

APLICAÇÃO DE ARDUINO NO EXÉRCITO BRASILEIRO

Projeto de um rastreador solar de baixo custo para aumento da eficiência energética em placas solares

Ten Jefferson Adiniz Borges Ferreira

Sgt Silvanei da Silva Santos

RESUMO

As fontes de energias limpas e sustentáveis vem ganhando cada vez mais espaço no cenário nacional e internacional, o Brasil fechou o ano de 2022 entre os 10 primeiros países do mundo em geração fotovoltaica, o país superou 24 GW de capacidade instalada conforme mostrou o relatório da Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA). O projeto consiste na criação de um rastreador solar controlado por Arduino, de baixo custo, visando maximizar a eficiência da captação de energia solar ao longo do dia. O sistema utiliza sensores de luz para detectar a posição atual do sol e ajusta automaticamente a orientação de um painel solar para garantir que ele esteja sempre voltado para a fonte de luz.

O Arduino atua como o cérebro do sistema, processando dados dos sensores e controlando os motores responsáveis pelo movimento do painel. Essa solução oferece uma maneira eficiente de aproveitar a energia solar ao longo do dia, aumentando a produção de energia limpa e reduzindo a dependência de fontes de energia tradicionais. É um projeto simples que contribui para a sustentabilidade energética e pode ser adaptado para uso residencial, comercial ou industrial.

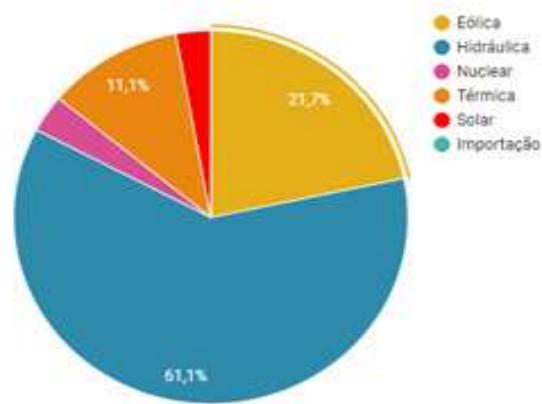
Palavras-chave: Seguidor Solar, Arduino, Energia Fotovoltaica, Sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

Em virtude de seus recursos naturais, o Brasil não teve grandes problemas no seu fornecimento energético, exceto em período esporádicos em decorrência das secas de rios, os quais são responsáveis pela maior porcentagem da produção de energia elétrica do país, resultantes da hidrelétricas. Isso é uma grande vantagem para o país que tem sua maior parte da capacidade energética oriunda de fontes não-poluentes. No entanto, cresce de importância que tal setor estratégico para o país não possua dependência exclusiva de um fonte energética. Nos últimos anos, com a regulamentação da

área de energia fotovoltaica, também houve um crescente aumento da energia solar, embora ainda represente apenas 1,3% da produção total do país, conforme consta na imagem abaixo retirada do site Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

Figura 1 - Gráfico de Geração Elétrica ONS



Fonte: imagem retirada do site da ONS(2023)

A era tecnológica tem uma busca incessante pela eficiência dos recursos, corroborando com este entendimento, procura-se neste trabalho com o uso de arduino obter maior eficiência na produção de energia fotovoltaica, por meio de um dispositivo de baixo custo. Dessa forma, dividimos o trabalho numa breve explanação contextualizando o cenário atual da produção de energia elétrica do país, em seguida uma descrição e o desenvolvimento do projeto que visa o aumento da eficiência das placas solares por meio do uso de arduino, por fim uma breve conclusão com a demonstração percentual de quanto isso representa em ganho de produção de energia elétrica.

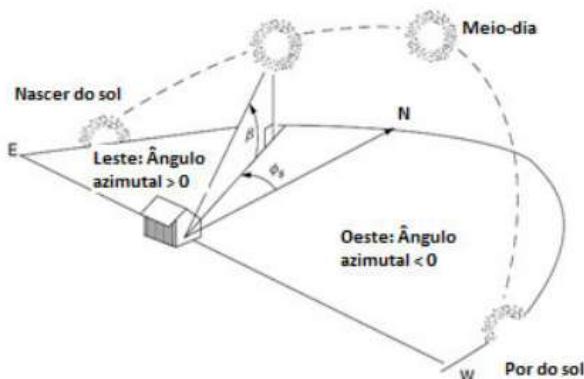
Criado em 2005, na Itália, o arduino é um microcontrolador de prototipagem eletrônica, versátil e com diversas possibilidades de emprego nas mais variadas áreas com uso de componentes eletrônicos, MCROBERTS, 2015. Ele é composto de software livre e hardware e tem finalidade o baixo custo, além disso é baseado em programação C/C++, sendo usados em diversas empresas e setores no mundo. Em consonância com os

assuntos abordados no curso Avançado de Eletrônica, realizado na Escola de Comunicações, o presente trabalho pretende apresentar uma forma de emprego do arduino para o aumento da eficiência da capacidade de geração elétrica por placas solares. Para isso, orienta-se por meio da metodologia de estudo de caso e revisão bibliográfica.

