

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE GOIÁS Uni-ANHANGUERA**  
**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE POSICIONAMENTO DE PAINEL**  
**SOLAR**

**JONES CLEITON MARTINS BARBOSA**

GOIÂNIA  
Dezembro/2019

**JONES CLEITON MARTINS BARBOSA**

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE POSICIONAMENTO DE PAINEL  
SOLAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao núcleo de ciências exatas do curso de bacharelado em engenharia elétrica do Centro Universitário de Goiás - Uni-ANHANGUERA, sob orientação do professor Ms. Álvaro Adelino de Oliveira, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia elétrica.

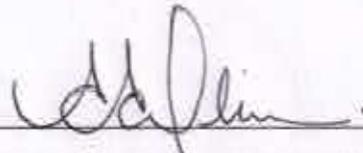
GOIÂNIA  
Dezembro/2019

## TERMO DE APROVAÇÃO

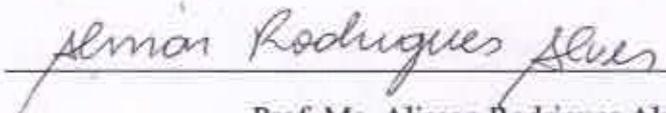
JONES CLEITON MARTINS BARBOSA

### SISTEMA AUTOMÁTICO DE POSICIONAMENTO DE PAINEL SOLAR

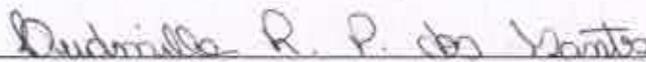
Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA, deferido e aprovado em 02 de dezembro de 2019 pela banca examinadora constituída por:



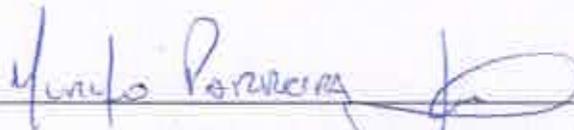
Prof. Me. Alvaro Adelino de Oliveira



Prof. Me. Alisson Rodrigues Alves



Prof(a). Ma. Ludmilla Reis Pinheiro dos Santos



Prof. Me. Murilo Parreira Leal

Eu dedico esse trabalho primeiramente a Deus, que me deu força e saúde para que pudesse alcançar esse sonho que está se concretizando nesse ano de 2019. Agora, dedico-o também a minha família, minha esposa Luciene, meus filhos Pedro e Luisa, minha mãe Valdeci, meu pai Valdetino e meu irmão Diego, todos de maneira direta ou indireta contribuíram para que esse trabalho se tornasse possível.

## RESUMO

A proposta para o desenvolvimento desse projeto partiu da necessidade da geração de energia elétrica de uma maneira mais eficiente, esse sistema busca aumentar a eficiência da geração através de um sistema automático de posicionamento do painel solar. Foi necessário, para o desenvolvimento do sistema de controle conhecer de forma detalhada o funcionamento de cada componente. Foi desenvolvido um protótipo que possui dois eixos rotacionais, que permitiu o movimento da placa solar de acordo com o deslocamento do sol. O sistema de automação desenvolvido conta com quatro sensores posicionados estrategicamente nas extremidades da placa, dois motores de passo para rotacionar com precisão os eixos e um microcontrolador Arduino Uno. O desenvolvimento do software foi uma parte bem complexa do projeto, como é um protótipo, cabe ainda muitas melhorias principalmente na parte mecânica, mas de acordo com o que foi proposto o projeto atendeu bem as expectativas. Os dois sistemas foram analisados nas mesmas condições, tanto climáticas quanto geográficas. Com os dados obtidos foi possível notar uma eficiência maior do sistema de posicionamento automático.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geração. Eficiência. Automação.

## LISTA DE ABREVIATURAS

CEPEL	Centro de pesquisa de energia elétrica
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito
PWM	Modulação de Largura de Pulso
MPPT	Rastreamento de Ponto de Máxima Potência
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CLP	Controlador Lógico Programável
LDR	Resistor Dependente de Luz

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de blocos sistema fotovoltaico básico	12
Figura 2. Sistema fotovoltaico autônomo com armazenamento de carga	12
Figura 3. Sistema fotovoltaica autônomo sem armazenamento de carga	13
Figura 4. Sistema fotovoltaico interligado a rede de distribuição	14
Figura 5. Celula solar	15
Figura 6. Bateria estacionaria de chumbo-ácido	16
Figura 7. Controlador de carga	17
Figura 8. Inversor	19
Figura 9. Diagrama de blocos do sistema de controle	20
Figura 10. Arduino UNO	21
Figura 11. Sensor LDR	22
Figura12. Arranjo dos sensores	23
Figura 13. Circuito elétrico dos sensores	24
Figura14. Motor de passo NEMA23	25
Figura 15. Motor de passo 28byj48	25
Figura 16. Driver TB6600	26
Figura 17. Drivers ULN2003	26
Figura 18. Protótipo do sistema automático de posicionamento de painel solar	27
Figura 19. Sensores LDRs implementados no sistema	28
Figura 20. Circuito elétrico do sistema de automação	29
Figura 21. Motor de passo e sua localização no projeto	29

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Tensão gerada pelos sistemas	30
Gráfico 2. Corrente elétrica gerada pelos sistemas	31
Gráfico 3. Potência gerada por cada sistema	32
Gráfico 4. Média das variáveis analisadas durante o período	32

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>09</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>10</b>
2.1	<b>Objetivo Geral</b>	10
2.2	<b>Objetivos Específicos</b>	10
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>11</b>
3.1	<b>Energia Solar</b>	11
3.2	<b>Sistema Fotovoltaico</b>	11
3.2.1	<i>Sistema Off-GRID</i>	12
3.2.2	<i>Sistema ON-GRID</i>	13
3.3	<b>Painel Solar</b>	14
3.4	<b>Baterias</b>	15
3.5	<b>Controlador de Carga</b>	16
3.6	<b>Inversores</b>	18
3.7	<b>Sistema de Controle</b>	19
3.7.1	<b>Arduino</b>	20
3.7.2	<b>Sensor de Luz</b>	22
3.7.3	<b>Motor de Passo</b>	24
3.7.4	<b>Drivers Para Motor de Passo</b>	25
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>34</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>35</b>
	<b>APÊNDICE A</b>	<b>37</b>
	<b>APÊNDICE B</b>	<b>41</b>

<b>ANEXO A</b>	42
<b>ANEXO B</b>	43
<b>ANEXO C</b>	44

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo dados do Ministério de Minas e Energia (2019), a geração fotovoltaica no Brasil deve dobrar sua participação na matriz energética até 2024. Isso é resultado de uma preocupação mundial pela busca por fontes renováveis de energia elétrica.

A energia proveniente do sol é a maior fonte de energia que está ao nosso alcance. No entanto, o grande desafio é converter essa energia solar em energia elétrica de maneira mais eficiente.

Mesmo com o avanço tecnológico que ocorreu nas últimas décadas, os painéis solares ainda possuem uma eficiência relativamente baixa. Segundo a fabricante de painéis solares Globo Brasil (2019), a eficiência de seus painéis gira em torno de 16.5%.

Dessa forma a necessidade de melhorar a eficiência desse sistema de geração foi a motivação para o desenvolvimento desse projeto. Foi desenvolvido um sistema automático que aumentou a eficiência da geração de painéis fotovoltaicos através do ajuste contínuo do posicionamento.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

- Desenvolver um sistema de posicionamento automático que busque aumentar a eficiência de geração de painéis fotovoltaicos.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Definir quais componentes serão necessários para o desenvolvimento do sistema de controle de posição proposto.
- Conhecer de forma detalhada o funcionamento de cada componente utilizado nesse sistema de controle.
- Comparar o desempenho do sistema fotovoltaico fixo com o de posicionamento automatizado.

### **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

Nessa sessão veremos como funciona os sistemas de geração fotovoltaica. Algumas configurações de sistemas e seus componentes principais. Vamos conhecer também os componentes que foram necessários para o desenvolvimento do projeto proposto, e suas principais características

#### **3.1 Energia solar**

“A energia solar fotovoltaica é a energia obtida com a conversão direta da luz em eletricidade (efeito fotovoltaico).” (LOPES, 2012, p. 85). O efeito fotovoltaico consiste no aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de determinados materiais ao serem expostos a luz, principalmente os semicondutores, gerando assim uma corrente elétrica (CEPEL, 2014). Este fenômeno foi observado pela primeira vez em 1830 por Edmond Becquerel.

“O desenvolvimento atual da tecnologia solar fotovoltaica permite que sistemas fotovoltaicos utilizem o inesgotável recurso solar transformando-o em eletricidade de forma limpa, segura e confiável.” (ZILES; BENEDITO, 2015, p. 33).

#### **3.2 Sistema fotovoltaico**

Os sistemas fotovoltaicos são muito confiáveis e simples, podendo ser implantados em locais remotos e de difícil acesso. Não produzem ruído algum e requerem pouca manutenção (SOUZA, 2015).

Um sistema fotovoltaico básico possui quatro componentes: painéis solares, controlador de carga, inversor e baterias. O diagrama apresentado na Figura 1 mostra de maneira simples os componentes de um sistema fotovoltaico.

