



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DO SISTEMA OBTURADOR (SHUTTER) DO
RADIÔMETRO DE SUBSTITUIÇÃO ELÉTRICA**

Isabela Costa Machado

Relatório de Iniciação Científica do programa
PIBIC, orientado pelo Dr. Waldeir Amaral Vilela
e coorientado por Dr. Ricardo Toshiyuki Irita

INPE
São José dos Campos
2022



RESUMO

Este é um relatório de encerramento das atividades da bolsista do projeto de Iniciação Científica do programa PIBIC desenvolvido no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), onde o principal objetivo foi iniciar a análise de desempenho do sistema obturador (shutter) do radiômetro de substituição elétrica em desenvolvimento no Instituto, pelo Grupo de Dispositivos Fotovoltaicos (GDF). O grupo tem apresentado esforços em desenvolver um protótipo de radiômetro absoluto de uso terrestre a fim de mitigar a teoria sobre este tipo de dispositivo e, com os resultados encontrados, auxiliar no desenvolvimento de um modelo de voo para uma futura missão espacial de estudo de fenômenos solares. No protótipo de radiômetro, a potência da radiação incidente é calculada através da diferença da potência elétrica antes e depois da exposição e o obturador (shutter) possui o papel de controlar a incidência da radiação através da sua abertura e fechamento. Nesse relatório são apresentadas as atividades e os resultados obtidos no período de três meses, período esse referente ao início da bolsa de IC até o pedido de cancelamento por parte desta relatora por motivos pessoais. Nesse período foram realizadas as seguintes atividades: o estudo do radiômetro em desenvolvimento no INPE; estudo dos princípios e mecanismos de controle ativo de um shutter; início da montagem básica do mecanismo e controle em bancada.

Palavras-chave: Irradiância Solar Total. Radiômetro Absoluto. Shutter.



LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Esquema simplificado de um radiômetro térmico por substituição elétrica.	7
Figura 2: Imagem do protótipo do radiômetro de uso terrestre	9
Figura 3: Imagem com tipos de abertura de shutters óticos	10
Figura 4: C Diagrama em blocos do acionamento do shutter através do uso do sistema motor/microcontrolador	10
Figura 5: Diagrama de acionamento do shutter através do uso do sistema motor/microcontrolador.	11
Figura 6: Ilustração da placa de desenvolvimento NodeMCU ESP8266 com a descrição das portas de entrada e saída	13
Figura 7: Ilustração do Micro Servo Motor Tower Pro MG90S... ..	14
Figura 8: LDR.....	14
Figura 9: Circuito simulando o Shutter	15
Figura 10: Fluxograma	16



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GDF - Grupo de Dispositivos Fotovoltaicos

GPIO - Entrada/Saída de Uso Geral

IDE - Ambientes de desenvolvimento integrado

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

ms – Milissegundos

TSI - Irradiância Solar Total

WI-FI - Wireless Fidelity



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
1.1 Objetivos	6
1.2 Objetivos específicos iniciais	6
1.3 Atividades programadas inicialmente.....	6
1.4 Atividades entregues.....	6
2. RESUMO DO ESTUDO TEÓRICO	7
2.1 Radiômetro absoluto e o papel do shutter na medição do radiômetro absoluto	7
2.2 Conceito de Shutter e mecanismos de acionamento elétrico	9
3. INÍCIO DA MONTAGEM BÁSICA DO MECANISMO E CONTROLE EM BANCADA	11
3.1 Materiais e Métodos.....	12
3.1.1 Conceito de Shutter	12
3.1.2 Microcontroladores	12
3.1.2.1 ESP8266 NodeMCU Kit.....	12
3.1.3 Micro Servo Motor MG90S	13
3.1.4 LDR.....	14
3.1.5 Softwares Computacionais	14
3.1.6 Teste e análise realizados	15
3.1.7 Resultados e discussões do teste.....	16
3.1.8 Conclusão do teste	17
4. AGRADECIMENTOS	18
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
6. ANEXOS	18
6.1 Programação final.....	18
6.2 Datasheet Servo SG90S	20
6.3 Datasheet Servo MG90S.....	21



1. INTRODUÇÃO

A radiação solar que chega ao início da atmosfera terrestre é uma das mais importantes variáveis que compõem os modelos matemáticos dedicados às análises das mudanças climáticas. A medição da Irradiância Solar Total (TSI) exige a utilização de radiômetros especiais de alta precisão e sondas ou satélites para medição fora da atmosfera terrestre.

