

# ANÁLISE DA DEMANDA DE POTÊNCIA CONSUMIDA POR RASTREADORES SOLARES AUTOMATIZADOS

**Fausto Batista Felix Silva** – fausto.silva@pr.senai.br

Faculdade de Tecnologia SENAI CIC

**Danilo Carvalho de Gouveia** – danilocgou@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação de Sistemas de Energia

**Jair Urbanetz Junior** – urbanetz@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação de Sistemas de Energia

**Resumo.** Este trabalho apresenta uma análise da demanda de potência consumida por rastreadores solares automatizados. Mostra as diferenças de consumo entre os circuitos de controle e de potência que compõem esses sistemas, bem como análise de datasheets, aplicações de seguidores em operação e simulação para mensurar a potência consumida. O trabalho contribui também apresentando diferentes tecnologias utilizadas para a automatização de rastreadores solares, comparando qual sistema automatizado possui menor consumo de potência uma vez que, embora os rastreadores possuam um ganho na geração de energia em relação a sistemas fotovoltaicos fixos, se faz necessário levar em consideração a perda que possui pelo consumo dos circuitos de controle e de potência.

**Palavras-chave:** Energia Solar, Rastreador Solar, Demanda de Potência.

## 1. INTRODUÇÃO

A maior parte dos sistemas fotovoltaicos, são constituídos por módulos que possuem ângulo fixo de inclinação. Com os módulos em inclinação fixa não se consegue maximizar a captação dos raios solares em todos os dias ou meses do ano, fazendo-se necessário adotar um ângulo que possibilite uma razoável produção média de energia ao longo do ano e ao longo do dia, com isso a escolha incorreta da inclinação reduz a captação de raios solares e compromete a produção de energia elétrica bem como também sua eficiência energética (Villalva e Gazoli, 2012).

Para otimizar a irradiação solar sobre a superfície de um módulo fotovoltaico, existem sistemas que seguem o movimento do sol, através de mecanismos e estruturas de seguimento de um ou dois eixos. O princípio básico de um seguidor solar é permitir que o ângulo de incidência dos raios solares seja sempre perpendicular ao plano do módulo. Essa alternativa é mais usual em centrais fotovoltaicas, nas quais os módulos estão sobre o solo (Tolmasquim, 2016).

A aplicação de seguidores solares para aumento da eficiência de geração de energia fotovoltaica é cada vez mais evidente, estudos mostram diferentes tecnologias de automação e resultados obtidos através de experimentos com seguidores de um ou dois eixos como mostra a Fig. 1.

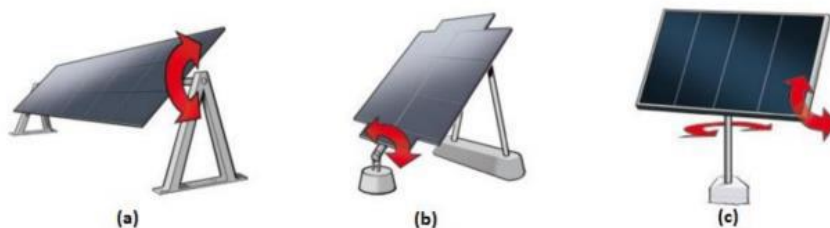


Figura 1 - Sistemas de seguimento solar de um (a, b) e dois (c) eixos

Os resultados em sua grande maioria, se mostram bastante positivos onde é possível observar um ganho na geração de energia comparando um sistema fixo em relação a um seguidor solar que pode chegar até próximo a 40% nos casos de seguidores de dois eixos. Entretanto, apesar desse sistema apresentar uma melhor eficiência de geração, possui uma demanda de potência para alimentar os circuitos de controle e potência que acompanham a trajetória do sol, assim o ganho obtido pelo rastreador pode ter seu valor reduzido em função da potência consumida pelos dispositivos que compõem o sistema como sensores, controladores e motores.

## 2. OBJETIVO

Partindo do princípio que existem diferentes tecnologias de seguidores solares, aquisição de dados de geração e controle da posição correta do módulo fotovoltaico, este trabalho tem como objetivo analisar a demanda de potência consumida pelos circuitos de controle e potência de diferentes sistemas de automatização de seguidores e assim, contribuir com uma análise indicando rastreadores solares que podem fornecer menores perdas de energia entregue para a rede de distribuição.