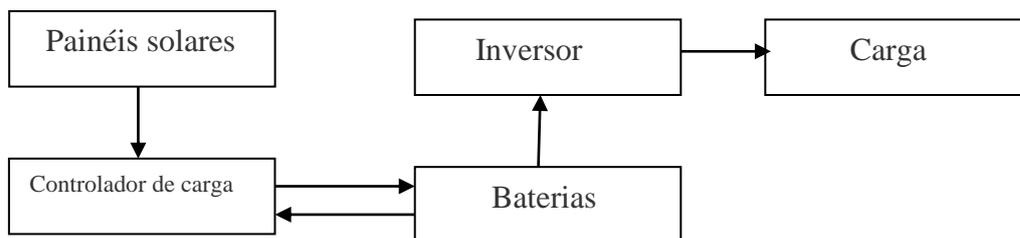


Figura 1: Diagrama de blocos sistema fotovoltaico básico.

Os sistemas fotovoltaicos possuem basicamente duas configurações: Os sistemas isolados ou autônomo (*off-grid*) e os sistemas conectados a rede (*on-grid*).

### 3.2.1 Sistema *off-grid*

Os sistemas *off-grid* não são conectados na rede elétrica de uma concessionária, e normalmente possuem baterias para suprir a demanda no momento em que não há geração, como por exemplo, nos períodos noturnos e em dias nublados (PINHO; GALDINO, 2014).

A Figura 2 mostra como estão distribuídos os componentes de um sistema *off-grid*.



Figura 2. Sistema fotovoltaico autônomo com armazenamento de energia (*off-grid*).  
Fonte: Bluesol, 2019.

Segundo Lopes (2012) há sistema *off-grid* em que não é necessário o armazenamento de carga, como no caso da irrigação onde toda água bombeada é consumida ou armazenada. Nestes casos os sistemas só funcionam quando há irradiação solar suficiente.

A Figura 3 mostra um exemplo de sistema em que não há a necessidade de armazenamento de energia elétrica.

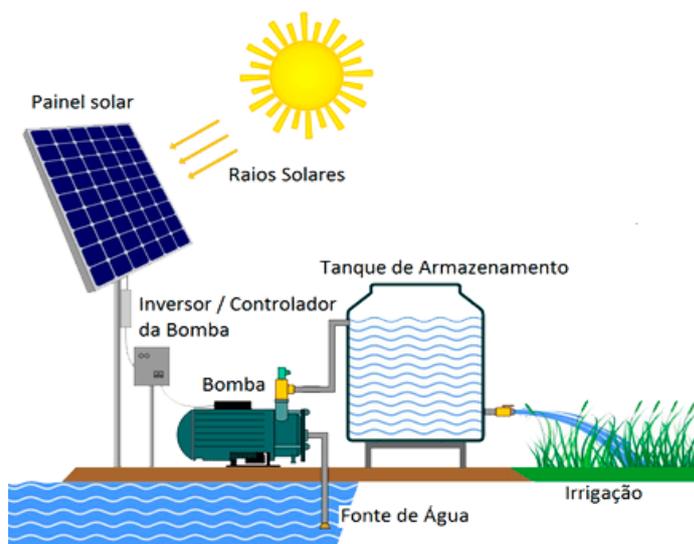


Figura 3. Sistema fotovoltaico autônomo sem armazenamento de carga.  
Fonte: Parksol, 2019.

### 3.2.2 Sistema on-grid

O sistema *on-grid* é necessariamente interligado à rede elétrica da concessionária. Normalmente não é necessário o uso de baterias. A energia gerada pode ser consumida pela carga ou injetada na rede elétrica, fazendo que cada sistema fotovoltaico conectado à rede seja uma unidade geradora de eletricidade (PINHO; GALDINO, 2014).

Estes sistemas utilizam grandes números de painéis fotovoltaicos, e não utilizam armazenamento de energia pois toda a geração é entregue diretamente a rede. Este sistema representa uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual está conectado. Todo o arranjo é conectado em inversores e logo em seguida guiados diretamente na rede. Estes inversores devem satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que a rede não seja afetada. (CRESESB, 2006, p.23).

A Figura 4, mostra como funciona um sistema interligado à rede de distribuição da concessionária. Nesse sistema há necessidade de um medidor bidirecional, que mede a energia fornecida à rede pela unidade geradora e a energia consumida pela carga nos momentos em que não há geração.

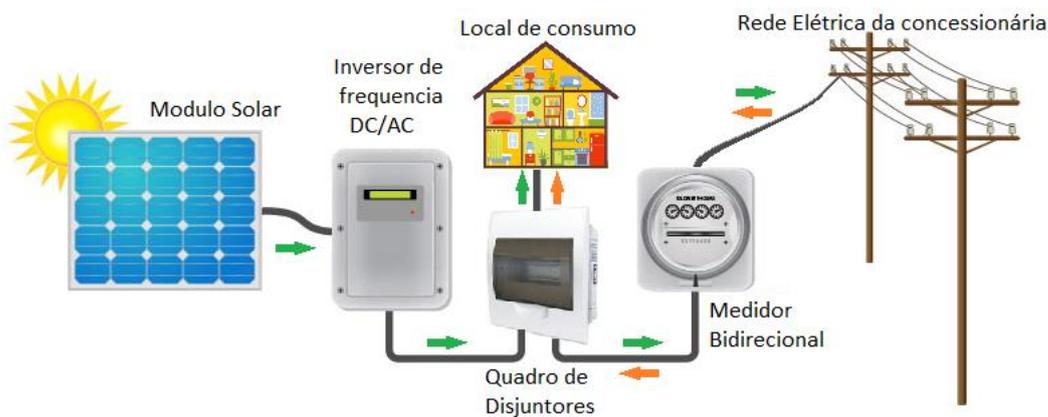


Figura 4. Sistema fotovoltaico interligado a rede de distribuição (*on-grid*).  
Fonte: Cresesb, 2019.

### 3.3 Pannel solar

O pannel solar é uma junção de várias células fotovoltaicas conectadas em série ou em paralelo para se obter as tensões e correntes desejadas. Cada célula produz cerca de 0.5 V. Dessa forma um pannel de 18 V possui 36 células ligadas em série. Na célula fotovoltaica é onde ocorre o processo de conversão da energia solar em eletricidade, o efeito fotoelétrico (LOPES, 2012). A Figura 5 representa um pannel solar formado por várias células fotovoltaicas interligadas.

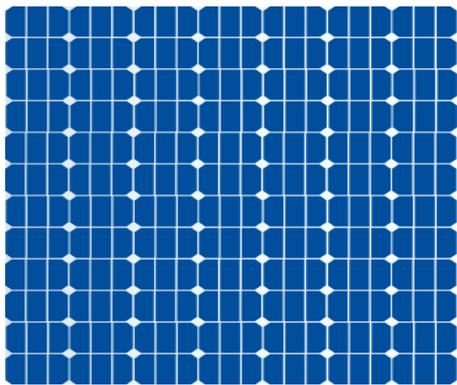


Figura 5. Painel solar com 84 células fotovoltaicas.

Fonte: Solarvoltenergia, 2019

O efeito fotoelétrico foi descoberto pelo físico Henrich Hertz por volta de 1887. Quando um elétron é atingido por luz com comprimento de onda suficientemente pequeno, ele ganha energia suficiente para escapar do condutor. Em 1905, Albert Einstein propôs a quantização dessa energia capaz de ejetar imediatamente um elétron de uma superfície. Dessa forma a chamada física moderna propõem que essa energia está concentrada em fótons e não distribuída pela onda eletromagnética. Portanto o efeito fotoelétrico acontece no momento em que o elétron é atingido por esse fóton de luz (ALMEIDA, 2015).

“Atualmente, o silício é o mais importante material semicondutor para conversão fotovoltaica de energia solar; também é o material básico para toda a indústria eletrônica.” (PALZ, 2002. P. 240).

O semicondutor é um material que sua condutividade está situada entre os extremos de um material isolante e de um material condutor. Uma outra característica dos semicondutores é o aumento da condutividade com a temperatura. No entanto, o que possibilita a fabricação de células fotovoltaicas utilizando semicondutores, como o silício e o germânio é a possibilidade dos elétrons de seu átomo saltarem da banda de valência para banda de condução com a energia cinética absorvida do impacto com os fótons de luz. Esses elétrons e lacunas podem se mover dentro dos materiais aumentando sua condutividade elétrica (PINHO; GALDINO, 2014).

### 3.4 Baterias

As baterias são dispositivos usados para o armazenamento de carga. Seu uso se faz necessário principalmente em sistemas isolados da rede elétrica. É nas baterias que fica

armazenada a energia para o abastecimento das cargas em períodos em que não há geração nos painéis fotovoltaicos (PINHO; GALDINO, 2014).

Segundo a fabricante de baterias Heliar, o modelo ilustrado na Figura 6 tem capacidade de 200 Ampere/hora para descarga em 10 horas, e tem vida útil estimada em 4 anos.



Figura 6. Bateria estacionária de chumbo-cálcio-prata DF4100  
Fonte: Neosolar, 2019.

