de algumas regiões brasileiras [4].

No Brasil, a base da matriz energética de energia elétrica de acordo com o Balanço Energético Nacional de 2012 – ano base 2011 [3] é a energia hidrelétrica, que representa aproximadamente 82% (incluindo as importações) do total de energia elétrica produzida no país, como pode ser visualizada na Figura 1. Esta é uma fonte de caráter renovável, já que para a geração de energia elétrica não é necessário qualquer tipo de queima de combustível [5]. Com isso, tem-se a participação de energias renováveis na matriz energética brasileira no patamar de 44,1%, valor muito acima da média mundial que é 13,3%, de acordo com a Agência Internacional de Energia [3].

Entretanto, após a crise energética de 2001, causada pelos baixos níveis de água nos reservatórios das usinas hidrelétricas, culminou em uma transformação no setor elétrico brasileiro, aumentando significativamente a preocupação com a dependência do país em relação a esse tipo específico da matriz energética.

Diante desse importante fato, a obtenção da energia oriunda de outras fontes, incluindo a energia solar, torna-se fundamentais para evitar futuros colapsos energéticos [6]. Lembrando que, a energia solar é a fonte de energia mais abundante em nosso planeta, pois, o fluxo de energia solar incidente na superfície orientada normal aos raios solares apresenta um valor médio de 1400 W/m<sup>2</sup> [7]. E assim, o Brasil apresenta um enorme potencial energético, uma vez que recebe elevados índices de radiação solar durante todos os meses do ano, inclusive nos inverno [8], como pode ser visualizado na Figura 2.

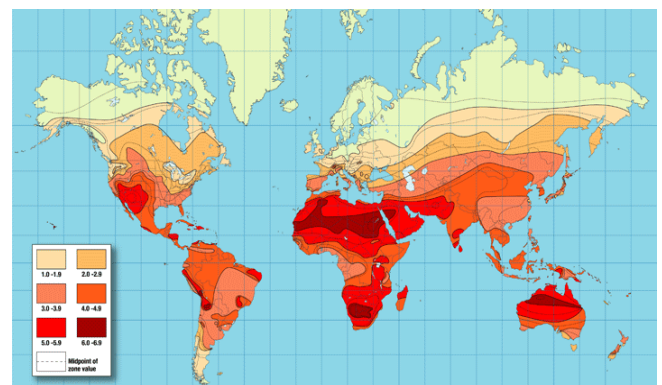


Fig. 2. Insolação diária mundial, [9].

Em vista deste potencial energético brasileiro a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou em 17 de abril de 2012 a Resolução Normativa nº 482 estabelecendo as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. Dessa forma, a ANEEL reduz as barreiras regulatórias existentes para conexão de geração de pequeno porte disponível na rede de distribuição, a partir de fontes de energia alternativas. Assim, temos a regulamentação da atividade de mini e microgeração de energia elétrica da unidade consumidora no Brasil, onde a quantidade de energia elétrica gerada por fontes alternativas de energia, inclusive a energia solar, poderá ser descontada do consumo de energia elétrica ativa da unidade, na forma de créditos gerada por meio do sistema de compensação de energia elétrica que expirarão em 36 meses após a data de faturamento [10].

Com este cenário, o usuário brasileiro encontra um ambiente favorável na busca de energias de fontes alternativa, ou seja, na busca de dispositivos que sejam capazes de converter uma fonte de energia, em energia elétrica. Um dos dispositivos que apresenta um grande potencial é o conversor de energia solar em energia elétrica. Tais dispositivos são formados, basicamente, por: módulos fotovoltaicos, inversores, estruturas e cabecamentos. Dessa forma, pode-se elencar o custo aproximado de instalação deste sistema fotovoltaico, que de acordo com o trabalho de E. Perloti, [11], o custo de instalação quando há

intermediários apresenta um valor de, 11 R\$/Watt (incluindo os valores de importação para o estado de Minas Gerais), [11].