O desenvolvimento de um sistema rastreador necessita de considerações em relação à variação da radiação, que está diretamente relacionada à posição geográfica. Em suma, o princípio básico de um seguidor solar é permitir que o ângulo de incidência dos raios solares sejam sempre perpendiculares ao plano do módulo. Isso permite um melhor aproveitamento da energia solar incidente (J.-S. Ko, 2009) (M. Neves, 2009).

O ponto a ser analisado é a localização do sol durante o dia. Ela pode ser descrita em termos da altitude β e o ângulo azimutal ϕ_s , como apresentado na Figura 2 (M. Neves, 2009). O azimute é o ângulo da projeção do sol com o norte, enquanto a altitude solar é o ângulo que o sol faz com o plano horizontal. Figura abaixo: A posição do sol pode ser descrita pelo ângulo de altitude β e o seu ângulo azimutal ϕ_s (Masters, 2004).

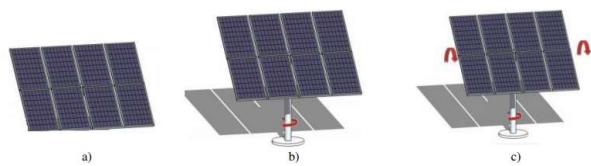
Figura 2 - A posição do sol descrita pelo ângulo de altitude β e o seu ângulo azimutal ϕ_s



Fonte: M. Neves, 2009

Durante a manhã o ângulo do azimute é positivo, quando o sol se encontra no leste, e negativo durante as tardes, quando o sol se encontra no oeste, estes ângulos são importantes para a construção do seguidor solar que se classificam quanto ao número de eixos rotativos, o tipo de estrutura para a sustentação do painel fotovoltaico e o tipo de controle para o seu movimento (Pinto, 2010), na Figura 3 é apresentada as classificações de seguidores solares quanto ao número de eixos rotativos:

Figura 3 - Classificação de painéis solares quanto ao número de eixos rotativos: a) painel estático – 0 eixos, (b) painel movido unidirecionalmente – 1 eixo, (c) painel movido bidirecionalmente - 2 eixos



Fonte: Pinto, 2010

- Classificação de painéis solares quanto ao número de eixos rotativos: a) painel estático – 0 eixos, (b) painel movido unidirecionalmente – 1 eixo, (c) painel movido bidirecionalmente - 2 eixos (Pinto, 2010).

As diferenças quanto a utilização de cada um dos casos anteriores são dadas pelo tipo de mecânica e controle, custo, precisão e área de terreno ocupada. Essas características são apresentadas na Tabela 1 (Pinto, 2010):

TIPO	MECÂNICA	CUSTO	PRECISÃO	ÁREA
ESTÁTICO	nenhum	Nenhum	Baixa	Baixa
1 EIXO	Simples	Baixo	Média	Baixa

A produção de energia elétrica utilizando painéis fotovoltaicos é possível com a presença da radiação solar, por esta razão se faz necessário saber em qual horário o sol nasce e em qual horário ele se põe, evitando assim o desperdício de energia na utilização do sistema de controle. Essas situações são dadas por Eq.(3) e Eq.(4), onde δ é o ângulo de declinação solar, L a latitude do local onde o dispositivo está sendo instalado, n o número do dia no ano, HSR uma variável auxiliar, $H_{nascente}$ horário em que o sol nascerá e H_{poente} horário no qual o sol irá se pôr (Masters, 2004):

$$(1) \delta = 23,45 \cdot \operatorname{sen} \left[\left(\frac{360}{365} \right) \cdot (N - 81) \right]$$

$$(2) H_{SR} = \cos^{-1} [-\operatorname{tg}(L) \operatorname{tg}(\delta)]$$

$$(3) H_{nascente} = 12 - \frac{H_{SR}}{15}$$

$$(4) H_{poente} = 12 + \frac{H_{SR}}{15}$$

As equações apresentadas a seguir calculam o máximo valor teórico de radiação absorvida pelo painel em cada um dos três casos, são eles: para o painel estático e sustentado por um seguidor solar de 1 eixo e 2 eixos. Esses valores são importantes e são apresentados na interface gráfica, para se ter ideia o quanto de nuvens (SOMBREAMENTO) ou a refletância do local onde está instalado o dispositivo está influenciando na captura de radiação solar em nosso sistema.