### 3. DEMANDA DE POTÊNCIA CONSUMIDA EM CIRCUITOS DE CONTROLE

Os rastreadores automatizados possuem um circuito de controle onde recebem os sinais dos sensores indicando a alteração na trajetória do sol, tensão, corrente, temperatura, radiação entre outros sinais que influenciam na geração de energia no módulo fotovoltaico. Esse circuito em sua maioria é composto por diferentes microcontroladores ou controlador lógico programável (CLP).

Em uma primeira análise é apresentado na Fig. 2 um projeto e desenvolvimento de um rastreador solar utilizando um controlador lógico programável. A figura mostra o diagrama de uma estrutura, onde pode ser visto o módulo fotovoltaico instalado sobre os seus suportes (fixo e móvel), os sensores de radiação, sensores de temperatura, os motores de movimentação do sistema móvel, o controlador lógico programável e as cargas resistivas do sistema (Alves, 2008).

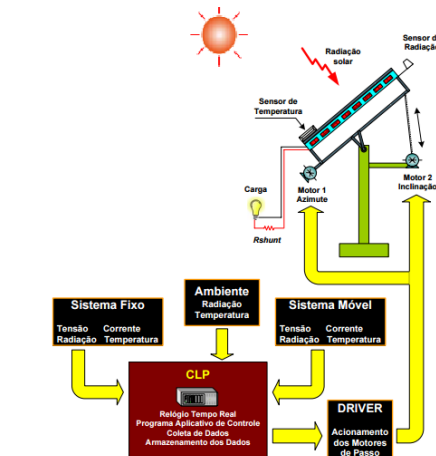


Figura 2 - Diagrama do Sistema utilizando CLP

Nesse sistema o Controlador Lógico Programável, tem a função de acionar o circuito de potência e de coletar e armazenar os dados dos sensores instalados como os sensores de temperatura e radiação fixados no plano do módulo fotovoltaico, também dos sensores de temperatura ambiente e de radiação medida no plano horizontal. O sistema de posicionamento para o rastreador solar é composto por um CLP, uma placa de acionamento dos motores de passo, motores e redutores.

O CLP executa o programa de controle, gera o resultado das equações de posicionamento do sol e dos dados inseridos no programa, como as coordenadas geográficas do laboratório de campo e o horário da localidade. Com esses dados, calcula-se a posição aparente do sol no céu e gera os sinais de controle para os motores de passo (Alves, 2008). Estes sinais de controle são convertidos em pulsos que irão controlar a velocidade e o sentido de rotação dos motores, como consequência também os ângulos de posicionamento, de modo a colocar o módulo fotovoltaico na posição desejada.

Os parâmetros coletados para análise forma: tensão e corrente em cada módulo (para posterior cálculo da potência e da potência gerada), temperatura e radiação solar. A medida de tensão do módulo é feita de maneira direta, medindo a tensão nos terminais do módulo fotovoltaico em intervalos de 1 minuto. A medição da corrente fornecida pelo módulo é medida através dos valores da tensão sobre um resistor conectado em série com cada uma das cargas resistivas (*shunt*), também em intervalos de 1 minuto.

Além de controlar o movimento dos motores de passo, o CLP monitora todo o sistema, lendo e armazenando os dados (tensão, corrente, temperatura, radiação) utilizados para avaliar o comportamento do sistema. Os dados são obtidos a partir de sensores de radiação solar, sensores de temperatura, sensores de corrente e de tensão (Alves, 2008).

Analisando as especificações de um CLP da marca WEG, é possível calcular o consumo de potência do CLP através dos valores de tensão e corrente fornecidos pelo fabricante conforme é apresentado na Tab. 1.

Tabela 1 - Especificações elétricas do Controlador Lógico Programável WEG.

Alimentação		
Consumo de Potência	Modelos	Consumo Corrente
	24 V CC - 12 pontos	125 mA
	24 V C - 20 pontos	185 mA
	12 V CC - 12 pontos	195 mA
	12 V CC - 20 pontos	265 mA
	Alimentação V CA	100 mA

Com os valores de tensão e corrente fornecidos pelo fabricante, é possível através da Eq. (1) calcular a potência consumida pelo CLP considerando o menor e o maior consumo. Calculando a potência consumida utilizando os maiores

e menores valores de tensão e corrente, é possível estabelecer uma faixa de consumo de potência entre 2,34 a 4,44W. Tomando como base a potência gerada pelos módulos fotovoltaicos, essa potência consumida pelo circuito de controle utilizando um controlador lógico programável acaba sendo irrelevante em relação ao ganho apresentado pelos rastreadores solares.

$$P = V \cdot I \quad (1)$$

Um outro método para os circuitos de controle é a utilização de microcontroladores que podem ser um PIC ou uma plataforma de prototipagem utilizando o Arduino. A linha de raciocínio para essa aplicação é a mesma apresentada utilizando CLP, ou seja, no microcontrolador são conectados os sensores e a saída para o circuito de potência que irá acionar o motor.

