

## PONTO DE CONTROLE 4 - ELETRÔNICA EMBARCADA

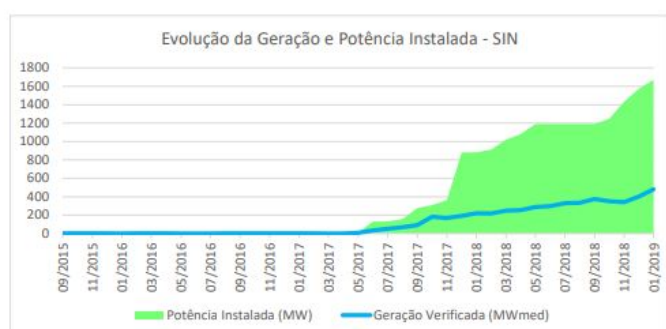
Clara Fonseca da Justa, Hallana Rayssa Alves da Silva

Programa de Graduação em Engenharia Eletrônica, Faculdade Gama  
Universidade de Brasília  
Gama, DF, Brasil  
email: clarajusta31@gmail.com, hallanarayssa@gmail.com

### 1. JUSTIFICATIVA

O Brasil é um país localizado em uma região inter - tropical e possui grande potencial para aproveitamento de energia solar durante todo o ano. Apesar disso, a matriz energética brasileira ainda apresenta a energia hidráulica como principal fonte da geração de eletricidade. Entretanto, nos últimos anos há um intenso esforço para que a geração solar fotovoltaica ocupe um espaço maior na matriz energética.[1]

Dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, demonstram a evolução da potência instalada e geração de usinas solares fotovoltaicas, desde setembro de 2015 até janeiro de 2019.[2]



**Fig. 1.** Evolução da geração e potência instalada de usinas solares fotovoltaicas.

Esses dados são referentes à geração de usinas solares fotovoltaicas do Sistema Interligado Nacional - SIN, e abrangem apenas as usinas em operação comercial. De acordo com as informações oferecidas pelo ONS e ao analisar a figura 1 é possível verificar que em setembro de 2015, quando as primeiras usinas entraram em operação, a potência instalada foi de 10 MW. Já em março de 2019 a potência instalada foi de 1800 MW. Através dessas informações é possível verificar que houve um crescimento significativo no uso dessa energia limpa.

Além das usinas em operação comercial, há uma outra modalidade de geração de energia solar: os sistemas sola-

res fotovoltaicos de microgeração e minigeração em Unidades Consumidoras - UC (residências, comércios, indústrias, edifícios públicos e na zona rural). Nesta modalidade as unidades que adotam o uso de placa solar, são compensadas pela energia injetada na rede em relação a energia consumida.[3]

Relatórios sobre Unidades Consumidoras com geração distribuída levantados pela CEB, traz informações compiladas e mapas sobre o uso de sistemas fotovoltaicos e fonte solar na região Centro-Oeste. Geração distribuída é o termo utilizado para referenciar a energia elétrica que é gerada próxima ou no local de consumo. Na figura 2 demonstra-se a quantidade de geração distribuída (1.233), o número de unidades consumidoras que utilizam esta energia (1.312) e a potência instalada (16.959,61 kW). Já na figura 3 é possível notar que a adoção desse tipo de sistema vem em uma crescente desde de 2015.

REGIAO	QTD GD	UCs REC CRÉDITOS	POT INSTALADA (kW)
Centro Oeste	1.233	1.312	16.959,61
<b>Total</b>	<b>1.233</b>	<b>1.312</b>	<b>16.959,61</b>

**Fig. 2.** Geração de energia solar em Unidades Consumidoras na região centro - oeste.

ANO	QTD GD	UCs REC CRÉDITOS	POT INSTALADA (kW)
2019	497	537	6.734,90
2018	403	424	5.813,08
2017	210	222	3.274,97
2016	87	92	853,35
2015	36	37	283,31
<b>Total</b>	<b>1.233</b>	<b>1.312</b>	<b>16.959,61</b>

**Fig. 3.** Evolução da geração de energia solar em Unidades Consumidoras na região centro - oeste.

Os benefícios desse sistema são muitos, vão deste ao baixo impacto ambiental até a redução de perdas por transmissão e distribuição da energia. Porém, o custo para a

instalação de um sistema fotovoltaico é elevado. O preço médio para a instalação de placas solares para um consumo de 2kWp é de aproximadamente 15.000 reais.[4]

Na tabela abaixo (figura 4) é possível estimar o investimento necessário para a instalação de um sistema fotovoltaico dependendo do tamanho da residência.