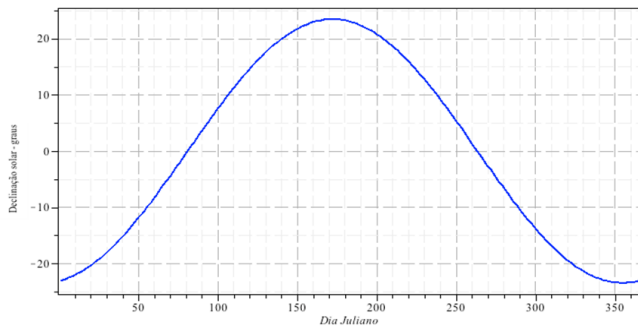


Figura 3. Declinação solar (em graus) em função dos dias do ano (data Juliana).

Assim, em função dos valores elevados na instalação de sistemas fotovoltaicos interligados à rede, apresentou-se neste trabalho uma forma de desenvolver uma parte do sistema: o seguidor solar automatizado de baixo custo que é um dispositivo capaz de rastrear o Sol ao longo de sua trajetória que muda ao longo dos dias do ano, de acordo com a Figura 3. Com isso, neste próximo capítulo, apresentamos a fundamentação teórica necessária para o desenvolvimento do seguidor solar automatizado de baixo custo.

## II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta parte do trabalho, apresentamos os conceitos teóricos necessários para o desenvolvimento do seguidor solar automatizado de baixo custo.

### A. Descrição e Cálculo da Trajetória Solar

Nos estudos de energia solar é importante compreender a posição do sol em relação à Terra. Talvez a ferramenta mais eficaz para explicar e compreender a posição do Sol seja a trajetória solar – a trajetória solar em relação a um local na superfície da Terra [8]. Nesta seção, iremos apresentar como calcular as trajetórias solares e compreender como são as linhas da trajetória solar. Considere a relação geométrica Terra-Sol, de acordo com a Figura 4.

A Terra gira em um ângulo de  $23,45^\circ$  [8] em relação ao plano orbital eclíptico. Esse ângulo de rotação é responsável pelas estações ao longo do ano: primavera, verão, outono e inverno. Embora a Terra se mova em torno do Sol, a maneira mais simples de compreender o movimento da Terra é adotar uma visão de Ptolomeu – considerar a Terra estacionária e o Sol em movimento. Na visão de Ptolomeu, a relação do Sol com um ponto na superfície da Terra é descrita pelo ângulo da altitude solar,  $\alpha$ , e pelo ângulo azimutal solar,  $a_s$ , de acordo com o esquema apresentado na Figura 4. O ângulo da altitude é aquele entre uma linha colinear com o Sol e o plano horizontal. O ângulo azimutal é aquele entre a linha na direção sul e a projeção da linha do local até o Sol no plano horizontal [8].

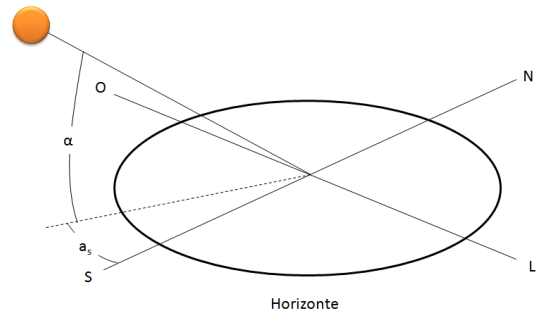


Fig. 4. Ilustração dos ângulos da altitude solar e azimutal, Figura adaptada de [8].