Sistema estático: Como os sistemas estáticos não acompanham o sol durante o seu movimento diário, em maior parte do tempo eles não captam o máximo da radiação disponível pelo sol, já que para um mesmo nível de radiação o raio solar incidirá em uma área superior neste painel do que em painéis móveis, ou seja, a potência elétrica será menor. A radiação máxima captada para um dia qualquer é dado por Eq.(16) (Masters, 2004):

$$m = \frac{1}{\operatorname{sen}(\beta)}$$

$$A = 1160 + 75 \cdot \operatorname{sen} \left[\frac{360}{365} \cdot (n - 275) \right]$$

$$k = 0,174 + 0,035 \cdot \operatorname{sen} \left[\frac{360}{365} \cdot (n - 100) \right]$$

$$I_b = A e^{-km}$$

$$\theta = \cos^{-1} [\cos(\beta) \cos(\phi_s - \phi_c) \operatorname{sen}(e) + \operatorname{sen}(\beta) \cos(e)]$$

$$I_{bc} = I_b \cos(\theta)$$

$$C = 0,095 + 0,04 \operatorname{sen} \left[\frac{360}{365} \cdot (n - 100) \right]$$

$$I_{dh} = CI_b$$

$$I_{bh} = I_b \operatorname{sen}(\theta)$$

$$I_{dc} = I_{dh} \left[\frac{1 + \cos(e)}{2} \right]$$

$$I_{rc} = \rho I_b$$

$$I_c = I_{bc} + I_{dc} + I_{rc}$$

Onde m é a relação de massa de ar, A a insolação extraterrestre aparente, k a profundidade óptica da atmosfera, Ib a insolação incidente sobre a superfície extraterrestre, β o ângulo de altitude solar, θ o ângulo de incidência, ϕ_s o ângulo azimutal solar, ϕ_c o ângulo azimutal do coletor, e o ângulo de inclinação do coletor, Ibc a insolação incidente diretamente sobre o coletor, C o fator de difusão do céu, Idh a componente difusa de insolação sobre uma superfície horizontal, Ibh a componente direta incidente sobre uma superfície horizontal,

Idc a insolação refletida pelo solo, ρ a refletância do solo, Irc a insolação difusa na atmosfera e Ic a radiação absorvida pelo painel fotovoltaico

Sistema sustentado por um seguidor solar movido em 1 eixo: Para os sistemas movidos em um eixo, como o desenvolvido neste trabalho, as equações são simplificadas e a radiação absorvida pelo painel fotovoltaico é dada pela Eq. (20) (Masters, 2004):

$$I_{bc} = I_b \cos(\delta)$$

$$I_{dc} = CI_b \left[\frac{1 + \cos(90 - \beta + \delta)}{2} \right]$$

$$I_{rc} = \rho \cdot (I_{bh} + I_{dh}) \cdot \left[\frac{1 + \cos(90 - \beta + \delta)}{2} \right]$$

$$I_c = I_{bc} + I_{dc} + I_{rc}$$

Sistema sustentado por um seguidor solar movido em 2 eixos: As equações para os painéis fotovoltaicos movidos nos dois eixos também são simplificadas, tal situação não foi utilizada na prática, mas esses resultados teóricos são apresentados na interface para efeito de comparação. A radiação máxima teórica absorvida por painéis movidos nos dois sentidos é dada por Eq. (24) (Masters, 2004):

$$I_{bc} = I_b$$

$$I_{dc} = CI_b \left[\frac{1 + \cos(90 - \beta)}{2} \right]$$

$$I_{rc} = \rho \cdot (I_{bh} + I_{dh}) \cdot \left[\frac{1 + \cos(90 - \beta)}{2} \right]$$