As baterias armazenam energia elétrica na forma química. Há uma perda significativa de energia no processo de carga e descarga das baterias devido às reações químicas envolvidas nesse processo. A capacidade de geração dos painéis fotovoltaicos deve ser dimensionada levando em conta essas perdas (LOPES, 2012).

A bateria de estacionária de chumbo-ácido é a que tem melhor custo benefício para sistemas fotovoltaicos, por isso é a mais utilizada no Brasil atualmente. Um fator importante é o gerenciamento de carga e descarga das baterias, porque esse processo influencia diretamente na vida útil das baterias. Descargas acima de 50% a 60% são consideradas descargas profundas, essas descargas diminuem muito a vida útil das baterias.

### 3.5 Controlador de carga

O controlador de carga é um dispositivo que está presente em quase todos os sistemas fotovoltaicos. Sua principal característica é proteger o banco de baterias, além de aumentar a eficiência do sistema fotovoltaico. O controlador de carga atua de forma que não

haja sobrecarga nas baterias e nem descargas inferiores a um nível de segurança ajustado (SOUZA, 2015).

As principais funções do controlador de carga são bloquear a corrente reversa e prevenir a sobrecarga das baterias. Funções adicionais do controlador, também chamado de regulador fotovoltaico: proteger a sobrecarga elétrica, prevenir o excesso de descarga e sinalizar o estado da bateria e fluxo de carga através de mostrador. (LOPES, 2012, p. 179).

A figura 7, mostra um controlador de carga para sistemas *on-grid* fabricado pela empresa Sunyoba, modelo MPPT20 que trabalha com sistema PWM.



Figura 7. Controlador de carga  
Fonte: Solarproengenharia, 2019.

Na especificação de um controlador de carga deve-se observar para qual tipo de bateria ele foi projetado. Um controlador de carga que foi projetado para baterias de Chumbo-ácido pode não funcionar com a mesma eficiência em baterias de Níquel-Cádmio. Outro fator importante é verificar os valores de tensão e corrente de operação do sistema, o controlador de carga deve suportar as correntes e tensões de pico tanto na entrada quanto na saída (PINHO; GALDINO, 2014).

Os controladores de carga mais usados são os (*Pulse Width Modulation – Modulação de largura de pulso*) PWM, e o (*Maximum Power Point tracking –*

Rastreamento de ponto de máxima potência ) MPPT. Os controladores PWM são os mais utilizados devido o seu menor custo, no entanto sua eficiência é menor quando comparado aos controladores MPPT. A diferença entre os dois controladores é que o PWM não consegue entregar às baterias toda potência gerada pelos painéis fotovoltaicos nos momentos de máxima geração ou  $V_p$  (tensão de pico), já os controladores MPPT conseguem entregar toda potência gerada nos momentos de pico mantendo a tensão nos terminais da bateria em níveis seguros (SOUZA, 2015).

### **3.6 Inversores**

O inversor é responsável pela conversão de corrente contínua em corrente alternada e vice e versa. O inversor deve fornecer na sua saída tensão com amplitude, frequência e conteúdo harmônico compatíveis com a necessidade da carga (PINHO; GALDINO, 2014).

Existem basicamente dois tipos de inversores: Os inversores para sistemas isolados, e os inversores para sistemas conectados à rede também conhecidos como inversores síncronos.

O inversor do tipo isolado é útil para converter CC proveniente de bateria para CA, alimentando equipamentos, motores etc. O inversor síncrono pode ser usado para converter a saída CC de um módulo fotovoltaico ou uma célula de combustível em energia CA, para ser adicionada a rede de distribuição elétrica convencional (rede elétrica da concessionária). (LOPES, 2012, p. 190).

Segundo a fabricante de inversores Fronius (2019), seus inversores são confiáveis e eficientes, com potências que variam de 1,5 a 27 KW. A Figura 8 é de um inversor do modelo PRIMO, ideal para aplicações residenciais.



Figura 8. inversor solar Fronius Primo.  
Fonte: Bluesol, 2019.

O inversor síncrono é de alta complexidade e custo mais elevado quando comparado com o inversor autônomo. A resolução normativa N° 482/ANEEL, de abril de 2012, estabeleceu uma série de condições para uma mini geração ter acesso à rede de distribuição elétrica. Dentre essas condições estão o sincronismo da frequência e tensão com a rede elétrica. Também o fato de que essa microunidade geradora deve se desconectar da rede no caso de falta de energia. Evitando assim que a rede esteja energizada no caso de alguma eventual manutenção por parte da concessionária. A atual tecnologia dos inversores síncronos foi fundamental para que um sistema de geração fotovoltaica fosse conectado a rede elétrica de distribuição elétrica.

### **3.7 Sistema de controle**

“Um sistema de controle consiste em subsistemas e processos (ou plantas) construídos com o objetivo de se obter uma saída desejada com um desempenho desejado, dada uma entrada especificada.”(NISE, 2012, p. 2).

Portanto, o presente trabalho desenvolveu um sistema cuja saída desejada é o posicionamento automático dos painéis solares, buscando sempre uma posição de maior incidência dos raios solares. As entradas vão ser sinais elétricos emitidos por sensores de luz LDR, e um sistema mecânico controlado por um Arduino.

De acordo com Groover (2011) um sistema automatizado possui três elementos, que são: a energia para execução do processo; um programa de instrução que direcione os processos e um sistema de controle que execute as instruções.

foi desenvolvida uma lógica de controle que é executada pelo Arduino conforme (apêndice A), com isso o sistema define as ações necessárias através de um sistema mecânico de posicionamento. O diagrama da Figura 9 mostra de forma genérica a distribuição dos componentes do sistema de controle.

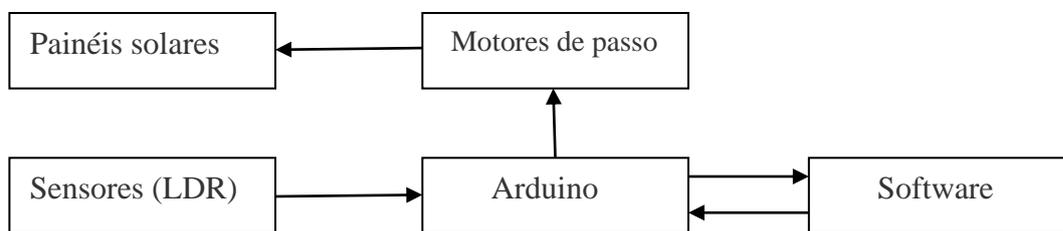


Figura 9. Diagrama de blocos do sistema de controle.

### 3.7.1 Arduino

O Arduino foi desenvolvido na Itália em 2005 por Massimo Banzi e David Cuartielles. Consiste em uma plataforma eletrônica que pode ser utilizada para o desenvolvimento de projetos com baixa e alta complexidade (HACHUCHE, 2012).

O Arduino pode ser comparado a um computador ou um controlador lógico programável (CLP), com capacidade operacional limitada. A Figura 10 ilustra o Arduino UNO, idêntico ao utilizado no projeto.

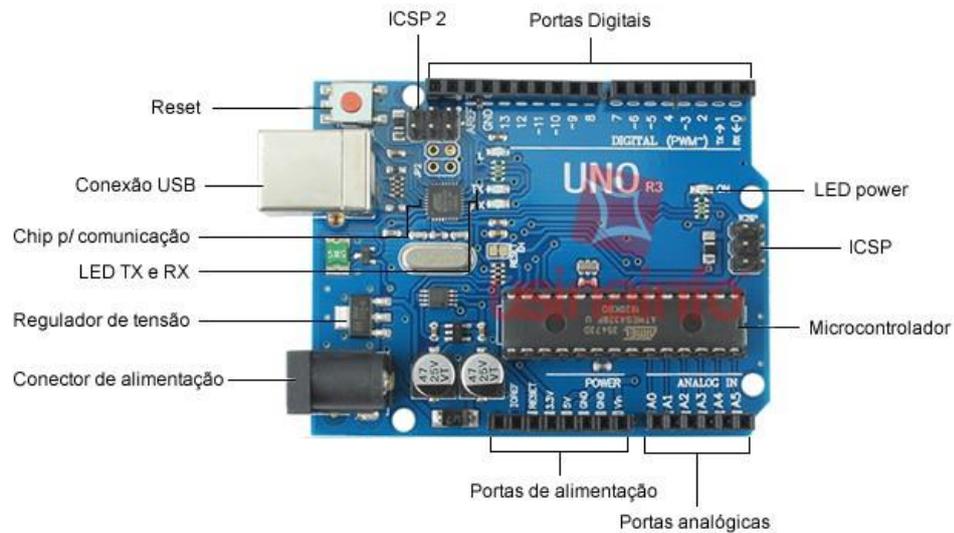


Figura 10. Arduino UNO  
 Fonte: Usinainfo, 2019.

Segundo Roberts (2013) o Arduino é um microcontrolador programável que possui entradas e saídas, tanto digitais como analógicas. A placa do Arduino é constituída por um microprocessador Atmel, um cristal ou oscilador, um relógio de pulso, ele também possui um regulador de tensão de 5V para controlar a tensão de alimentação do dispositivo.