A trajetória solar para 01 de junho no IFMG Campus: Formiga,  $-20,453$  de latitude sul, esta ilustrada na Figura 5. Além da relação entre os ângulos azimutal e de altitude, a hora solar é exibida na figura. Na cidade de Formiga/MG, 01 de junho é possível verificar que temos quase 12 horas de luz solar neste dia, e que no meio-dia solar o Sol está com um ângulo de altitude solar de aproximadamente  $48^\circ$ . O movimento do Sol também é simétrico ao meio-dia solar, com a diferença entre a manhã e a tarde sendo apenas o sinal do ângulo azimutal

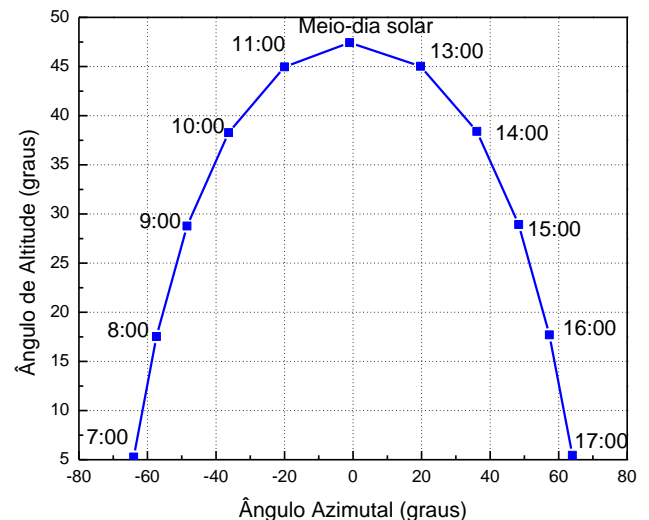


Figura 5. Linha da trajetória solar em 01 de junho no IFMG Campus: Formiga.

De acordo com Hodge, [8], os ângulos de altitude e azimutal não são fundamentais, mas são funções da localização (latitude), do tempo (ângulo horário solar) e da declinação solar. A declinação solar,  $\delta_s$ , varia entre  $-23,45^\circ$  e  $+23,45^\circ$  e tem o mesmo valor numérico da latitude na qual o Sol está diretamente sobre a cabeça ao meio-dia solar em um determinado dia. A declinação solar pode ser aproximada como,

$$\delta_s = 23,45^\circ \sin \left[ \frac{360(284+n)}{365} \right] \quad (1)$$

onde  $n$  é o número do dia Juliano. O dia Juliano é o número do dia conforme medido sequencialmente de 1 de janeiro a 31 de dezembro [8]. A declinação solar em função do dia Juliano é ilustrada na Figura 3. O ângulo solar horário solar,

$h_s$ , baseia-se nas 24 horas necessárias para o Sol se mover  $360^\circ$  em torno da Terra. O ângulo de altitude solar,  $\alpha$ , está relacionado com os ângulos de declinação ( $\delta_s$ ), de latitude ( $L$ ), e de horário solar ( $h_s$ ), como,

$$\sin \alpha = \sin L \sin \delta_s + \cos L \cos \delta_s \cos h_s \quad (2)$$

O ângulo azimutal solar,  $a_s$ , é dado por,

$$\sin a_s = \frac{\cos \delta_s \sin h_s}{\cos \alpha} \quad (3)$$

Para um determinado dia é possível simular a linha de trajetória solar usando somente as Eqs.(2) e (3). Após a apresentação dos conceitos, na próxima seção apresentamos a implementação do seguidor solar automatizado.

### B. Desenvolvimento do protótipo de seguidor solar automatizado de baixo custo

Os sistemas conhecidos como seguidor solar (*solar trackers*) desempenham a tarefa de colocar os painéis solares com a sua superfície sempre em posição perpendicular aos raios de Sol incidentes. Desta maneira, as mudanças na posição do Sol em relação à Terra durante o dia e com respeito às estações do ano, são compensadas com o reposicionamento do módulo, permitindo que, dentro de um intervalo de tempo, mais energia (radiação) seja coletada e transformada em energia elétrica [12], [13].

Pesquisas na área garantem que com o seguidor solar, a eficiência dos painéis pode atingir valores acima de 50%, no verão, enquanto em outras épocas do ano como o outono, valores maiores que 20% são atingidos, dependendo da tecnologia utilizada [13].