Tamanho da Residência	Modelo do Sistema	Preço Médio
Casa pequena, com 2 pessoas	Sistema de 1,32Kwp	R\$ 10.673,36
Casa média, com 3 ou 4 pessoas	Sistema de 2,64Kwp	R\$ 17.570,00
Casa média, com 4 pessoas	Sistema de 3,3Kwp	R\$ 20.320,00
Casa grande, com 4 ou 5 pessoas	Sistema de 4,62Kwp	R\$ 25.695,00
Casa grande, com 5 pessoas	Sistema de 6,6Kwp	R\$ 32.410,00
Mansão, com mais de 5 pessoas	Sistemas de até 10,56Kwp	R\$ 52,240,00

**Fig. 4.** Preço da energia solar fotovoltaica residencial.

Por esse motivo, quanto maior a eficiência das placas solares, mais rápido será o retorno financeiro da instalação. Para a otimização da captação solar, propõem-se a implementação de um dispositivo de baixo custo, um seguidor solar.

## 2. OBJETIVOS

Implementar um sistema de seguidor solar de baixo custo e eficaz em comparação aos que existem.[5]

### 2.1. Objetivos Específicos

- Movimentar dois servos motores para controlar os eixos de rotação em bases de placas fotovoltaicas usando o microcontrolador MSP430 ;
- Monitorar com eficácia dados de sensores de luminosidade e sensores de irradiação solar de forma com que a placa guie-se através do local com maior incidência dos raios solares ;

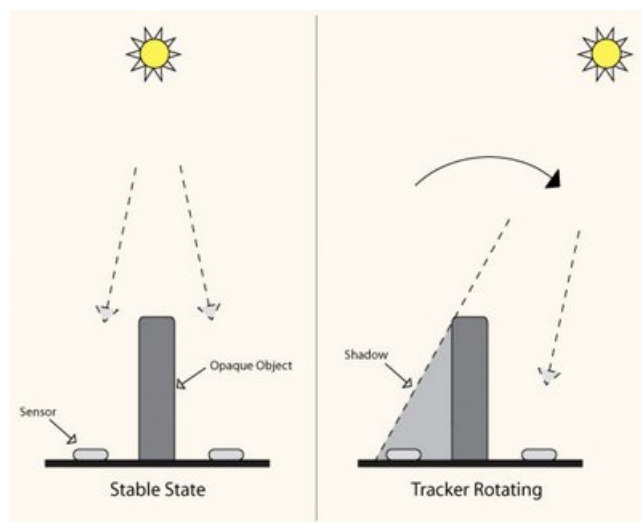
## 3. REQUISITOS

- 1) Microcontrolador (MSP430)
- 2) Converter energia solar em elétrica
- 3) Estrutura capaz de atender os requisitos
- 4) Movimentar placa solar nos eixos x e y
- 5) Medir incidência solar sobre a placa
- 6) Manter a placa no local com maior incidência solar
- 7) Abordar todo o conteúdo de Eletrônica Embarcada
- 8) Baixo custo
- 9) Desenvolvimento completo no período de 3 meses

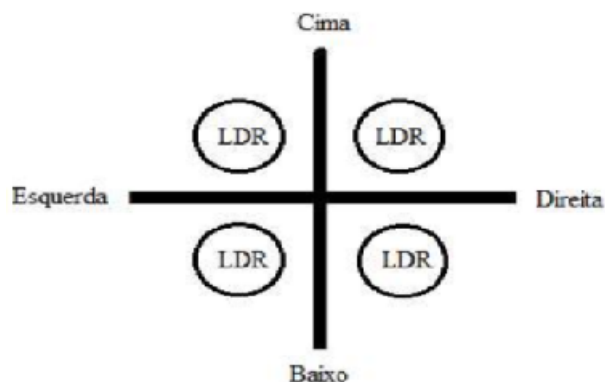
Para desenvolver o projeto será usado um microcontrolador MSP430, que tem como função movimentar dois servos motores, que serão posicionados no eixo “x” e no eixo “y”. Esses servos motores irão se movimentar a partir dos dados coletados por 4 sensores de luminosidade. Os LDR’s, serão analisados em pares, gerando dois conjuntos, o primeiro responsável pelo movimento azimutal e o segundo pelo movimento de declinação.