Para programar o Arduino (fazer com que ele faça o que você deseja), você utiliza o IDE dele, que é um software livre que lhe permite programar na linguagem que ele entende. No caso do Arduino, a linguagem é baseada em C/C++ e pode até ser estendida por meio de bibliotecas C++. O IDE permite que você escreva um programa de computador, que é um conjunto de instruções passo a passo do qual você, então, deverá fazer o upload para o Arduino. A seguir, o seu Arduino executará essas instruções e interagirá com o que quer que você tenha conectado a ele (ROBERTS, 2013. P 28).

O Arduino é o dispositivo responsável pelo controle do sistema de posicionamento do painel solar. O Arduino executa as instruções do programa levando em consideração as variáveis medidas pelos sensores de luz (LDR), com isso gera uma saída que implica na movimentação dos painéis solares através de um sistema mecânico. Foi utilizado dois motores de passo para essa movimentação.

### 3.7.2 Sensor de luz

Sensores são dispositivos sensíveis a algum tipo de energia, pode ser térmica, cinética, velocidade, corrente, pressão, luminosa e várias outras formas de energia. Os sensores podem ser analógicos, onde pode assumir qualquer valor na sua saída que esteja dentro da faixa de operação para que foi construído, e podem ser digitais, onde sua saída assume apenas dois valores zero e um (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

O sensor que foi utilizado no projeto é o (Resistor dependente de luz) LDR, apresentado na Figura 11, que é um sensor analógico.

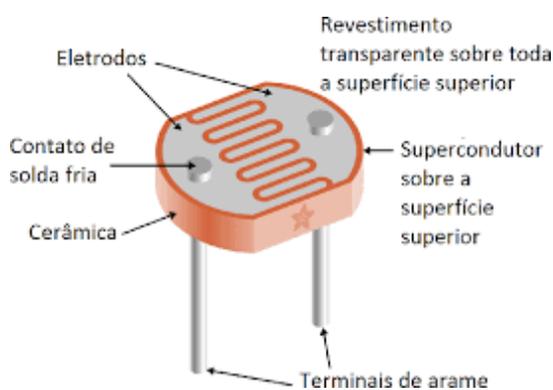


Figura 11. Sensor LDR

Fonte: picclick, 2019.

Esse sensor é um resistor construído geralmente de sulfeto de cádmio, onde sua resistividade muda de acordo com a intensidade de luz incidente sobre ele. Na ausência de luz sua resistência chega na escala de muitos mega ohms, e quando exposto a luz sua resistência reduz a algumas centenas de ohms.

O LDR é um dispositivo simples e muito utilizado, também possui um custo muito baixo. Porém, apresenta um tempo de reposta lento, sendo inviável sua utilização em sistemas que necessitam de uma resposta rápida, que não é o nosso caso.

O tempo de resposta de um fotorresistor é representado como o tempo necessário para a condutância subir a 63% do valor de pico após a célula ter sido iluminada (tempo de subida), e o tempo necessário para condutância descer a 37% do valor de pico após ter sido removida a luz (tempo de descida). (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011. P 63).

No projeto foi utilizado quatro sensores do tipo LDR, que foram conectados nas portas analógicas A0, A1, A2, A3, do Arduino. O arranjo dos sensores foi pensado de forma que o processador saiba para qual sentido girar o motor, buscando manter a placa solar sempre perpendicular em relação ao sol. A Figura 12 mostra os sensores LDR que são responsáveis pelo movimento dos motores.

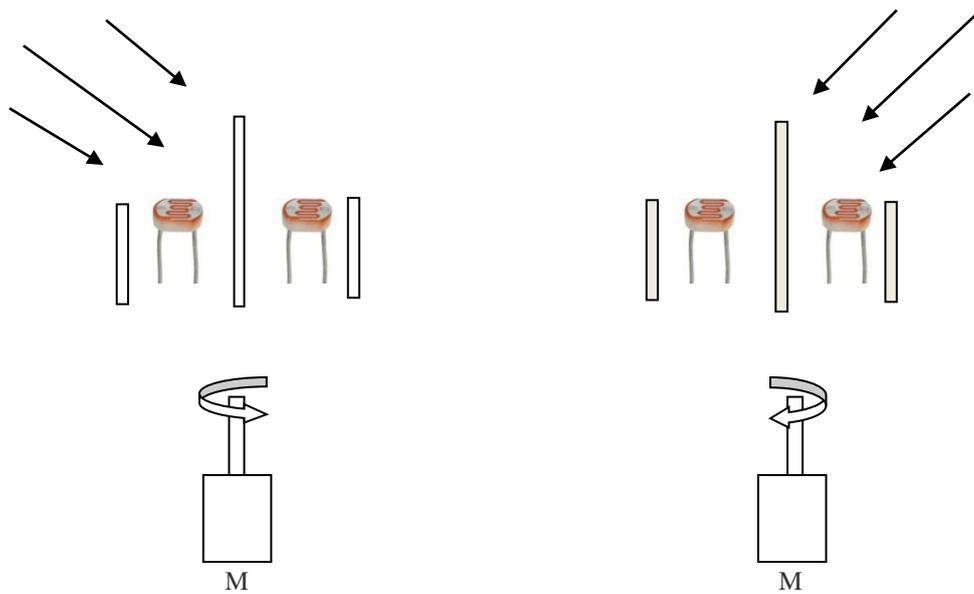


Figura 12. Arranjo dos sensores

A Figura 13, mostra o circuito elétrico dos sensores. Foi desenvolvido um circuito com divisor de tensão para limitar a corrente no microcontrolador, evitando assim qualquer dano por sobrecorrente.

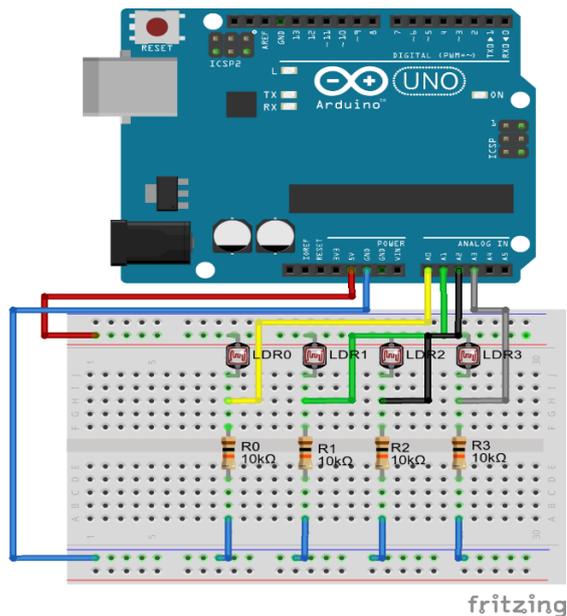


Figura 13. Circuito elétrico dos sensores

### 3.7.3 Motor de passo

Os motores de passo possuem singularidades que os tornam essenciais para certas aplicações. Um motor de passo é capaz de girar com uma velocidade pré-determinada independentemente da carga, desde que essa não exceda a especificação de torque do motor. Uma outra característica importante é que seu eixo gira em incrementos angulares ou passos, dessa forma o controle de giro do motor pode ser feita de maneira suave e precisa. Os motores de passo também possuem uma característica chamada de retenção de torque, isso significa que seu eixo fica parado mesmo submetido a uma certa carga (tradução nossa) .

Os motores de passo são oferecidos com uma ampla variedade de modelos e configurações. Além das configurações de relutância variável, há também as de ímã permanente e as híbridas. O uso de ímã permanente combinados com uma geometria de relutância variável pode aumentar significadamente o conjugado e a exatidão de posicionamento de um motor de passo (KINGSLEY, 2014, p. 495).

Um motor de passo é constituído de um estator com ranhuras onde se localiza as bobinas, e o rotor que não possui enrolamento. Existem dois tipos de motores de passo, os de ímã permanente e os de relutância, o que diferencia os dois é que um possui um ímã permanente no rotor e o outro não (TORO, 2016).

A Figura 14 e 15 mostra os motores de que foram utilizados no projeto. Consultar anexos A e B.



Figura 14. Motor de passo NEMA23  
Fonte: Eletrogate, 2019.

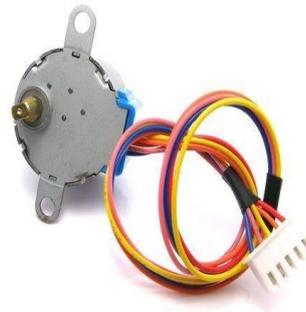


Figura 15. Motor de passo 28byj48  
Fonte: Eletrogate, 2019.

### 3.7.4 Drivers para motor de passo

Os drivers para motor de passo são dispositivos eletrônicos que auxiliam no funcionamento do motor. No projeto foi utilizado o driver TB6600 para o acionamento do motor NEMA23, que é específico para motores bipolares, e um driver com o microcontrolador ULN2003 específico para o motor de passo 28byj48 unipolar de cinco fios.