$$I_c = I_{bc} + I_{dc} + I_{rc}$$

Cálculo para estimativa de painéis solares. Este levantamento tem como objetivo encontrar a quantidade de placas a serem instaladas para o cliente de acordo com sua necessidade, para isso utilizamos o seguinte cálculo: *Energia Geração = Potência Total dos Painéis x Tempo de Exposição*. Porém devido a perda nos painéis e cabos é necessário adicionar uma variável de rendimento para minimizar os erros, sendo assim nossa equação passa a ser da seguinte forma: *Potência Total dos Painéis = Energia de Geração x Tempo de Exposição x N rendimento*. Para o levantamento da demanda energética anual da placa é necessário reunir algumas informações referente ao consumo diário do proprietário, como por exemplo, analisar o histórico de consumo dos últimos 12 meses e ver qual tipo de ligação possui,



de acordo com a concessionária, o tipo de ligação influência no pagamento mínimo da fatura na conta de luz. Calcular o rendimento é preciso levar em conta algumas perdas sofridas durante o processo de captação e transformação da energia, com isso os dados de perdas são calculados da seguinte forma: Perda por Temperatura (aquecimento): (7,0% a 18%) = (100% - 11.5%) = (0,885) Incompatibilidade elétrica: (1% a 2%) = (100% - 1,5%) = (0,985) Acúmulo de sujeira: (1% a 8%) = (100% - 2%) = (0,980) Cabos CC = (0,5% a 1%) = (100% - 1%) = (0,990) Cabos CA = (0,5% a 1%) = (100% - 1%) = (0,990) Inversor = (2,5% a 5%) = (100% - 4%) = (0,960). Assim é realizado o cálculo da quantidade de painéis conforme a potência desejada, painéis residenciais normalmente utilizam placas de 250W a 280W, no qual temos uma equação para definir quantos painéis utilizar. *Quantidade de painéis - Potência total do painel / Potência da placa solar.*

2. DESENVOLVIMENTO

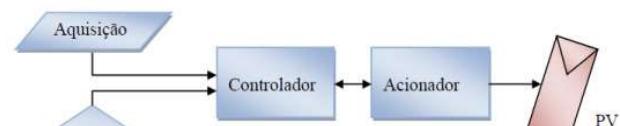
Existem formas diferentes de se obter o controle de seguimento. O controle pode ser realizado em malha aberta, ou seja, através de algoritmos que efetuam o cálculo da posição do sol, em malha fechada, com o uso de sensores ou ainda de forma mista, como o nome já diz, efetua a interação entre sensores e o algoritmo (CORTEZ, 2012). Em uma configuração mais completa, um sistema de seguimento pode ser composto por:

- Aquisição: Responsável por fornecer os dados de latitude, longitude e por disponibilizar dados relativos à posição do Sol. A hora solar é bastante utilizado para a inicialização da orientação do painel fotovoltaico;
- Sensores: Responsável por detectar a posição do sol durante o dia, sem a necessidade das coordenadas solares e a hora solar, podendo ser fotosensores de tipos como: LDR (do inglês Light Dependent Resistor), também denominado de fotoresistor ou resistor dependente de luz; fototransistor; fotodiodo; entre outros;
- Controlador: Circuito elétrico com ou sem a presença de microcontroladores, onde são processados os sinais emitidos dos sensores de acordo com a lógica de controle ou programação (quando se faz uso de microcontroladores) e de onde saem os sinais de comando para os atuadores;
- Acionador: Sua função é realizar a movimenta-

ção do sistema a partir dos sinais vindos do controlador, sendo geralmente utilizados motores de corrente contínua.

A imagem abaixo ilustra a composição de um sistema de rastreio solar a partir de um diagrama.

Figura 4 - Diagrama de controle do funcionamento do seguidor solar.

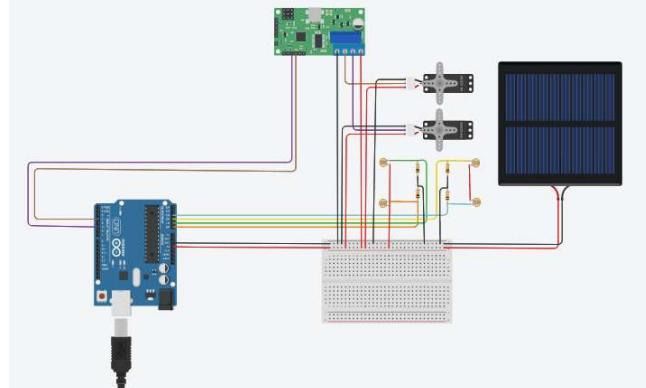


Fonte: Próprio autor (2023)

O microcontrolador usado neste projeto foi o Arduino UNO, além de ser baixo-custo é fácil de encontrar no mercado. Nele temos a ligação de 4 LDR's, instalados nos cantos das extremidades de superfície, que são responsáveis por orientar a movimentação do servo-motor, conforme atingidos pela luz solar.