Há muitas formas de rastreamento solar e elas variam, principalmente na forma de implementação. As duas formas gerais existentes são: algoritmos fixos de controle e rastreamento dinâmico. A diferença entre os dois métodos é a maneira com que o caminho do Sol é determinado. Nos algoritmos fixos de controle o caminho do Sol é determinado através de equações relativas às posições do Sol ao longo do dia e da estação do ano em função do tempo, ou seja, o dispositivo seguidor trabalha em função do horário, dia, mês e ano para determinar essa posição, além de levar em conta as coordenadas da localização a qual se encontra.

Os sistemas dinâmicos de posicionamento, por outro lado, procuram a posição do Sol em qualquer momento do dia. O sistema de controle consiste em controlar a direção dos motores de passo, ou servo-motores que são acionados por uma unidade de controle de forma digital.

Desenvolveu-se então um seguidor solar com dois graus de liberdade (corrige ângulos na vertical e na horizontal), que cobre toda a trajetória solar durante o dia. Utilizou-se como sistema de controle a plataforma Arduino e como sensores de posicionamento o LDR (*Light Dependent Resistor*). A figura 6 apresenta o seguidor solar automatizado desenvolvido.



Fig. 6. Seguidor solar desenvolvido no projeto.

A trajetória apresentada na Figura 5 simula a insolação de cada cidade, e a partir disso, realizou-se um estudo sobre o funcionamento do protótipo. No estudo foram comparadas as tensões e correntes geradas por duas placas, uma estática (PE) e outra fixa no seguidor (PS), durante todo um dia, a fim de se observar qual placa faria maior aproveitamento de sua potência de geração. As medições foram realizadas de 15 em 15 minutos das 07h30min até as 17h30min, resultando em 10 horas de dados coletados no dia 17/05/2014.

Os dados experimentais obtidos nas medições em campo são apresentados nas Figuras 7 e 8, o que nos permite uma análise mais crítica das variáveis que podem afetar a eficiência do seguidor solar automatizado. Na Figura 7 tem-se a radiação solar (em Hectolux) perpendicular incidente nos painéis dinâmico e estático em função das horas do dia.

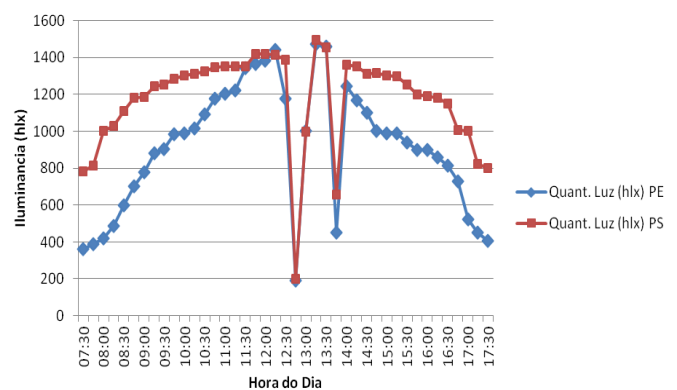


Fig. 7. Radiação solar perpendicular incidente nos painéis em função das horas do dia.

Ainda na Figura 7 pode-se observar um ganho do seguidor solar dinâmico em relação ao painel estático, mesmo com algumas variações climáticas, ou seja, a presença de nuvens entre o Sol e o seguidor solar (condições climáticas não-ideais). Uma vez que o seguidor solar dinâmico otimiza a captação da radiação solar em relação ao painel estático.



Outra forma de análise do seguidor solar foi apresentada na Figura 8 que apresenta a potência elétrica gerada nos painéis móveis e estático em função das horas do dia. A comparação entre os valores obtidos em campo pode ser visualizada na Figura 8.