Trevelin (2014) apresenta um método de rastreamento solar aplicando um Arduino Uno R3 para o sistema de controle que busca a máxima incidência solar utilizando LDR (*Light Dependent Resistor*) como sensor de incidência solar. Esse tipo de plataforma é bastante utilizada em função da facilidade de programação, elevado número de funções básicas como leitura de conversores A/D, elaboração de PWM, comunicação *ethernet*, comunicação USB, entre outros. Com isso é possível otimizar a programação desse sistema utilizando a conexão de sensores e saída para o motor em uma única placa conforme mostra a Fig. 3.

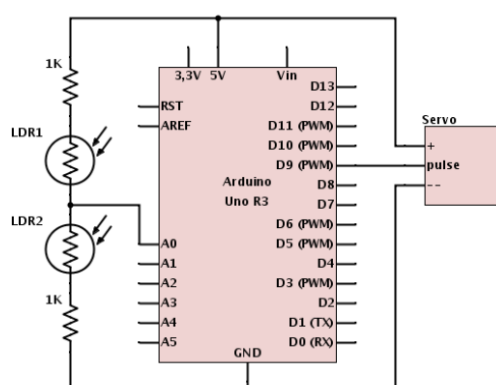


Figura 3 - Circuito de controle utilizando Arduino

Realizando uma análise da demanda de potência do Arduino Uno R3, também é possível calcular através da Eq. 1 a potência consumida utilizando os valores de tensão e corrente fornecidos pelo fabricante conforme é mostrado na Tab. 2.

Tabela 2 - Especificações elétricas do Arduino Uno R3.

Microcontrolador	Atmega 328
Tensão de operação	5 V
Tensão de entrada	6 - 20 V
Corrente DC por pino (I/O)	40 mA
Corrente DC por pino em 3,3V	50 mA

Através do cálculo de potência no Arduino, foi possível estabelecer o range da potência consumida sendo entre 165 e 200 mW levando em consideração os valores com maior e menor operação de tensão e corrente apresentados na tabela acima.

Com os valores da demanda de potência de cada tecnologia empregada (CLP e Arduino) nos circuitos de controle dos rastreadores, é possível comparar a potência consumida em cada um, conforme mostra a Tab. 3.

Tabela 3 – Comparação da potência consumida entre CLP e Microcontrolador.

Tecnologia	Consumo máx.	Consumo mín.
CLP	4,44 W	2,34 W
Arduino	200 mW	165 mW

Essa análise facilita a escolha de qual melhor tecnologia a ser empregada quando o foco é utilizar um sistema que possua uma menor demanda de potência, não oferecendo grandes perdas para a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos ao longo do tempo. É possível observar que o Arduino possui um consumo de potência muito menor comparado a um CLP, sendo que também, devido a seu custo e dimensões físicas, o CLP certamente não é a melhor

solução para a implementação de um sistema de movimento para o módulo fotovoltaico a não ser pelas suas características importantes de flexibilidade, facilidade de programação e reprogramação, grande quantidade de portas de entrada e saída e robustez para operação em ambientes externos, sujeito a intempéries.

#### 4. DEMANDA CONSUMIDA EM CIRCUITOS DE POTÊNCIA

O circuito de potência é necessário para acionar o motor que fará a movimentação do módulo fotovoltaico. É utilizado um motor para movimentação no eixo vertical e um motor para a movimentação no eixo horizontal. Na grande maioria dos casos, o motor utilizado é um motor de passo, que pode fazer pequenos movimentos de rotação, o que é uma das características que devem ser atendidas para esse tipo de sistema, pois um seguidor solar corrige o ângulo de inclinação dos módulos solares em apenas alguns graus, sendo assim o movimento necessário que o motor faça é pequeno (menor que 1 RPM). A potência do motor utilizado é dimensionada de acordo com cada aplicação, pois existem sistemas em que o seguidor solar é composto por apenas um módulo e outros compostos por vários módulos no caso de usinas solares.