O projeto elétrico com o esquemático de ligação foi desenvolvido, primeiramente, no Tinkercad. Uma plataforma gratuita disponível na internet que possui ferramentas diversas para a criação de circuitos elétricos, conforme consta na imagem.

Figura 5 - Esquemático do circuito eletrônico do seguidor



Fonte: Próprio autor, elaborado no Tinkercad (2023)

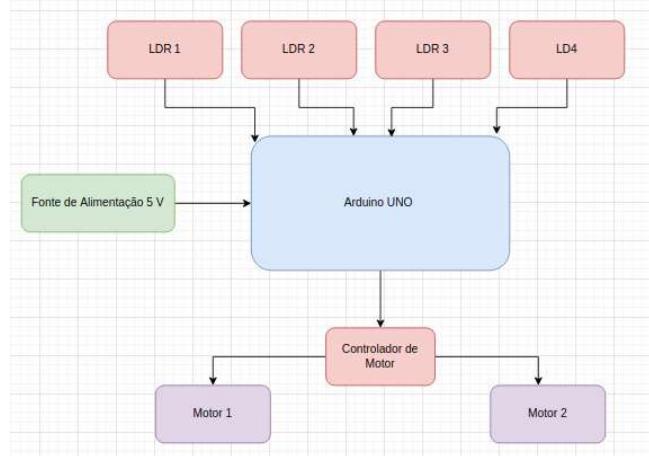
Material utilizado:

- 1 Placa Uno SMD + Cabo USB para Arduino;
- 1 Mini Painel Solar Fotovoltaico 12V 125mA;
- 1 Estrutura em MDF para Rastreador Solar;
- 2 Micro Servo Motor 9g SG90 180°;
- 1 Extensor de Portas com Jack P4;
- 4 LDR Sensor de Luminosidade 5mm;
- 4 Resistores de 10 k;
- 5 Parafuso Philips M3 x 10mm Metálico;
- 6 Jumper Premium para Protoboard Macho-Fêmea 20 cm;

- 2 Jumper Premium para Protoboard Macho-Macho 20 cm;
- 4 Jumper Premium para Protoboard Macho-Macho 30 cm;
- 2 Jumper Premium para Protoboard Fêmea-Fêmea 30 cm;
- 1 Fonte de Alimentação Chaveada 5VDC 1A.

A descrição do fluxograma de funcionamento e seus respectivos componentes com suas aplicações no sistema está detalhado a seguir conforme imagem abaixo:

Figura 6 - Fluxograma de funcionamento do seguidor solar.



Fonte: Próprio autor (2023)

Sensores LDR (Light Dependent Resistor): são responsáveis por detectar a intensidade da luz incidente em diferentes direções. Cada sensor LDR mede a quantidade de luz que atinge sua superfície. A medida que a luz solar incide sobre eles, a resistência dos sensores varia. Quanto mais luz, menor a resistência e vice-versa.

Resistências: As resistências são usadas em conjunto com os sensores LDR para formar um divisor de tensão, permitindo que o Arduino leia a variação de resistência dos sensores e, assim, a intensidade da luz incidente. As resistências são conectadas em série com os sensores LDR e, dependendo da quantidade de luz que atinge os sensores, a resistência total do circuito varia. Isso resulta em uma voltagem diferente na junção entre o sensor e a resistência, que o Arduino pode ler para determinar a intensidade da luz.

Arduino: é o cérebro do sistema, responsável por coletar informações dos sensores LDR, calcular a direção do sol com base nessas informações e controlar os servo motores para ajustar a posição da placa solar. O Arduino lê a voltagem nas junções entre os sensores LDR e as resistências, compa-

rando as leituras dos sensores para determinar em que direção o sol está mais forte. Com base nessa informação, ele aciona os servo motores para ajustar a posição da placa solar, garantindo que ela siga o sol ao longo do dia.

Servo Motores: Os servo motores são responsáveis por mover a placa solar em direção ao sol, garantindo que ela esteja sempre alinhada com a luz solar direta. O Arduino controla os servo motores com base nas informações dos sensores LDR. Se um sensor detectar que mais luz está chegando de uma direção específica, o Arduino aciona os servo motores para mover a placa solar naquela direção, mantendo-a alinhada com o sol.