O driver TB6600 possui entradas digitais para controlar o acionamento do motor, a cada pulso na entrada ele avança um passo com o motor. O driver apresenta dois parâmetros de configuração: um deles é a corrente elétrica que alimenta as bobinas do motor, e o outro é o tamanho dos passos do motor, consultar ANEXO C . O motor NEMA23 possui passos iguais a 1.8 graus, portanto a cada duzentos passos ele efetua uma volta completa. No projeto o driver foi configurado para  $\frac{1}{4}$  de passo e a corrente elétrica limitada em 3.3 amper.

O driver com microcontrolador ULN2003, que é específico para o motor 28byj48, foi acionado usando a biblioteca Stepper.h, que é própria do Arduino e auxilia no acionamento de motor de passo. As Figuras 16 e 17 mostram os drivers utilizados no projeto.

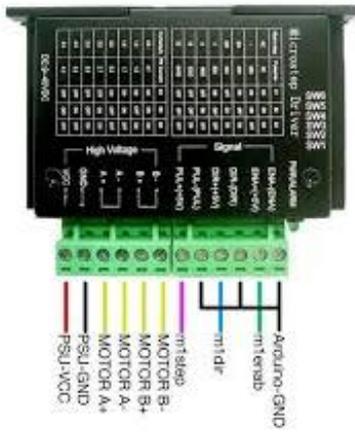


Figura 16. Driver TB6600  
 Fonte: Eletrogate (2019)



Figura 17. Drivers ULN2003  
 Fonte: Eletrogate (2019)

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente projeto foi desenvolvido na cidade de Goiânia, estado de Goiás, no ano de 2019. O desafio surgiu da necessidade de se buscar mecanismos que tornem a geração de energia fotovoltaica mais eficiente. O projeto consiste em um sistema automático do posicionamento do painel solar.

Um dos objetivos do projeto foi comparar o sistema fotovoltaico de placa fixa com o de posicionamento automático. Foi feita uma ampla pesquisa bibliográfica para determinar quais componentes seriam necessários para o desenvolvimento do projeto, após essa seleção, cada componente foi estudado a fundo. O próximo passo foi desenvolver uma estrutura que possibilitasse movimentar a placa solar em dois eixos. A Figura 18 mostra o protótipo já desenvolvido.



FIGURA 18. Protótipo do sistema automático de posicionamento de painel solar.

Com o sistema mecânico pronto, o próximo passo foi desenvolver o sistema de automação. Para esse sistema foi utilizado:

- Um Arduino Uno;
- Quatro sensores LDR;

- Dois motores de passo;
- Dois drivers para motor de passo;
- Duas placas solar de 25W;
- Quatro resistores de 10K ohm;
- Computador;
- Fonte de tensão;
- Protoboard;
- Um multímetro digital;
- Cabos de ligação e fita isolante;

A Figura 19 mostra os quatro sensores LDR, é dois para cada motor. Através das informações que o programa recebe desses sensores, é possível que o sistema tome a decisão de qual motor acionar.



Figura 19. Sensores LDRs implementados no sistema.

A figura 20 mostra a protoboard, drivers e o Arduino Uno juntamente com a maior parte do circuito do sistema.

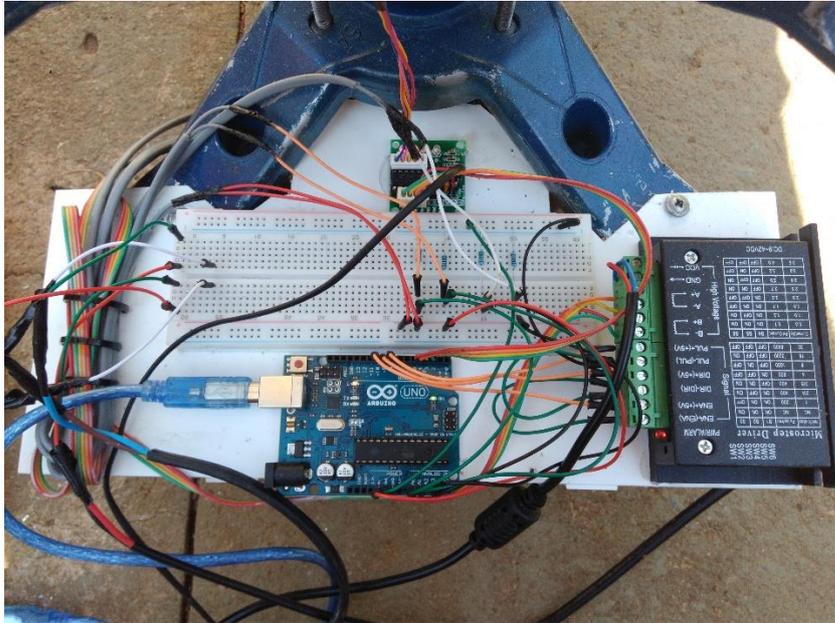


Figura 20. Circuito elétrico do sistema de automação.

A figura 21 mostra os motores e sua localização no projeto. Um para movimentar o eixo na vertical, e um o horizontal.

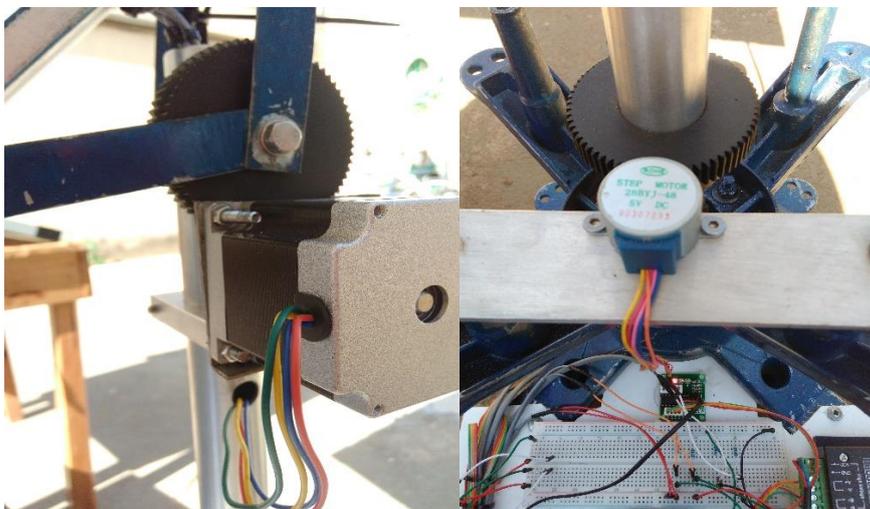


Figura 21. Motor de passo e sua localização no projeto.

Com toda estrutura física montada o próximo passo foi o desenvolvimento do software.

A linguagem de programação foi a C++ com pequenas adaptações para o Arduino (CHAVIER, 2019). Código disponível no (apêndice A).

Foram efetuados vários testes e simulações, o protótipo respondeu perfeitamente a todas situações que foi submetido.

No dia 10 de novembro de 2019, foi efetuado o teste final. O protótipo foi colocado ao ar livre às 7:30, juntamente com uma placa fixa de mesma potência (25W). Foram efetuadas medições de tensão e corrente simultaneamente em ambas as placas a cada 30 minutos, as medições foram encerradas às 17:30. Também foram tiradas fotos para acompanharmos o movimento da placa automatizada. Disponível no (apêndice B).

Os dados coletados de ambos os sistemas foram analisados graficamente. O gráfico 1 é referente as tensões do período das 7:30 as 17:30.

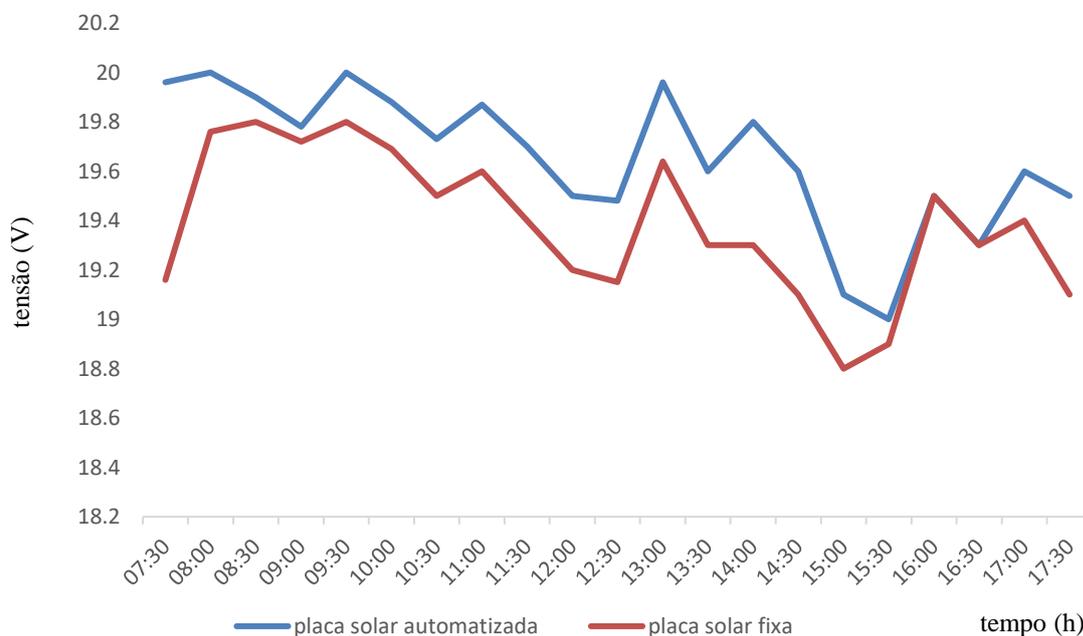


Gráfico: 1. Tensão (V) x tempo(h).