Os LDR’s de cada conjunto serão separados um do outro por meio de um perfil “T”, como mostra a figura 5. Sendo o microcontrolador acionado quando existe uma diferença entre as impedâncias dos LDR’s.

O primeiro conjunto de LDR’s compara a intensidade luminosa entre o lado direito e o lado esquerdo. O segundo conjunto compara os valores de um referencial em cima e outro abaixo, como mostra a figura 6.



**Fig. 5.** Conjunto de sensores separados por meio de perfil T.



**Fig. 6.** Referencial de orientação utilizado

## 4. DESENVOLVIMENTO

### 4.1. Materiais

#### 4.1.1. Sensores

Para cumprir os requisitos do projeto descritos anteriormente foi necessário um levantamento dos sensores capazes de adquirir os dados de forma mais eficiente para as tomadas de decisão.

#### 4.1.2. LDR

O sensor LDR, também conhecido como foto-resistor, apresenta uma resistência que varia de acordo com a incidência solar.



Fig. 7. LDR

Através da curva característica do componente, é possível observar que sua resistência cai à medida em que a intensidade da luz aumenta.

Características do LDR modelo GL5528:

- Diâmetro: 5mm.
- Tensão máxima: 150VDC
- Potência máxima: 100mW.
- Espectro: 540nm
- Comprimento com terminais: 32mm.
- Resistência no escuro: 1 M (Lux 0)
- Resistência na luz: 10-20 K (Lux 10)

Cada LDR funciona como um divisor de tensão. A saída deste divisor de tensão é atribuída a um pino do microcontrolador. Desta forma utiliza-se um registrador para guardar o valor coletado de cada um dos sensores de luminosidade.

Os LDR's são separados em dois conjuntos, como explicado anteriormente, sendo que o microcontrolador é acionado quando existe uma diferença entre as impedâncias dos LDR's. O MSP430 envia um pulso para a movimentação dos servos quando nota essa diferença e reposiciona o sistema até que a discrepância entre as impedâncias seja mínima.

#### 4.1.3. Servo Motor

Os servomotores, também conhecidos como servos, são componentes elaborados com o uso de engrenagens, capazes de gerar movimento em sentido horário e anti horário. É um motor em que podemos controlar a sua posição angular com o uso de um sinal PWM.



Fig. 8. Servo Motor.

Características do servo modelo: Servo 9g Tower Pro SG90:

- Tensão de Operação: 3 a 7,2V.
- Faixa de Rotação: 180°
- Modulação: PWM.
- Velocidade (4.8V): 0.12 s / 60°
- Torque(4.8V): 1,5kg/cm.
- Dimensões: 22x12x19mm.
- Peso: 9g;
- Tamanho do cabo: 24cm.

### 4.2. Estrutura

Com o intuito de montar uma estrutura capaz de atender os requisitos estabelecidos e nas características do projeto, foi utilizada uma estrutura elaborada na impressora 3D.

A estrutura foi projetada para que a movimentação necessária à otimização da captação solar fosse possível e de fácil encaixe dos servomotores. A mesma possui um suporte para a placa solar e engrenagens para a rotação dos dois eixos do motor. Para a alocação dos LDR's construiu-se uma peça em formato de T, como descrito anteriormente.

### 4.3. Desenvolvimento do Ponto de Controle 2 - Protótipo funcional utilizando ferramentas mais básicas.

Para o primeiro protótipo funcional utilizou-se o software Energia IDE, pois através dele é possível utilizar bibliotecas e funções em linguagem C de forma que as mesmas sejam

executadas na MSP430. Com o intuito de validar o projeto, foi usado o Energia IDE junto do Arduino Uno. Esta etapa é apenas para a validação do projeto, de forma que será necessário o desenvolvimento dos códigos em assembly no code composer posteriormente.