Os motores usados em projetos de rastreador solar movem objetos grandes e pesados, mas eles fazem isso em um ritmo lento. Um motor geralmente combina com uma caixa de velocidades que reduz a velocidade do eixo de saída e aumenta o torque. Por sua vez, a caixa de velocidades do motor fornece a força motriz para unidades de rotação ou atuadores lineares. A redução geral de engrenagens altas não só otimiza a velocidade do eixo para rastrear o sol, mas também atua para resistir a efeitos de carregamento de vento que podem ser bastante elevados. Em todos os casos, porém, os *designers* dimensionam os motores com base nos requisitos reais de velocidade, torque e energia necessários para seguir o sol diariamente e sazonalmente. A escolha dos equipamentos de transmissão é necessária, pois se concentra em torno da integração do sistema em uma plataforma mecânica adequada para acomodar o seguidor solar. A Fig. 4 apresenta alguns tipos de engrenagens de rotação e movimentação utilizados nos rastreadores (Prinsloo e Dobson, 2015).



Figura 4 - Engrenagens lineares e rotativas, sistemas de transmissão, atuadores e *sleewdrives* normalmente utilizados em aplicações de rastreamento solar

Os motores elétricos que movem esses sistemas de rastreamento são geralmente de pequenos modelos de cavalos fracionados (menos de 745 W) cuja própria potência consumida é irrelevante. O mesmo pode ser dito para os motores que alimentam projetos de energia solar concentrada (CSP) que vão desde torres de energia solar a coletores de Fresnel e sistemas parabólicos de pratos ou calhas que concentram energia solar e convergem em energia elétrica. Por exemplo, em um caso, um coletor de Fresnel de 470 pés de comprimento gerando 50 kW é conduzido por um único motor CC sem escovas de 75 mm e uma caixa de engrenagens planetária que atua em uma movimentação com uma redução total de engrenagens de 20.000: 1. O sistema coleta 2,5kW de potência por cada watt consumido pelo rastreamento (Dunkermotoren, 2012).

Para uma aplicação em uma usina solar, onde a capacidade de geração CC é em torno de 100 à 250kW, um seguidor solar com variação de ângulo entre  $\pm 45^\circ$  e  $\pm 60^\circ$  pode obter um ganho geração de energia de 10% à 25%. Para esse sistema é utilizado um motor com uma potência nominal menor ou igual a 2,2kW conforme mostra as características elétricas na Tab. 4 a seguir (Powermax, 2017).

Tabela 4 – Dados elétricos de um sistema seguidor solar Power Tracker.

Power Tracker - Power Max	
Systema datasheet	
System style	PowerMax
Model	Horizontal single-axis tracker
Capacity (DC)	100 ~250kW
Maxomal system voltage	1000V/1500V
Range of tracker	$\pm 45^\circ / \pm 60^\circ$
Extra Output (VS fixed tilt)	10% ~25% (Powerway Terms and Conditions applied)

Electrical Data	
Power voltage	3W + PE 380/480 VAC L+N+PE 110/220 VAC
Power frequency	50 HZ / 60HZ
Rated power	$\leq 2,2kW$
Motor	AC motor
Controller	MCU
Tracker strategy	Astronomical algorithms + tilt sensor close loop

Como é possível observar na tabela acima, a potência consumida pelo motor utilizado no rastreador consome menos de 1% da potência gerada pelo sistema fotovoltaico operando nas condições padrões de testes, o que torna o consumo quase que irrelevante em relação à sua produção. Esse baixo consumo é um atrativo que as empresas especializadas em rastreadores solares, apresentam como um dos benefícios em adotar esse sistema.

Uma aplicação de um circuito de potência para o acionamento dos motores de passo de um sistema fotovoltaico em menores proporções, pode ser composta também por um circuito mais simples onde pode contar apenas com um Arduino e *drivers* de acionamento por pulsos PWM. A Fig. 5 ilustra dois motores de passo controlados através de um processador Arduino. Esta implementação usa o *EasyDriver Stepper Motor Driver* como interface de alta corrente entre o motor e o circuito eletrônico do processador, porém é importante ressaltar que há muitos outros *drivers* atuais disponíveis no mercado.