Visando contribuir cientificamente com os estudos sobre os fenômenos solares e obter uma melhor compreensão e entendimento das mudanças climáticas no planeta Terra, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) está desenvolvendo um radiômetro absoluto com a finalidade de realizar medições, em órbita, da irradiância solar total (KOOP et al 2004). Um dos principais objetivos dessa instrumentação espacial é a obtenção de um valor de medição referencial para servir de elemento padrão para a realização de metodologias de calibrações e determinação de incertezas em medições dessa grandeza em solo. No entanto, para a realização de testes iniciais, para gerar os parâmetros necessários no desenvolvimento do produto final que irá para o espaço, foi desenvolvido um elemento sensor por Carlesso em 2018, e posteriormente a sua integração em um protótipo de radiômetro (LOPES, 2020) (LOPES et al, 2021).

O radiômetro consiste no sensor que fica em uma temperatura pré-determinada e o obturador (shutter) é responsável por controlar a incidência da radiação, através da abertura e fechamento. Para que o sensor mantenha a temperatura constante, durante o momento em que a radiação está incidindo e o aquecendo, a potência elétrica é reduzida na mesma proporção. Essa potência da radiação incidente se dá pela diferença da potência elétrica antes e depois da exposição.

A abordagem deste projeto coloca o shutter como papel fundamental para o bom desempenho do instrumento como um todo, visando diminuir o tempo de resposta e possibilitando aumentar a vida útil. Dessa forma, o foco principal é o estudo, entendimento e implementação do shutter no radiômetro de substituição elétrica. Visando encontrar soluções que atendam essas necessidades foi proposto pelo GDF um trabalho de Iniciação Científica para a análise de desempenho do sistema obturador do radiômetro.



1.1 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho consistia no estudo, entendimento e implementação do sistema obturador (shutter) do radiômetro de substituição elétrica e, ao mesmo tempo, na apresentação de parâmetros de análise de desempenho.

1.2 Objetivos específicos iniciais

E como objetivos específicos tinham como: Estudar o funcionamento de um radiômetro de irradiância solar total de substituição elétrica e os princípios e mecanismos de controle ativo de um obturador (shutter); Implementar o mecanismo e o controle eletrônico de shutter de uma cavidade; Determinar os parâmetros de interesse para monitorar o desempenho do sistema shutter; Monitorar o desempenho do sistema shutter.

1.3 Atividades programadas inicialmente

Para alcançar os objetivos citados no item 1.2 foram programadas inicialmente as seguintes atividades: Estudo da bibliografia disponível; Estudos do radiômetro em desenvolvimento no INPE e da teoria de controle; Estudo dos princípios e mecanismos de controle ativo de um shutter; Iniciar a montagem básica do mecanismo e controle em bancada; Finalizar montagem do mecanismo e controle em bancada; Determinar os parâmetros de interesse para monitorar o desempenho do sistema shutter; Monitorar o desempenho do sistema shutter; Elaboração da matriz de testes e critérios de qualificação para o dispositivo; Testes em laboratório para correção de problemas do dispositivo desenvolvido; Identificação de possíveis problemas e melhorias; Entrega de relatório.

1.4 Atividades entregues

Porem devido à redução do tempo de execução do projeto, as atividades entregues no período de três meses, período esse referente ao início da bolsa de IC até o pedido de cancelamento por parte desta relatora por motivos pessoais, foram o estudo do radiômetro em desenvolvimento no INPE; estudo dos princípios e mecanismos de controle ativo de um shutter;

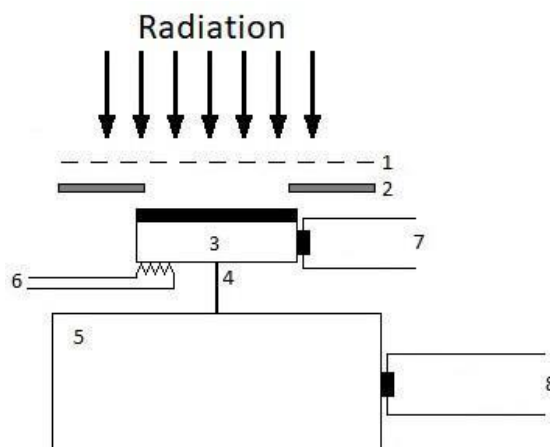
início da montagem básica do mecanismo e controle em bancada.