#### 4.3.1. Código Servomotor

Para testar o servomotor na estrutura, utilizou-se a biblioteca Servo.h. Esta é uma biblioteca comumente utilizada em projetos desenvolvidos no arduino, é necessário apenas instanciar o servomotor a um pino e chamar as funções informando o ângulo de movimento.

#### 4.3.2. Código LDR

A leitura da entrada analógica é feita com a função analogRead, que recebe como parâmetro o pino analógico a ser lido e retorna o valor digital que representa a tensão no pino. O código lerá o valor do sinal em A0 com o auxílio do comando analogRead(), que retornará um valor entre 0 a 1023, e o comparará com um valor de referência determinado em 800.

Tendo em vista que, quanto mais escuro, maior será o valor de A0, caso A0 seja maior que o valor de referência o programa liga o LED conectado ao pino 6. Do contrário, ele apaga o LED. O programa também imprime o valor de A0 para que possamos verificar a faixa de valores e até mesmo calibrar nosso sensor.

#### 4.3.3. Código Geral

Para a funcionalidade total do sistema utilizou-se o código mostrado nas figuras 12,13,14 e 15. São criadas duas variáveis para controle dos servomotores e quatro variáveis do tipo inteiro para armazenar os valores lidos pelos sensores de luminosidade.

O loop da linha 35 utiliza os valores armazenados pelos LDR's de acordo com a incidência para fazer comparações entre os dois LDR's de cada conjunto. No primeiro conjunto, é comparada a incidência entre os lados direito e esquerdo (linha 45). Enquanto o segundo conjunto compara os valores de incidência entre a parte de cima e a parte de baixo (linha 59).

Ainda dentro do loop o servo R1 é controlado a partir dos dados do primeiro conjunto e o servo R2 controlado a partir dos dados do segundo conjunto. Após analisar a variação de valores entre os conjuntos dos sensores de luminosidade, os motores são movimentados até que essa discrepância seja mínima.

### 4.4. Desenvolvimento do Ponto de Controle 3 - Refinamento do protótipo em linguagem C.

Nesta etapa do trabalho o objetivo é abranger as seguintes condições: subrotinas, interrupções, modo de baixo consumo e assembly. Utilizou-se o software code composer para que execução do seguidor solar pudesse ser verificada na msp430.

O código foi desenvolvido para controlar os servomotores, com uso do PWM em uma frequência de 46 Hz e um passo de motor de 30 graus. O laço infinito, estabelecido entre as linhas 62 a 84, gera o comando de movimento para o servo, por meio de registradores e variáveis que são incrementadas/decrementadas dentro da interrupção apresentada nas linhas 87 a 120.

A leitura dos LDRs ocorre com a utilização do conversor analógico digital da msp430. Para que ocorra o movimento dos servos, é necessário que tenha uma variação entre os valores apresentados pelos LDRs. Os LDRs, são comparados em pares. Para desenvolver essa comparação, foram elaboradas condições if/else, que armazenam valores dentro dos registradores os valores das variáveis "count".

O modo de baixo consumo ocorre na linha 121, dando comando para a CPU ser desligada.

#### 4.4.1. Dificuldades encontradas

O comportamento desejado era que o seguidor solar se movesse de acordo com a incidência luminosa de uma fonte externa. Porém, ao executar o código na msp430 os servomotores não agiram em consonância com os LDR's, escapando da incidência luminosa.

Levantaram-se algumas hipóteses para o não funcionamento do seguidor solar:

- Erro na estrutura do código, fazendo com que a lógica estivesse errada ;
- O dispositivo não está respondendo corretamente por aferição não adequada dos LDR's, ou conexão entre os sensores e a msp430.
- Comparação que deve ser realizada entre um conjunto e outro de LDR's não está bem definida - formado por um par dos sensores um de cada lado do perfil em T já citado no subseção estrutura.