O sistema opera continuamente, ajustando a posição da placa solar para seguir a trajetória do sol ao longo do dia, maximizando assim a captação de energia solar e aumentando a eficiência da placa solar como geradora de energia elétrica.

Placa Solar (ou painel solar): A placa solar é a parte do sistema que converte a energia solar em energia elétrica. Quanto mais diretamente ela estiver exposta à luz do sol, maior será a eficiência na geração de energia. A placa solar é montada em um suporte que permite que ela seja ajustada em diferentes ângulos horizontal e verticalmente para seguir a trajetória do sol durante o dia.

Resultado Simulado em Valldorex green power abaixo:

Figura 7 - Comparação entre a energia gerada por um sistema fixo e outro com seguidor solar



O código desenvolvido e utilizado para programar o Arduino encontra-se no Apêndice deste artigo, foi desenvolvido em Linguagem C++ é um programa para controlar dois servomotores, um na horizontal e outro na vertical, com base na leitura de quatro sensores de luz (LDRs) posicionados em cantos opostos de uma superfície. O objetivo é que

O objetivo é que os servomotores movam uma placa solar montada neles para seguir a fonte de luz mais brilhante. A explicação passo a passo do código:

Inclui a biblioteca Servo para permitir o uso de servomotores no Arduino.

Inicializa duas instâncias de servomotores: Horizontal e Vertical.

Define valores fixos para a posição inicial dos servos: ServoHorizontal = 90 e ServoVertical = 90.

Define os limites de rotação para os servos horizontal e vertical (LimiteServoHorizontalMax, LimiteServoHorizontalMin, LimiteServoVerticalMax e LimiteServoVerticalMin).

Inicializa quatro pinos analógicos para os sensores de luz LDR: LDRDC, LDRDB, LDREC e LDREB.

No método setup(), faz o seguinte:

Anexa os servos aos pinos 3 e 5 do Arduino (D3 e D5).

Define a posição inicial dos servos Horizontal e Vertical para 180 e 45, respectivamente, e aguarda 3 segundos.

O método loop() é executado continuamente: Lê os valores analógicos dos quatro sensores de luz (LDC, LEC, LDB e LEB).

Calcula médias e diferenças entre esses valores para determinar a direção da fonte de luz mais brilhante.

Com base nas leituras dos sensores, o código ajusta as posições dos servos para seguir a fonte de luz: Se a diferença entre os valores dos sensores superior e inferior (DifSupInf) for maior que um limite de tolerância (tol), ajusta a posição do servo Vertical para seguir a fonte de luz;

Se a diferença entre os valores dos sensores direita e esquerda (DifDirEsq) for maior que um limite de tolerância (tol), ajusta a posição do servo Horizontal para seguir a fonte de luz;

Os limites de rotação são verificados para garantir que os servos não ultrapassem suas posições máximas ou mínimas; e

Há um atraso de 100 milissegundos entre cada iteração do loop para evitar movimentos excessivamente rápidos dos servos.

Em resumo, este código permite que um sistema de rastreamento de luz com dois servomotores ajuste a posição de uma placa solar montado nos servos para seguir uma fonte de luz brilhante detectada pelos sensores LDR. Os limites de rotação dos servos garantem que eles não se movam para além de posições seguras.

3. CONCLUSÃO

Em síntese, este projeto de rastreador solar Arduino apresenta uma das muitas formas em direção à otimização da captação de energia solar. Ao longo do desenvolvimento, o objetivo principal de apresentar um projeto com versatilidade, eficácia e baixo custo de um seguidor solar foi alcançado, tendo o Arduino como centro de controle, permitindo uma adaptação precisa às mudanças na posição solar. Essa flexibilidade não apenas aumenta a eficiência da geração de energia solar, mas também demonstra o potencial para redução de custos e a dependência de fontes de energia não renovável.

Com possíveis aplicações em residências, indústrias e sistemas autossuficientes, esse projeto desempenha um papel na promoção de fontes de energia limpa e sustentável, ilustrando como a tecnologia pode impulsionar a preservação ambiental, contribuindo para um futuro mais ecológico e energeticamente eficiente. Além disso, prima, principalmente, na Eficiência, em um dos princípios que norteiam a administração pública, conforme consta na Constituição Federal de 1998.



Abstract

Clean and sustainable energy sources are gaining more space on the national and international scene, Brazil closed the year 2022 among the top 10 countries in the world in photovoltaic generation, the country surpassed 24 GW of installed capacity as shown in the report from International Renewable Energy Agency (IRENA).