2. RESUMO DO ESTUDO TEÓRICO

2.1 Radiômetro absoluto e o papel do shutter na medição do radiômetro absoluto

Está em andamento no INPE o desenvolvimento de instrumento de medição de irradiância solar absoluto-TSI [(CARLESSO,2018), (BERNI et al,2022)]. O princípio de funcionamento deste tipo de radiômetro consiste na comparação do aquecimento gerado pela radiação incidente com a mesma quantidade de aquecimento gerado por efeito Joule de uma resistência acoplada ao sensor. Desta forma, sendo possível comparar diretamente a potência da radiação incidente com a potência elétrica em Watts do Sistema Internacional, sem a necessidade de calibrações (KOPP et al, 2004). Este método é conhecido como substituição elétrica [(DATLA & PARR, 2005), (HENGSTBERGER, 1989)]. O medidor de temperatura acoplado no sensor e no reservatório servem apenas como monitores relativos tendo como característica principal a resolução. A Figura 1 mostra o conceito básico deste tipo de instrumento. O elemento sensor é um objeto absorvedor conectado a um grande reservatório de calor (heat sink) através de uma pequena junção de baixa condutância térmica (heat link). A condutância térmica do link deve ser alta o suficiente para não prejudicar a sensibilidade do instrumento, mas deve permitir o escoamento do calor para o reservatório sem prejudicar o tempo de resposta.

Figura 1. Esquema simplificado de um radiômetro térmico por substituição elétrica. 1- Obturador (SHUTTER) que controla o tempo de exposição; 2- Abertura principal que limita a radiação que atinge o sensor; 3 – Sensor térmico; 4 – Condutor térmico / Heat link; 5 – Reservatório /Heat sink; 6 – Resistência de aquecimento; 7 e 8 – sensores relativos de temperatura.





Fonte: (LOPES et al,2021)

O radiômetro pode ser operado de duas maneiras básicas (LOPES et al, 2021). Na primeira, utiliza-se duas cavidades que são mantidas em uma mesma temperatura através das resistências de aquecimento. Uma das cavidades é exposta a radiação até atingir uma temperatura de equilíbrio enquanto a outra cavidade é mantida no escuro. Em seguida, aplica-se potência elétrica no sensor que estava no escuro até atingir a mesma temperatura. Neste método o tempo de resposta do radiômetro fica comprometido. Na segunda, o sensor é mantido em uma temperatura pré-determinada e o obturador (shutter) controla a incidência da radiação através da abertura e fechamento. Durante o breve período que a radiação está incidindo e aquecendo o sensor a potência elétrica é reduzida na mesma proporção para manter a temperatura do sensor constante. A potência da radiação incidente é calculada através da diferença da potência elétrica antes e depois da exposição. Nos dois métodos de funcionamento o radiômetro pode ser formado por vários sensores para diminuir o tempo de resposta e no caso do emprego em ambiente espacial, aumentar a vida útil do instrumento diminuindo a degradação dos sensores. A Figura 2 mostra o protótipo de radiômetro terrestre montado no laboratório GDF, onde pode-se observar a janela de entrada de radiação, a base e o corpo do instrumento e, o cabeamento para as conexões elétricas. O shutter é posicionado logo acima da janela de exposição com intuito de limitar a passagem de radiação.

Figura 2. Imagem do protótipo do radiômetro de uso terrestre. 1- Janela de exposição; 2- corpo do radiômetro; 3 – base do radiômetro; 4 – cabeamento para aquecimento elétrico e leitura de sinais de temperatura.