#### 4.4.2. Próximos Passos

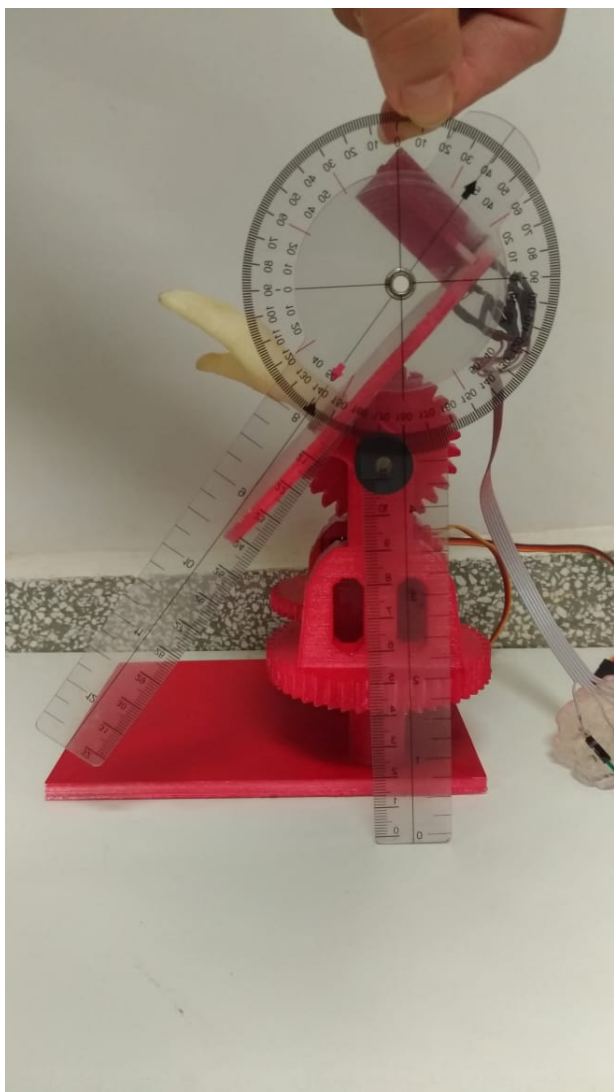
Devido aos problemas enfrentados na execução do projeto, a dupla optou por seguir uma nova estratégia.

- Debugar o código com o qual foi implementado o projeto;
- Averiguar a obtenção de dados e comparação dos LDR's;

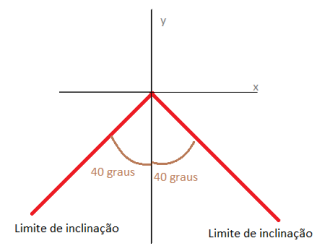
#### 4.5. Desenvolvimento do Ponto de Controle 4 - Refinamento do protótipo em linguagem C, acrescentado temporização bem definida.

Devido a problemas enfrentados no desenvolvimento do projeto, uma nova estratégia foi adotada. A primeira etapa realizada foi refazer o código responsável por movimentar o servomotor. De acordo com o datasheet do servomotor SG90, o componente apresenta um período de 20 ms e um duty cycle de 1 ms a 2 ms, sendo portanto necessário adotar essas configurações.

Visando atender aos requisitos foram usadas duas interrupções, uma responsável pela frequência e outra pelo duty cycle do servomotor, utilizando o Timer A e dois registradores. Além disso, foi estabelecido o limite da trajetória do motor. Para delimitar o movimento de inclinação, foi usado um transferidor aferindo-se 40 graus em cada um dos lados da estrutura.



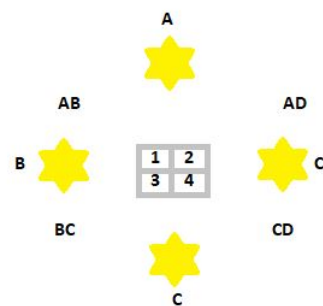
**Fig. 9.** Medindo a inclinação.



**Fig. 10.** Limite Inclinação

Ao determinar a trajetória desse componente, foram observados os valores interpretados pela MSP430 de acordo com a posição do servo. Foi aferido que os limites dessa movimentação eram lidos pelo microcontrolador como 1110 e 2025.

O segundo passo foi analisar a disposição e o valor lido por cada LDR quando exposto a incidência luminosa. Para realizar a movimentação correta de acordo com uma fonte luminosa externa é necessário comparar a incidência luminosa em cada um dos LDR's. Adotou-se um padrão que pode ser observado na figura 11, onde indica-se a posição da fonte luminosa e a partir dela compara-se os valores nos LDR's. Exemplo: Se o LDR1 for maior que o LDR3 ou o LDR2 for maior que o LDR4, então o seguidor solar está na posição A.