De acordo com Reis (2018) no Hemisfério sul os painéis devem ficar virados ao norte. Existe um consenso que a inclinação ideal deve ser igual a latitude de cada região. A

latitude de Goiânia é de 16°. Reis (2018) resalta que com a inclinação igual a latitude se tem uma geração uniforme durante todo ano. Contudo durante o verão se consegue maior eficiência com inclinações menores em torno de 10°, e no inverno com inclinações maiores em torno de 10° levando em consideração a inclinação da latitude, isso devido à verticalização dos raios solares no inverno. O painel solar fixo utilizado no projeto foi instalado virado para o norte com inclinação de 25°, levando em conta que o experimento foi feito no inverno.

O Gráfico 2 é referente as correntes elétricas gerada pelas placas solares durante o período analisado.

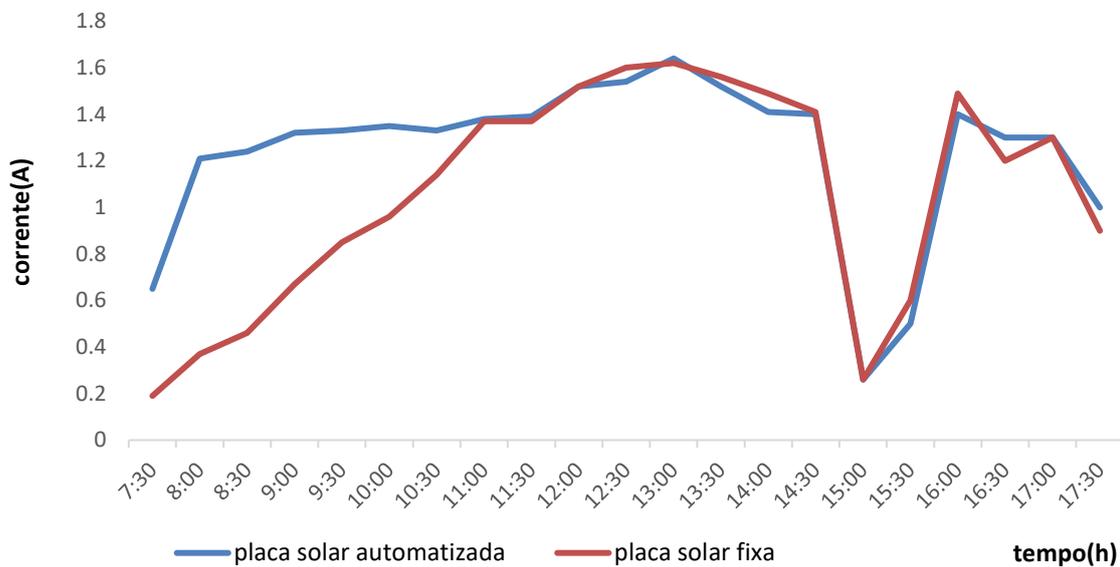


Gráfico 2. Corrente (A) x tempo (h).

No período das 14:30 às 16:00 horas houve uma queda considerável na geração dos painéis. Nesse período os painéis foram cobertos por nuvens carregadas. Com os dois dados anteriores foi possível obtermos a potência gerada por cada sistema. O Gráfico 3 mostra essa potência durante o período analisado.

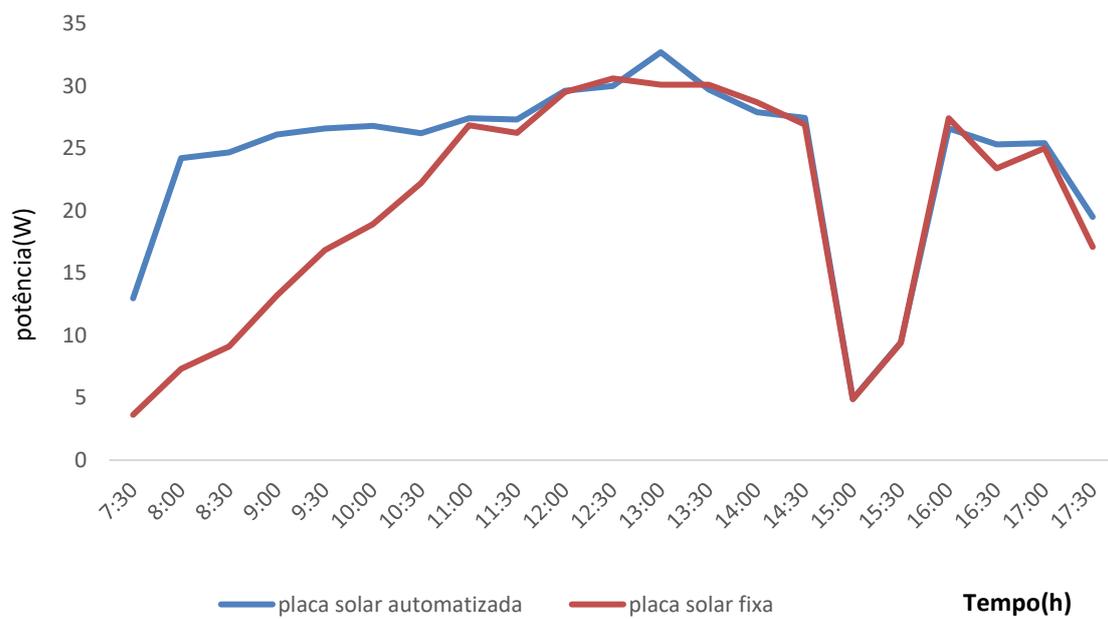


Gráfico 3. Potência (W) x tempo(h).

Para uma melhor análise dos resultados foi feito uma média do período analisado. O Gráfico 4 mostra as três variáveis analisadas.

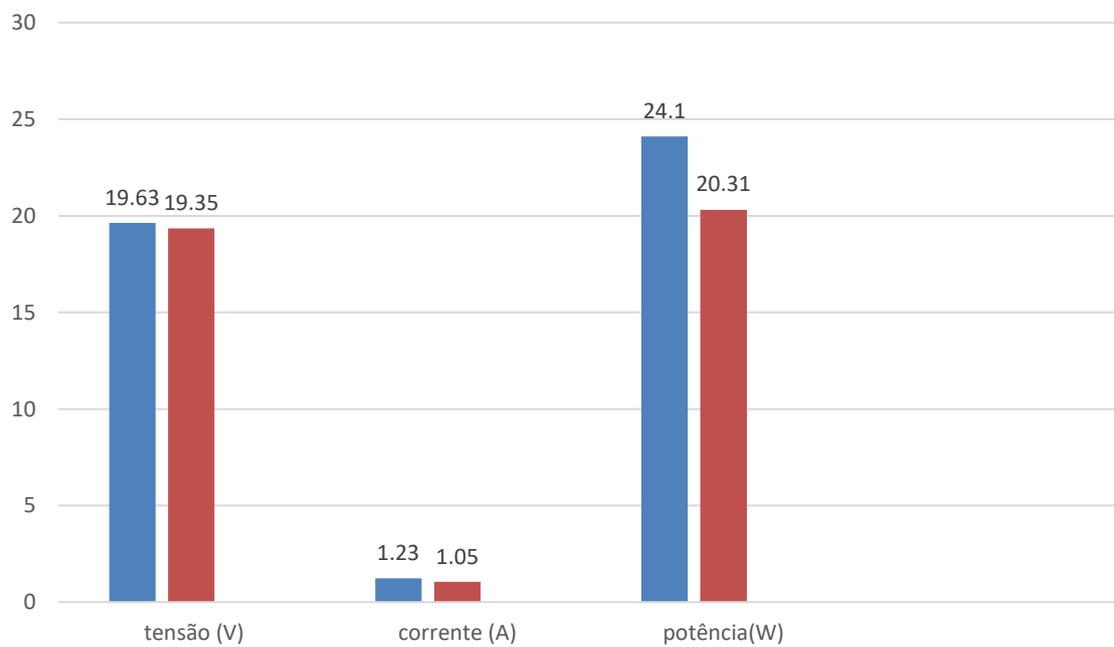


Gráfico 4. Média do período

Esses dados foram obtidos através de medições manuais usando um multímetro digital Hikari HM2030. Com isso verificamos que o sistema automatizado gerou 15,73% de potência média a mais que o sistema fixo.

## 5 CONCLUSÕES

A proposta inicial do projeto era melhorar a eficiência de geração de um sistema fotovoltaico através de um processo automático de posicionamento do painel solar. O protótipo desenvolvido atendeu bem as necessidades iniciais do projeto, contudo necessita de melhorias principalmente na parte mecânica. Seria muito bom contar com um engenheiro mecânico para projetos assim futuramente. As limitações da parte de automação ficaram evidenciadas devido à fragilidade dos componentes, principalmente no aspecto de resistência a alta temperatura: alguns danificaram na exposição ao sol.