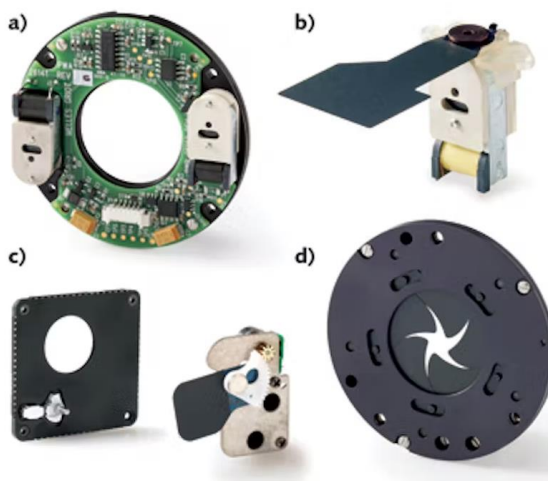


Fonte: Autoria própria.

2.2 Conceito de Shutter e mecanismos de acionamento elétrico

O shutter é um objeto constituído de material geralmente opaco que serve para controlar a quantidade de radiação que chega ao sensor, deixando a passagem maior ou menor, dependendo de sua abertura. De forma que a geometria e o material empregado são variáveis importantes no desempenho do shutter. Além de que os tipos de acionamento deste artefato devem ser levados em conta, dependendo do tipo de acionamento modifica a forma e o tempo de fechamento. A Figura 3 mostra alguns tipos de acionamento tais como rotor, passo e solenoide.

Figura 3. Imagem com tipos de abertura de shutters óticos: a) tipo rotor; b) tipo bandeirinha; c) tipo por passos, e (d) tipo por solenoide.

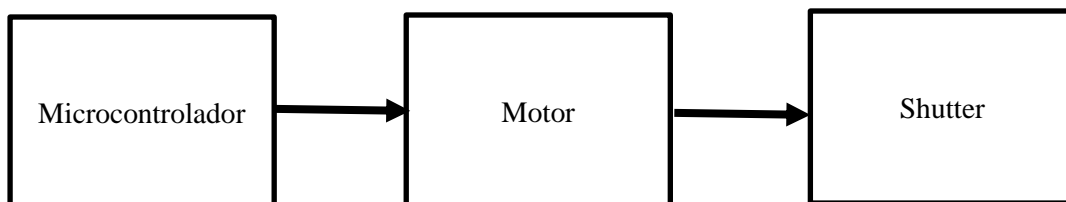


Fonte: retirado em 15-12-2022 do site Laser Focus World -

<https://www.laserfocusworld.com/optics/article/16551703/optical-components-shutter-types-vary-to-meet-application-needs>

Levando em conta o descrito nos parágrafos anteriores, o sistema de acionamento do shutter deve ser eletronicamente controlado para que possibilite tanto a repetição como a precisão das quantidades de entrada e radiação pela abertura do radiômetro. O sistema de acionamento mínimo pode consistir em um motor acionado por um circuito eletrônico micro programado como mostra o diagrama da Figura 4.

Figura 4. Diagrama em blocos do acionamento do shutter através do uso do sistema motor/microcontrolador.

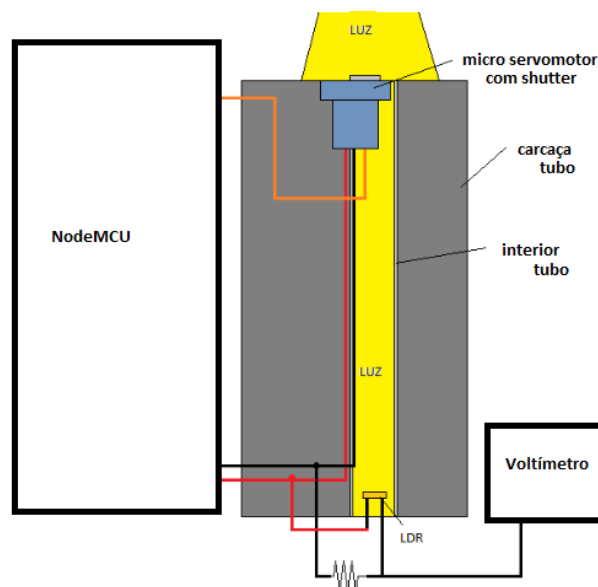


Fonte: Autoria própria.