**Fig. 11.** Disposição dos LDR's.

No Arduino o valor lido do LDR na porta analógica, varia entre 0 e 1024. Com o intuito de aferir essa medição dos LDRs em diversas intensidades de luz, foi posicionado uma lâmpada sobre a estrutura, como mostra a figura 12. E a inclinação do servomotor foi variada de 1 em 1 grau até percorrer todo o trajeto estabelecido. A cada grau percorrido, era feita a leitura de cada LDR 5 vezes e tirada uma média para cada componente. Assim no final do trajeto, foi obtido o ângulo do servo e a leitura apresentada por cada LDR.





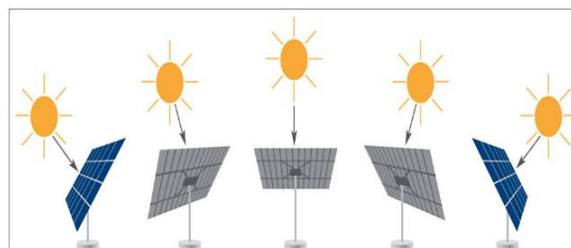
**Fig. 12.** Aquisição de dados dos LDR's.

#### 4.5.1. Dificuldades encontradas

Ao colocar no Code Composer a integração do LDR com o motor, a leitura apresentada do LDR funciona de forma correta, mas o servo motor se movimenta de maneira independente, não variando de acordo com a leitura feita pelo LDR. Apresentando assim uma dificuldade em integrar o servo com a modelagem do LDR.

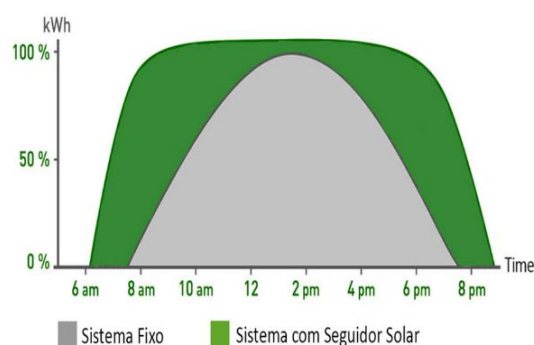
## 5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um seguidor solar é um sistema microcontrolado que altera a posição de um painel solar em função da irradiação do sol. A energia solar fotovoltaica vem sendo amplamente utilizada e é considerada uma fonte de energia limpa. Devido aos benefícios e eficiência dessa tecnologia, uma relatório da Agência Internacional de Energia (AIE) constatou que até 2060 é possível que um terço da energia do mundo seja gerada por tecnologia fotovoltaica.



**Fig. 13.** Funcionamento do seguidor solar - Tracker.

Uma célula solar ou uma célula fotovoltaica é um dispositivo que converte a luz solar em energia elétrica. Essas células apresentam eficiência na conversão da energia de 16 por cento, dependendo do material utilizado na fabricação de até 28 por cento.



**Fig. 14.** Comparação entre a energia gerada por um sistema fixo e outro com seguidor solar.

Esses sistemas descritos, quando possuem seguidores solares, também chamados de tracker, melhoram o rendimento ao captar a energia considerando o movimento do sol como um fator real e fazendo com que as placas solares sigam na direção em que a incidência solar for maior. O aumento é em torno de 30 por cento na produção de energia quando comparados a sistemas fixos.

## 6. REFERENCIAS

- [1] S. L. d. A. R. R. Enio Bueno Pereira, Fernando Ramos Martins, “Atlas brasileiro de energia solar.”
- [2] O. N. do Sistema Elétrico ONS, “Boletim mensal de geração solar fotovoltaica.”
- [3] CEB, “Relatórios sobre unidades consumidoras com geração distribuída - informações compiladas e mapas.”
- [4] “Portal solar. seguidor solar - tracker: Vantagens e desvantagens. disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/painel-solar/seguidor-solar—tracker-vantagens-e-desvantagens-parte-1.html>.”
- [5] J. D. B. de Araújo, “Protótipo de rastreador solar de um eixo baseado em microcontrolador,” 2015.