Com a análise dos dados obtidos, é possível notar que houve uma melhora na eficiência do sistema. Em termos percentuais o sistema automatizado gerou 15.72% de potência média a mais que o sistema de placa fixa. O sistema fixo foi instalado de maneira a obter o melhor rendimento possível de acordo com as fontes pesquisadas quanto a posicionamento e inclinação do painel fotovoltaico.

Houve uma forte queda de geração dos sistemas no período das 14:30 as 16:00 horas. Foi devido à presença de nuvens carregadas, mas no entanto esse fenômeno não interferiu na diferença de potência média gerada entre os dois sistemas. Como foi observado no Gráfico 3 , a curva dos dois sistemas nesse período é quase idêntica.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. B. (Brasil). **Física moderna**. São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-efeito-fotoeletrico.htm>>. Acesso em: 24 abr. 2019 as 17:14
- CHAVIER, Luís Fernando. **Programação para arduino-primeiros passos**. 2019. Disponível em: <<https://www.circuitar.com.br/tutoriais/programacao-para-arduino-primeiros-passos/>>. Acesso em: 17 nov. 2019
- FLAVIO (Brasil). **Arduino: brincando com ideias**. São Paulo, 2019. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=t\\_m4XrHlawI](https://www.youtube.com/watch?v=t_m4XrHlawI)>. Acesso em: 01 out. 2019
- GROOVE, M. P. **Automação Industrial e Sistema de manufatura**. São Paulo: Pearson, 3ª Ed, 2011. 581 p..
- HELERBROCK, R. (Brasil). **Produto/painéis solares**. São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://www.paineisglobobrasil.com.br/produtos/paineis-solares/>>. Acesso em: 01 abr. 2019 as 23:00
- KINGSLEY, F. **Maquinas elétricas**. 7ª Ed. New York: AMGH, 2014. 708 p.
- LOPES, A. R. **Energia solar para produção de eletricidade**. São Paulo: artliber, 2012. 229
- MORE: **Mecanismo online para referências**, versão 2.0. Florianópolis: UFSC Rexlab, 2013. Disponível em: <<http://www.more.ufsc.br/>>. Acesso em: 11 de novembro de 2019 as 10:00
- MME, (2015). **Fonte solar será responsável por pelo menos 7 mil MW na matriz energética brasileira até 2024**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/>> acessado em 15/03/19 as 22:20
- MIZRAHI, V.V. **Treinamento em linguagem c++**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006. 234 p.
- MCRBERTS, M. **Arduino básico**. 2. ed. São Paulo: Novatec Editora Ltda, 2015. 506 p.
- NISE, N. S. **Engenharia De Sistemas De Controle**. Califórnia: LTC, 6ª Ed, 2011. 745 p.
- PALZ, W. **Energia solar fontes alternativas**. Bruxelas: Hemus, 2002. 357 p
- PALETTA, F. et al. **Energias Renováveis**. São Paulo: Blucher, 3ª ed, 2015. 109 p.
- REIS, Pedro. **Como saber a inclinação do painel solar fotovoltaico**. 2018. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/como-saber-inclinacao-painel-solar-fotovoltaico/>>. Acesso em: 17 nov. 2019

SOUZA, R.(Brasil) **Introdução aos sistemas solares**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://www.bluesol.com.br>>. Acesso em 29/03/19.

**THOMAZINI, D; ALBUQUERQUE, P. U. B.** Sensores Industriais Fundamentos e aplicações; -8<sup>a</sup>. Ed. rev. e aum; São Paulo: Èrica, 2011. 224 p.

TORO, V. **fundamentos de maquinas elétricas**. 1º Ed. Reinp. LTC, 2016. 550 p. PINHO, J, T. GALDINO, M, A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>. Acessado em 30/03/19.

**APÊNDICE A.** Código do programa executado pelo Arduino para o funcionamento do sistema automático de posicionamento do painel solar.

```

#include <Stepper.h > //Biblioteca do próprio Arduino para motor de passo
#define LDR0 A0 //sinal do sensor 0 na porta analógica A0
#define LDR1 A1 //sinal do sensor 1 na porta analógica A1
#define LDR2 A2 //sinal do sensor 2 na porta analógica A2
#define LDR3 A3 //sinal do sensor 3 na porta analógica A3
#define tensao1 A4
#define tensao2 A5
#define saida2 2 //saída digital do motor1
#define saida3 3 //saída digital do motor1
#define saida4 4 //saída digital do motor1
#define saida5 5 //saída digital do motor1
#define saida8 8 //saída digital de controle de passos do motor2
#define saida9 9 //saída digital de controle da direção do motor2
#define saida10 10 //saída digital de travamento do motor2
const int mp1 = 2040; //Quantidade de passos do motor1 em uma volta
int passos1 = 0 ;
int passos2 = 0 ;
Stepper motor1( mp1 , saida2 , saida4 , saida3 , saida5 );
float valorLDR0=0; // variável para guardar o valor lido na porta analógica A0
float valorLDR1=0; // variável para guardar o valor lido na porta analógica A1
float valorLDR2=0; // variável para guardar o valo lido na porta analógica A2
float valorLDR3=0; // variável para guardar o valo lido na porta analógica A3
float D1; // resultado da dvisão ( valorLDR0 / valorLDR1 )
float D2; // resultado da dvisão ( valorLDR2 / valorLDR3 )
int GMD1 = 0 ; // Variável girar motor1 para direita
int GME1 = 0 ; // Variável girar motor1 para esquerda
int GMD2 = 0 ; // Variável girar motor2 para direita
int GME2 = 0 ; // Variável girar motor2 para esquerda
int i = 0 ;
int x = 0 ;

void setup() {
  pinMode ( LDR0 , INPUT ); //pino A0 é uma entrada analógica
  pinMode ( LDR1 , INPUT ); //pino A1 é uma entrada analógica
  pinMode ( LDR2 , INPUT ); //pino A2 é uma entrada analógica
  pinMode ( LDR3 , INPUT ); //pino A3 é uma entrada analógica
  pinMode ( saida2 , OUTPUT ); //pino2 é uma saída digital
  pinMode ( saida3 , OUTPUT ); //pino3 é uma saída digital
  pinMode ( saida4 , OUTPUT ); //pino4 é uma saída digital
  pinMode ( saida5 , OUTPUT ); //pino5 é uma saída digital
  pinMode ( saida8 , OUTPUT ); //pino8 é uma saída digital

```

```

pinMode ( saida9 , OUTPUT );           //pino9 é uma saída digital
pinMode ( saida10 , OUTPUT );         //pino10 é uma saída digital
digitalWrite ( saida10 , LOW );
Serial.begin (9600);
}

// controle motor 1 eixo vertical

void loop() {
  for ( i=0 ; i<3 ; i++ ){             //laço para fazer a medida dos sensores e
  decidir para qual lado girar o motor

    valorLDR0 = analogRead (LDR0);     //guardar o valor lido na porta analógica A0
    Serial.println (valorLDR0);
    delay (500);
    valorLDR1 = analogRead (LDR1);     //guardar o valor lido na porta analógica A1
    Serial.println (valorLDR1);
    delay (500);
    D1 = valorLDR0 / valorLDR1;         //com essa divisão e possível saber qual
    sensor está recebendo mais incidência dos raios solares

    Serial.print ("Valor da divisão motor1 = ");
    Serial.println ( D1 );
    if ( D1 < 0.99 ){                   //será realizada três medições consecutivas
    antes de tomar a decisão de acionar o motor

      GMD1 = GMD1+1 ;
      Serial.print ("valor GMD1 = ") ;
      Serial.println ( GMD1 ) ;
    }
    if ( D1 > 1 ) {
      GME1 = GME1+1 ;
      Serial.print ("valor GME1 = ") ;
      Serial.println ( GME1 ) ;
    }
  }
  if ( passos1 + 50 <= 800 ){           //laço para evitar que o seguidor solar fique
  girando em torno do seu eixo

    if ( GMD1 == 3 ){                   //confirmar se as três medições resultaram
    em um mesmo sentido de giro

      motor1.setSpeed (3);
      motor1.step(-50);
      passos1 = passos1 + 50 ;
    }
  }
  if ( passos1 -50 >= -800 ){
    if ( GME1 == 3 ){

```

```

motor1.setSpeed (3);
motor1.step(+50);
passos1 = passos1 - 50 ;
}
}
Serial.print ("passos do motor1 = ");
Serial.println ( passos1 );
GMD1 = 0 ;
GME1 = 0 ;
if ( passos1 == 800 ){
for ( i=0 ; i<7 ; i++){
delay (500) ;
motor1.setSpeed (3);
motor1.step(-50);
delay (500) ;
passos1 = passos1 - 50 ;
}
}
if ( passos1 == -800 ){
for ( i=0 ; i<7 ; i++){
motor1.setSpeed (3);
motor1.step(50);
delay (500) ;
passos1 = passos1 + 50 ;
}
}
}