3. INÍCIO DA MONTAGEM BÁSICA DO MECANISMO E CONTROLE EM BANCADA

O objetivo deste tópico foi desenvolver uma bancada de teste para mensurar o tempo de abertura e fechamento do shutter movimentado pelo motor como mostra a Figura 5. O motor utilizado foi o servo motor SG90 9G (data sheet conforme anexo I). E para operá-lo foi utilizada a placa NodeMCU. O método utilizado para conseguir determinar o tempo de abertura e fechamento do servo motor é através da curva de resposta de um sensor LDR, alimentado com 5V, quando ele se encontra no escuro (shutter fechado) até o momento em que se encontra na claridade (shutter aberto). Para isso, coloca-se o LDR dentro da cavidade óptica, na parte anterior do radiômetro, frontalmente com o orifício de entrada de luz, onde se encontra o shutter. Perto do shutter, projeta-se uma luz direta com a cavidade de entrada para que, quando o servo motor rode o shutter e permita a passagem de luz no interior do caminho óptico do radiômetro, o LDR excita e altera sua resistência, alternando a tensão sobre ele. O comando de abertura e fechamento é programado internamente no microcontrolador. A alimentação do Servo motor e do LDR é dada pela própria placa do NodeMCU.

Figura 5. Diagrama de acionamento do shutter através do uso do sistema motor/microcontrolador.



Fonte: Autoria própria.



3.1 Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento inicial do projeto foram utilizados alguns elementos com a finalidade de entender e testar todos os componentes envolvidos no radiômetro. Os componentes foram colocados em testes práticos para observar seus resultados e validar as informações fornecidas pelos fabricantes.

3.1.1 Conceito de Shutter

A geometria, bem como o material empregado, ainda está sendo estudados pelo grupo GDF, esses temas não serão abordados detalhadamente neste trabalho. Será considerado como proposta inicial que o shutter é de material plástico em forma de gota, suficientemente leve para ser acionada por um micro motor.

3.1.2 Microcontroladores

Os microcontroladores se trata de um chip de circuito integrado único, contendo memória, núcleo de processador e periféricos de entrada e saída, que tem o poder de serem programados. Seu uso é de extrema importância no desenvolvimento desta ~~pesq~~ pois os microcontroladores são indicados para prototipagem, a partir da facilidade no quesito programação, sendo versátil e prático. Para projeto foi escolhido o kit NodeMCU devido a facilidade de acesso e desenvolvimento com várias informações e ferramentas disponíveis gratuitamente na internet.

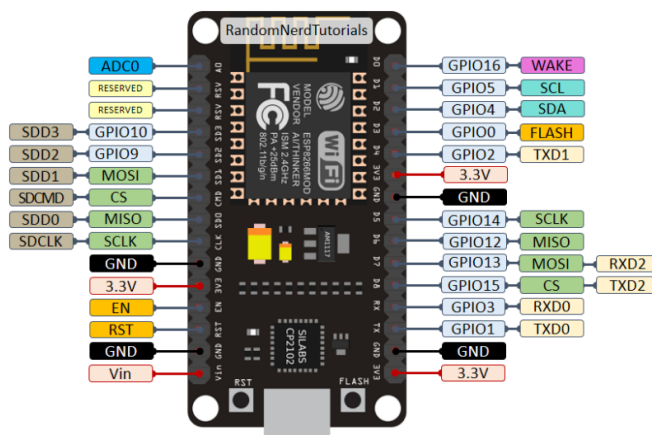
3.1.2.1 ESP8266 NodeMCU Kit

O microcontrolador ESP8266 da Espressif® é um microcontrolador que tem como processador um single-core de 80MHz de baixo consumo de energia e com WiFi integrado.

Já o NodeMCU Devkit 1.0 é uma placa de desenvolvimento que combina o chip ESP8266, uma interface usb-serial e um regulador de tensão. Sua programação pode ser feita utilizando LUA ou a IDE do Arduino com a comunicação através do cabo micro-usb.

Segundo as especificações do fabricante, uma de suas fundamentais utilidades é poder-se conectar à uma rede Wi-Fi padrão, o que facilita projetos que necessitam dessa tecnologia. A figura 6 mostra a ilustração do NodeMCU ESP8266 com suas portas de entrada e saídas.