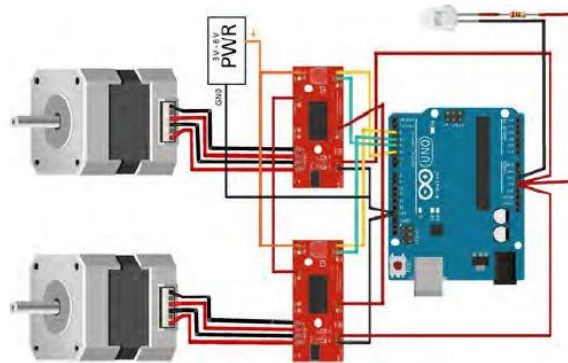


Figura 5 - Circuito de potência a partir do motor de passo

Em alguns casos o *driver* de acionamento é composto por circuitos analógicos onde, é recebido do circuito de controle o sinal PWM e através de semicondutores que atuam como chaves (transistores ou optoacopladores) faz o acionamento do motor de passo. A Fig. 6 apresenta um circuito de potência para acionamento de um motor utilizando chaveamento através de semicondutores no qual foi simulado para medição de corrente total do circuito, considerando que um motor de passo alimentado com uma tensão de 12V.

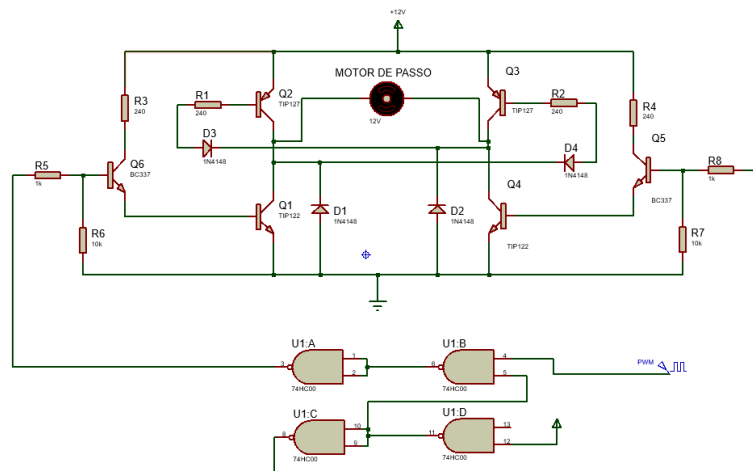


Figura 6 - Circuito de potência analógico

Na simulação do circuito apresentado acima, chegou-se a uma corrente total de 593 mA. Aplicando a Eq (1) para cálculo do consumo de potência consumida pelo circuito considerando que a alimentação é de 12V, chegou-se a um

consumo de 7,12W. Uma maneira mais simples de fazer interface com um motor de passo unipolar com Arduino é a utilização do *chip* ULN2003A. O ULN2003A suporta até 500 mA por canal e tem uma queda de tensão interna de cerca de 1V quando ligado, o que faz com que o consumo de potência seja menor ainda. Ele também contém diodos para atenuação de transitório de tensão durante a condução de cargas indutivas. Para controlar o motor de passo precisa-se aplicar tensão a cada um das bobinas em uma sequência específica. A Fig. 7 a seguir mostra a ligação do Arduino para o motor de passo utilizando um chip ULN2003A.

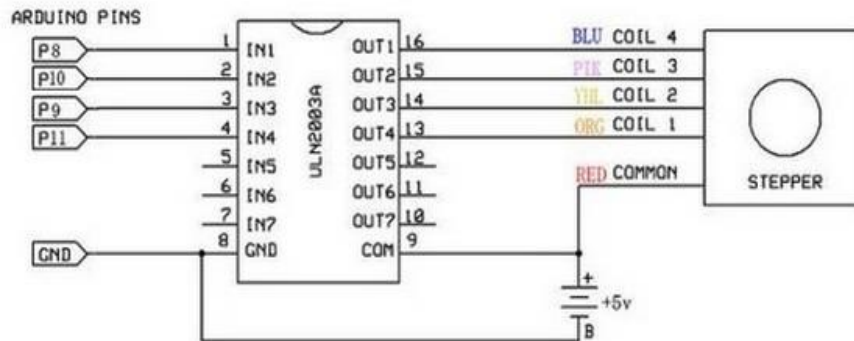


Figura 7 - Ligação do Arduino para o Motor de Passo

Comercialmente é possível comprar o kit contendo a placa do Arduino juntamente com o motor de passo como mostra a Fig. 8. Com o kit vem também todo o diagrama de ligações e programações básicas que podem para o Arduino.