The project consists of creating a low-cost Arduino-controlled solar tracker, aiming to maximize the efficiency of capturing solar energy throughout the day. The system uses light sensors to detect the current position of the sun and automatically adjusts the orientation of a solar panel to ensure it is always facing the light source.

The Arduino acts as the brain of the system, processing data from the sensors and controlling the motors responsible for the panel's movement. This solution offers an efficient way to harness solar energy throughout the day, increasing clean energy production and reducing dependence on traditional energy sources. It is a simple project that contributes to energy sustainability and can be adapted for residential, commercial or industrial use.

Keywords: Solar Tracker, Arduino, Photovoltaic Energy, Sustainability.

4. REFERÊNCIAS

CAMPOS, E., 2013. **Construção de um caracterizador de painéis solares utilizando um conversor boost.** Viçosa-MG: s.n.

EPIA, E. P. I. A., 2013. **Global Market Outlook For Photovoltaics**, s.l.: s.n.

H. DONG, W. Z.-C. S. H. X. G.-L. e. L. F.-P., 2009. **Research and design on a robust sun-tracker**, s.l.: International Conference on Sustainable Power.

HURLEY, S. A. e. W., 2005. **Investigating the Effectiveness of Maximum Power Point Tracking for a Solar System**, s.l.: Power Electronics Specialists.

J.-S. Ko, J.-S. C. , . . S.-J. K. , . M.-G. J. , . J.-W. B. , . . D.-K. K. e. D.-H. C., 2009. **A novel tracking system development of photovoltaic for low radiation**, s.l.: Telecommunications Energy Conference.

LEHMAN, D. N. e. B., 2008. **A Reconfigurable Solar Photovoltaic Array Under Shadow Conditions**, s.l.: Applied Power Electronics Conference and Exposition.

MICROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. 2 ed. São Paulo: Novatec Editora Ltda, ©2015. 506 p.

M. Neves, C. C. R. e. F. M. E., 2009. **Módulo fotovoltaico com seguimento da posição solar**, s.l.: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Masters, G. M., 2004. **Renewable and Efficient Electric Power Systems**, s.l.: John Wiley & Sons.

PINTO, A. M. M. e. Z. R., 2010. **Descrição de seguidores solares e sua aplicação em centrais fotovoltaicas conectadas à rede**, Belém-PA: III Congresso Brasileiro de Energia Solar.

PORTAL ENERGIA. **Construir Seguidor Solar Caseiro com Servo Motor Controlado por Arduino**. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/construir-seguidor-solar-caseiro-servo-motor-controlado-arduino/>>. Acesso em: 30 de Agosto.

CORTEZ, Ramiro José Monteiro. **Sistema de Seguimento Solar em Produção de Energia Fotovoltaica**. Portugal, 2012. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia do Porto – FEUP.

LIMA, Daniel Silva. **Análise comparativa entre um sistema solar fotovoltaico fixo e um móvel**. Brasil, 2016. Monografia de Graduação. Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA.

MASTERS, Gilbert M. **Renewable and efficient electric power systems**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.

RIBEIRO, Sandro Carneiro; PRADO, Pedro Paulo Leite do; GONÇALVES, João Bosco. **Projeto e Desenvolvimento de um Rastreador Solar para Painéis Fotovoltaicos**. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 11., 2012, Rio de Janeiro. Artigo. Rio de Janeiro: Associação Educacional Dom Bosco, 2012. v. 1, p. 1 - 10.



SHAYANI, R. A. **Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica**, Publicação PPGENE.DM-265/06, v Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006, p.58.

VIEIRA, R. G. **Análise comparativa do desempenho entre um painel solar estático e com rastreamento no município de Mossoró-RN**. 2014. 88f. Dissertação (Pós-Graduação em Sistemas de Comunicação e Automação) - Universidade Federal Rural Do Semi-Árido, Mossoró-RN.

REPOSITÓRIO ANIMA EDUCAÇÃO. Eficiência Energética em Placas Solares com Uso de Bases Automatizadas. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/17745/1/Efici%C3%A3ncia%20energ%C3%A9tica%20em%20placas%20solares%20com%20uso%20de%20bases%20automatizadas.pdf>> Acesso em: 30 de Agosto.

USINA INFO. Rastreador Solar com Arduino: Um Seguidor Solar Através de LDR. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/blog/rastreador-solar-com-arduino-um-seguidor-solar-atraves-de-ldr>> Acesso em: 30 de Agosto.