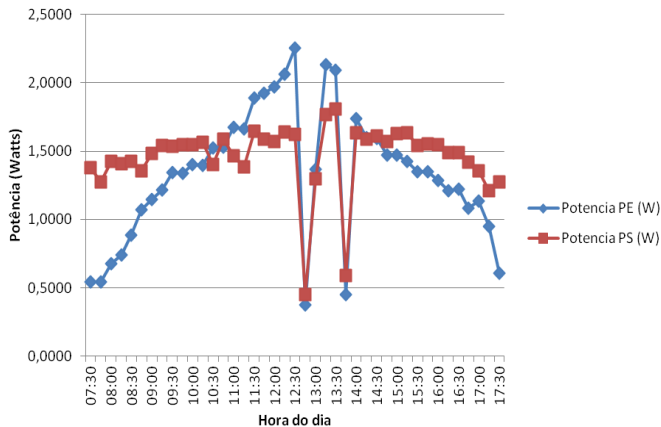


Fig. 8. Potência elétrica gerada nos painéis em função das horas do dia.

A partir da Figura 8 pode-se obter várias informações relevantes em relação aos painéis, o que nos permite calcular a eficiência do seguidor solar em relação aos painéis fixos. As informações obtidas é o percentual de aproveitamento da potência máxima de geração para cada painel, e o ganho percentual do seguidor solar com relação ao painel estático e são apresentadas a seguir,

- Potência média (PE): 1,335 W, 53% aproveitamento (todo o período).
- Potência média (PS): 1,460 W, 58% aproveitamento (todo o período).
- Potência média (PE): 1,026 W, 41% aproveitamento (de 07:30 as 10:15 horas).
- Potência média (PS): 1,457 W, 58% aproveitamento (de 07:30 as 10:15 horas).
- Potência média (PE): 1,640 W, 65% aproveitamento (de 10:30 as 14:15 horas).
- Potência média (PS): 1,440 W, 58% aproveitamento (de 10:30 as 14:15 horas).
- Potência média (PE): 1,010 W, 50% aproveitamento (de 14:15 as 17:30 horas).
- Potência média (PS): 1,208 W, 59% aproveitamento (de 14:15 as 17:30 horas).

A partir destes dados foi possível calcular o quanto o seguidor solar automatizado de baixo custo foi mais eficiente do que o painel estático temos,

- Ganho médio: 5% (todo o período).
- Ganho médio: 17% (de 07:30 as 10:15 horas).
- Ganho médio: 11% (de 14:15 as 17:30 horas).

De posse destes dados podemos verificar que o seguidor solar automatizado apresenta uma melhor eficiência em relação ao painel estático. Após a apresentação dos dados obtidos experimentalmente, pode-se apresentar, na Tabela 1,

a relação dos custos de equipamentos necessários na construção do seguidor solar automatizado de baixo custo. Lembrando que alguns materiais utilizados na construção da estrutura do seguidor solar são provenientes de materiais recicláveis.

Quantidade/Peça	Valor (R\$)
Chapa de aço 3 mm	15,00
Nylon 1 Pol (barra 40 cm)	30,00
02 Servo-motores MG-995 + frete	52,00
Alumínio (Tubo quadrado ½ Pol e chapa)	5,50
Painel solar 6 V - 2,4 W	32,00
Cabos e fios de conexões	5,30
Arduino UNO	69,00
04 Sensores LDR	10,00
Pilhas e baterias	18,80
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 237,60</b>

Tabela 1. Orçamento e descritivo dos gastos com o protótipo.

De acordo com a Tabela 1 pode-se verificar que o seguidor solar desenvolvido neste trabalho apresenta um baixo custo em relação a outros dispositivos geradores de energia elétrica a partir de fontes alternativas [11], ressaltando que foram utilizados materiais reciclados na confecção da estrutura do dispositivo e a escolha dos componentes foram baseados nos seus valores. Na sequência deste trabalho, pretende-se trabalhar com a placa fotovoltaica com maior potência, e fazer a sua ligação com a rede elétrica.