```

//controle motor 2

```

for ( i=0 ; i<3 ; i++){
    valorLDR2 = analogRead (LDR2);           //guardar o valor lido na porta
    analógica A2 na variável valorLDR2

    Serial.println (valorLDR2);
    delay (500);
    valorLDR3 = analogRead (LDR3);           //guardar o valor lido na porta
    analógica A3 na variável valorLDR3

    Serial.println (valorLDR3);
    delay (500);
    D2 = valorLDR2 / valorLDR3;
    Serial.print ("Valor da divisão motor2 = ");
    Serial.println ( D2 );
    if ( D2 < 0.99 ){
        GMD2 = GMD2+1 ;
        Serial.print ("valor GMD2 = " );
        Serial.println ( GMD2 );
    }
    if ( D2 > 1 ){

```

```

    GME2 = GME2 + 1 ;
    Serial.print ("valor GME2 = ");
    Serial.println ( GME2 );
  }
}

if ( passos2 + 5 <= 220 ) {
  if ( GMD2 == 3 ){
    for ( x = 0 ; x<5 ; x++ ){
      //laço para girar o motor a direita depois
      das devidas validações

      digitalWrite ( saida8 , HIGH);
      delay ( 50 );
      digitalWrite ( saida9 , HIGH);
      delay( 50 );
      digitalWrite ( saida9 , LOW);
      delay ( 50 );
      passos2 = passos2 + 1 ;
    }
  }
}
if ( passos2 - 5 >= -220 ) {
  if ( GME2 == 3 ){
    for ( x = 0 ; x<5 ; x++ ){
      //laço para girar o motor a esquerda
      depois das devidas validações
      sensor está recebendo mais incidência dos raios solares
      digitalWrite ( saida8 , LOW );
      delay ( 50 );
      digitalWrite ( saida9 , HIGH );
      delay ( 50 );
      digitalWrite ( saida9 , LOW);
      delay ( 50 );
      passos2 = passos2 - 1 ;
    }
  }
}
Serial.print ("passos do motor2 = ");
Serial.println ( passos2 );
GMD2 = 0 ;
GME2 = 0 ;
}

```

APÊNDICE B. Avanço cronológico do sistema de posicionamento do painel solar.



**ANEXO A.** Referencias do motor NEMA23.

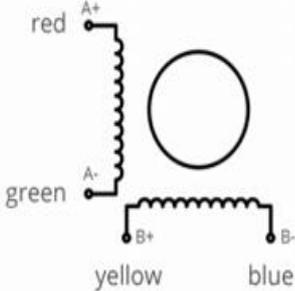


**STEPPER MOTOR**  
Model: WS23-0150-30-4

### SPECIFICATIONS

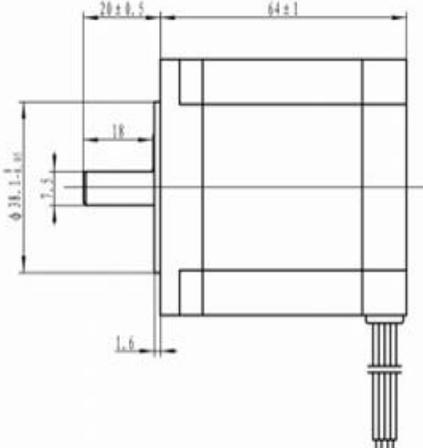
Standard	NEMA 23
Step angle	1.8° ±5%
Current / Phase	3.0A
Voltage / Phase	3.9V
Phase No.	2
Resistance	1.3 ±10% Ω
Insulation resistance	100MOhm (500V DC)
Inductance	2.2 ±20mH
Insulation class	B
Holding torque	15kgf.cm

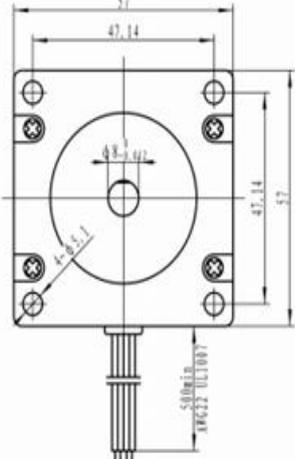
### DIAGRAM



### DIMENSIONS

UNIT: mm





**ANEXO B.** Referencias do motor de passo 28byj48.

Rated voltage :	5VDC
Number of Phase	4
Speed Variation Ratio	1/64
Stride Angle	5.625°/64
Frequency	100Hz
DC resistance	50Ω±7%(25°C)
Idle In-traction Frequency	> 600Hz
Idle Out-traction Frequency	> 1000Hz
In-traction Torque	>34.3mN.m(120Hz)
Self-positioning Torque	>34.3mN.m
Friction torque	600-1200 gf.cm
Pull in torque	300 gf.cm
Insulated resistance	>10MΩ(500V)
Insulated electricity power	600VAC/1mA/1s
Insulation grade	A
Rise in Temperature	<40K(120Hz)
Noise	<35dB(120Hz, No load, 10cm)
Model	28BYJ-48 – 5V

**ANEXO C.** Tabela para configuração dos parâmetros do driver TB6600, primeira coluna refere-se aos passos e a segunda a corrente máxima.

细分	1	2	3	电流	4	5	6
NG	ON	ON	ON	0.2A	ON	ON	ON
1	OFF	ON	ON	0.6A	OFF	ON	ON
1/2	ON	OFF	ON	1.2A	ON	OFF	ON
1/2	OFF	OFF	ON	1.8A	OFF	OFF	ON
1/4	ON	ON	OFF	2.5A	ON	ON	OFF
1/8	OFF	ON	OFF	3.3A	OFF	ON	OFF
1/16	ON	OFF	OFF	4.2A	ON	OFF	OFF
NG	OFF	OFF	OFF	5A	OFF	OFF	OFF

## DECLARAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO

Eu, Jones deiton martins Barbosa,  
Portador (a) da carteira de identidade nº 4312278-2, emitida pelo  
Dapc, inscrito (a) no CPF sob nº 013.029.471-33, residente e  
domiciliado(a) na rua Guadalquivir cd 25 Lt 21 C-II, setor  
três marias, na cidade de Goiânia, estado  
Goiás, telefone fixo ( ) e telefone celular  
(62) 982525979 e-mail: Jones seb @ hot mail . com, declaro, para  
os devidos fins e sob pena da lei, que o trabalho de conclusão de  
curso: sistema automático de posicionamento de  
painel solar, é uma produção de  
minha exclusiva autoria e que assumo, portanto, total responsabilidade por seu conteúdo.

Declaro que tenho conhecimento da legislação de Direito Autoral, bem como da  
obrigatoriedade da autenticidade desta produção científica. Autorizo sua divulgação e  
publicação, sujeitando-me ao ônus advindo de inverdades ou plágio e uso inadequado de  
trabalhos de outros autores. Neste termo, declaro-me ciente que responderei administrativa,  
civil e penalmente nos termos da lei 9.610, de fevereiro de 1998, que altera e consolida a  
legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

Pelo presente instrumento autorizo o Centro Universitário de Goiás, Uni-  
ANHANGUERA a disponibilizar o texto integral deste trabalho tanto na biblioteca, quanto  
em publicações impressas, eletrônicas/digitais e pela internet. Declaro ainda, que a presente  
produção é de minha autoria, responsabilizo-me, portanto, pela originalidade e pela revisão do  
texto, concedendo ao Uni-ANHANGUERA plenos direitos para escolha do editor, meios de  
publicação, meios de reprodução, meios de divulgação, tiragem, formato, enfim, tudo o que  
for necessário para que a publicação seja efetivada.

Goiânia 02 de Dezembro de 20 19.

Jones deiton martins Barbosa

(Nome e assinatura do aluno/autor)

## **SISTEMA AUTOMÁTICO DE POSICIONAMENTO DE PAINEL SOLAR**

**BARBOSA, Jones Cleiton Martins; OLIVEIRA, Álvaro Adelino**

**Aluno do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Goiás - Uni-ANHANGUERA. Professor orientador Ms. Do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Goiás Uni-ANHANGUERA.**

A proposta para o desenvolvimento desse projeto partiu da necessidade da geração de energia elétrica de uma maneira mais eficiente, esse sistema busca aumentar a eficiência da geração através de um sistema automático de posicionamento do painel solar. Foi necessário, para o desenvolvimento do sistema de controle conhecer de forma detalhada o funcionamento de cada componente. Foi desenvolvido um protótipo que possui dois eixos rotacionais, que permitiu o movimento da placa solar de acordo com o deslocamento do sol. O sistema de automação desenvolvido conta com quatro sensores posicionados estrategicamente nas extremidades da placa, dois motores de passo para rotacionar com precisão os eixos e um microcontrolador Arduino Uno. O desenvolvimento do software foi uma parte bem complexa do projeto, como é um protótipo, cabe ainda muitas melhorias principalmente na parte mecânica, mas de acordo com o que foi proposto o projeto atendeu bem as expectativas. Os dois sistemas foram analisados nas mesmas condições, tanto climáticas quanto geográficas. Com os dados obtidos foi possível notar uma eficiência maior do sistema de posicionamento automático.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geração. Eficiência. Automação.