Figura 8 - Kit Arduino e motor

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com as análises feitas nos itens anteriores, é possível traçar dois resultados diferentes sendo eles em relação aos circuitos de controle e circuito de potência. Para o primeiro caso (controle) é possível observar através da Tab. 3 que os circuitos controlados pelo Arduino tem um consumo consideravelmente menor dos circuitos que utilizam CLP. Apesar da demanda de potência consumida do CLP ser baixa também, operando na faixa de 4,44W, não se compara ao baixo consumo e outras funcionalidades que o Arduino apresenta e que podem agregar ao projeto.

Os circuitos de potência também apresentaram um baixo consumo. Esses circuitos são utilizados para fazer o acionamento dos motores que movimentam as estruturas dos seguidores solares. O motor utilizado na grande maioria é o motor de passo, que quando é aplicado para movimentar vários módulos que possuem uma carga maior, utilizam redutores para reduzir a velocidade do eixo de saída e aumentar o torque. Para um sistema de seguidor solar utilizando vários módulos, é necessário um motor maior com um consumo de até 2,2kW onde o consumo do circuito de potência não varia muito desse valor. Considerando que essa aplicação o ganho da geração de potência é de até 250kW enquanto que a potência consumida no circuito não chega à 1% deste valor. Para uma aplicação menor onde o motor é de 12V a simulação mostrou que a corrente no circuito também é pequena e como consequência possui baixa demanda de potência em torno de 7,12W. Em geral mesmo sendo uma instalação menor, esse tipo de sistema onde o motor é de 12V pode ser aplicado em um sistema onde a geração de potência é maior do que 1kW, sendo assim a potência consumida pelo circuito de potência também se torna quase que irrelevante.



## 6. CONCLUSÃO

Os seguidores solares se mostram bastante eficientes apresentando ganhos na geração de energia como apontam diversos estudos. Embora os seguidores solares automatizados demandem menor potência para o funcionamento dos circuitos de controle e potência, tal consumo em relação ao ganho que esses seguidores apresentam é quase que desprezível. De acordo com as análises feitas, é possível verificar que a opção mais viável para o circuito de controle é a utilização de um microcontrolador que pode ser um PIC ou um Arduino, pois o consumo de potência é muito baixo, eles também podem ser aplicados nos circuitos de potência para acionamento do motor, assim o consumo da potência acaba sendo menor ainda. Também nas aplicações feitas para o circuito de potência, tanto para pequenas quanto para grandes instalações, o consumo para o acionamento dos motores também é bastante inferior ao ganho de energia viabilizando assim os projetos de seguidores solar.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, A F., 2008. Desenvolvimento de um Sistema de Posicionamento Automático para Painéis Fotovoltaicos. Botucatu. 152 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.
- Dunkermotoren. John. M., 2012. Designing with solar tracking motors - USA Inc. Elgin, Ill. Disponível em: <http://www.pwrelectronics.com/content/designing-solar-tracking-motors> - Acesso 7/11/2017.
- Powermax., 2017. PowerTracker System. Foshan, Japan. Disponível em <http://www.pvpowerway.com>
- Prinsloo, G., Dobson, R., 2014. Solar Tracking, Sun Tracking, Sun Tracker, Solar Tracker, Follow Sun, Sun Position.
- Tolmasquim, M. T., 2016. Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. Rio de Janeiro: EPE. 451 p. ISBN 978-85-60025-06-0.
- Trevelin, F. C., 2014. Estudo Comparativo entre métodos de rastreamento solar aplicados a sistemas fotovoltaicos.
- Villalva, M G., GAZOLI, Jonas R. 2012. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. 1 ed. São Paulo: Editora Érica.
- WEG., 2015. Controladores Lógicos Programáveis – CLPs Relé Programável. Jaraguá do Sul, SC, Brasil. Disponível em [www.weg.net](http://www.weg.net).

## ANALYSIS OF THE POWER DEMAND CONSUMED BY AUTOMATED SOLAR TRACKERS

**Abstract.** *This work presents an analysis of the power demand consumed by automated solar trackers. It will show the differences of consumption between the control and power circuits that compose these systems, as well as analysis of datasheets, follower applications in operation and simulation to measure the power consumed. The work also contributes by presenting different technologies used for the automation of solar trackers comparing which automated system has lowest power consumption since, although the trackers have a gain in the generation of energy in relation to fixed photovoltaic systems, it is necessary to take into account the loss which has the consumption of control and power circuits.*

**Key words:** *Solar Energy, Solar Tracker, Power Demand.*