### III. CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento deste trabalho, pode-se apresentar um breve estudo sobre o cenário da energia fotovoltaica no Brasil, bem como, apresentar o desenvolvimento de um dispositivo eletromecânico de baixo custo chamado de seguidor solar automatizado. Este protótipo foi desenvolvido através de uma placa fotovoltaica que busca o alinhamento perpendicular aos raios solares de forma autônoma ao longo do dia, buscando sempre a máxima radiação solar durante todo o dia. Este controle foi realizado pelo microcontrolador Arduino.

Com os resultados apresentados neste trabalho foi possível verificar a eficiência do seguidor solar em relação ao painel estático, no qual o ganho médio ao longo do dia foi de 5%, ressaltando que no início e no final do dia, tem-se a maior margem de ganho, em torno de 17% e 11% respectivamente. Estes resultados são satisfatórios, pois, este dispositivo foi desenvolvido com componentes visando os seus baixos valores, bem como, a utilização de materiais recicláveis, contribuindo assim com a sustentabilidade no planeta. Posteriormente, na sequência deste trabalho, pretende-se trabalhar com placas fotovoltaicas de maior potência, bem como, fazer um sistema *on-grid* conectando este seguidor solar automatizado a rede elétrica de corrente alternada.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – IFMG Campus:

Formiga pelo apoio financeiro por meio do projeto de pesquisa aprovado no Edital: 006/2013.

#### REFERÊNCIAS

- [1] M. G. Villalva, J. R. Gazolli, **Energia Solar Fotovoltaica**, São Paulo: Editora Érica Ltda., 2012.
- [2] COGEN (Associação da Indústria de Cogeração de Energia). **Inserção da Energia Solar no Brasil**. São Paulo; 2012. 79 p.
- [3] BRASIL. **Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2012 – Ano base: 2011: Resultados Preliminares**. Rio de Janeiro: EPE, 2012.
- [4] JARDIM, Carolina; SALAMONI, Isabel, RÜTHER, Ricardo; KNOB, Paulo; DINIZ, Antônia. **O potencial dos sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica em áreas urbanas: dois estudos de caso**. Campinas (SP). In Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio Rural, 2004.
- [5] KRYBUS, Marcelo; PASCALICCHIO, Agostinho. **Viabilidade econômica de implantação de energia solar em pequenas comunidades isoladas**. In: VII Jornada de Iniciação Científica da Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2011, São Paulo (SP).
- [6] HINRICHS, Roger; KLEINBACH, Merlin; REIS, Lineu. **Energia e Meio Ambiente**. São Paulo (SP): Cengage Learning, 2010.
- [7] CASTRO, Nivalde; MARTINI, Sidnei; BRANDÃO, Roberto; DANTAS, Guilherme, TIMPONI, Raul. **A importância das fontes alternativas e renováveis na evolução da matriz elétrica brasileira**. In: V Seminário de Geração e Desenvolvimento Sustentável. Fundación Mapfre, 2009.
- [8] HODGE, B. K. **Sistemas e aplicações de energia alternativa**. Rio de Janeiro (RJ): LTC, 2011.
- [9] ALTOGAGREEN. Disponível em: <<http://www.altogagreeen.com/pt/tecnologia-verde/paineis-solares.html>>. Acesso em: 19 de abril de 2013.
- [10] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa Nº 482, 17 de Abril de 2012**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 19 de abril de 2013.
- [11] PERLOTTI, E; et al. **Proposta para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. 2012. 176 f. (Relatório Técnico) - Estudo do Grupo Setorial de Sistemas Fotovoltaicos da Abinee, LCA Consultores, PSR Soluções e Consultoria em Energia.
- [12] MARINESCU, D.; MARINESCU, C. **Control Optimizing Algorithm for Soft Sun-Trackers**. In: IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, 2006. Volume 1, pp. 54-57. 2006.
- [13] BERTOLI, G. **Sistemas fotovoltaicos de geração de energia: comparação de desempenho entre um sistema com rastreamento solar e um sistema estático**. Trabalho de Conclusão Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia. Universidade Estadual Paulista, Bauru (SP), 2012.