ONS. Energia Agora: Carga e Geração. <https://www.ons.org.br/paginas/energia-agora/carga-e-geracao>. Acessado em: 11 de setembro de 2023.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. Legislação informatizada. <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/consti/1988/constituicao-1988-5-outubro-1988-322142-publicacaooriginal-1-pl.html>. Acessado em: 8 de setembro de 2023.

5. APÊNDICE

Código do Seguidor Solar utilizado comentado
#include <Servo.h> // Inclui a Biblioteca

Servo Horizontal;// Inicia o Servo da Horizontal
Servo Vertical;// Inicia o Servo da Vertical

```
int ServoHorizontal = 90;// Estabelece valor fixo à ServoHorizontal  
int ServoVertical = 90;// Estabelece valor fixo à ServoVertical
```

```
int LimiteServoHorizontalMax = 180;// Estabelece os limites de rotação
```

```
int LimiteServoHorizontalMin = 65;// Estabelece os limites de rotação
```

```
int LimiteServoVerticalMax = 120;// Estabelece os limites de rotação  
int LimiteServoVerticalMin = 15;// Estabelece os limites de rotação
```

```
int LDRDC = A0;// Inicia LDRDC no pino A0  
int LDRDB = A1;// Inicia LDRDB no pino A1  
int LDREC = A2;// Inicia LDREC no pino A2  
int LDREB = A3;// Inicia LDREB no pino A3
```

```
void setup() {  
    Horizontal.attach(3);// Inicia servo Horizontal na porta D3  
    Vertical.attach(5); // Inicia servo Vertical na porta D5
```

```
    Horizontal.write(180);// Inicia servo Horizontal na posição 180
```

```
    Vertical.write(45);// Inicia servo Horizontal na posição 45  
    delay(3000);// Aguarda 3 segundos  
}
```

```
void loop() {  
    int LDC = analogRead(LDRDC);// Leitura Analógica do LDR Direita Cima  
    int LEC = analogRead(LDREC);// Leitura Analógica do LDR Esquerda Cima  
    int LDB = analogRead(LDRDB);// Leitura Analógica do LDR Direita Baixo  
    int LEB = analogRead(LDREB);// Leitura Analógica do LDR Esquerda Baixo
```

```
    int tol = 50;
```

```
    int ValorSup = (LDC + LEC) / 2;// Média da leitura dos LDR superior
```

```
    int ValorInf = (LDB + LEB) / 2;// Média da leitura dos LDR inferior
```

```
    int ValorDir = (LDC + LDB) / 2;// Média da leitura dos LDR da direita
```

```
    int ValorEsq = (LEC + LEB) / 2;// Média da leitura dos LDR da esquerda
```

```
    int DifSupInf = ValorSup - ValorInf; // Diferença entre LED superior e inferior
```

```
    int DifDirEsq = ValorDir - ValorEsq; // Diferença entre LED direita e esquerda
```



```

/*-----*/
// Realiza a leitura e executa os movimentos referente ao Servo Vertical
if (-1 * tol > DifSupInf || DifSupInf > tol) {
    if (ValorSup > ValorInf) {
        ServoVertical = ++ServoVertical;
        if (ServoVertical > LimiteServoVerticalMax) {
            ServoVertical = LimiteServoVerticalMax;
        }
    }
    else if (ValorSup < ValorInf) {
        ServoVertical = --ServoVertical;
        if (ServoVertical < LimiteServoVerticalMin) {
            ServoVertical = LimiteServoVerticalMin;
        }
    }
    Vertical.write(ServoVertical);
}

// Realiza a leitura e executa os movimentos referente ao Servo Horizontal
if (-1 * tol > DifDirEsq || DifDirEsq > tol) {
    if (ValorDir > ValorEsq) {
        ServoHorizontal = --ServoHorizontal;
        if (ServoHorizontal < LimiteServoHorizontalMin) {
            ServoHorizontal = LimiteServoHorizontalMin;
        }
    }
    else if (ValorDir < ValorEsq) {
        ServoHorizontal = ++ServoHorizontal;
        if (ServoHorizontal > LimiteServoHorizontalMax) {
            ServoHorizontal = LimiteServoHorizontalMax;
        }
    }
    else if (ValorDir = ValorEsq) {
    }
    Horizontal.write(ServoHorizontal);
}

delay(100); // Aguarda 0,1 segundo
}

```