Figura 6. Ilustração da placa de desenvolvimento NodeMCU ESP8266 com a descrição das portas de entrada e saída.



Fonte: ESP8266 12-E NodeMCU Kit – retirado em 15-12-2022 de:
<https://randomnerdtutorials.com/esp8266-pinout-reference-gpios/>

3.1.3 Micro Servo Motor MG90S

O Micro Servo Motor MG90S é um pequeno motor, leve e prático, como mostra a Figura 7. Utilizado com grande frequência em projetos robóticos, aeromodelismo e automação em geral, onde movimentos de até 180 graus sejam necessários. Esse componente possui alta potência de saída, é de fácil manipulação, possui engrenagens de metal, controle de PCB e IC oferecendo maior precisão, pesa 13,4 g, tem uma velocidade de operação de 0,1s/60° e 0,08s/60°, tensão alimentação 4,8 V à 6 V, torque de 1,8Kg/cm à 2,2 Kg/cm e uma largura de banda morta de 5 µs.

Figura 7. Ilustração do Micro Servo Motor Tower Pro MG90S



Fonte: Micro Servo Motor 90g MG90S / WJ Componentes

3.1.4 LDR

O LDR, ou Resistor Dependente de Luz é, como o nome diz, um resistor que varia sua resistência de acordo com a luz que incide sobre ele. Possuindo dois terminais e não obtendo polaridade, demora cerca de 10ms para detectar a mudança de um ambiente escuro para um claro. Em vários projetos o LDR se encaixa perfeitamente, podendo dar respostas através da intensidade luminosa do ambiente. A Figura 8 mostra a ilustração de um LDR.

Figura 8: LDR



Fonte: Sensor Foto resistor LDR / ELETROGATE

3.1.5 Softwares Computacionais

- EasyEDA

A ferramenta EasyEDA é um aplicativo online, foi utilizado para desenhar diagramas esquemáticos e placas de circuito impresso. Devido a seu fácil acesso e gratuidade é muito utilizado.

- Arduino IDE

A IDE do Arduino é um ambiente de desenvolvimento integrado, ou seja, ambiente desenvolvido para que o usuário tenha tudo o que precisa para programar sua placa na

plataforma. São disponibilizadas ao usuário diversas ferramentas, como correção de erros, monitor serial, inclusão de bibliotecas, carregamento de código, entre outros.

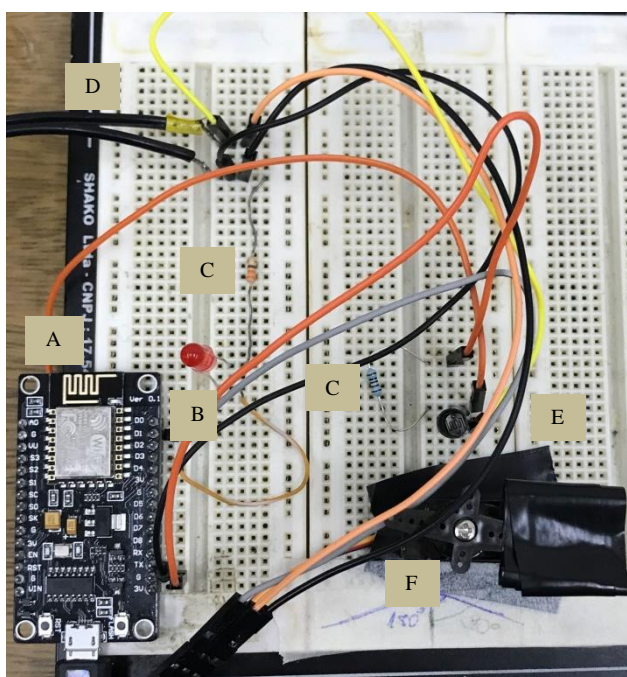
3.1.6 Teste e análise realizados

Para melhor entendimento do funcionamento do ESP8266, inicialmente foram realizados testes simples com o microcontrolador, como acionamento de LED com efeito fade-in e fade-out, circuito com potenciômetro, sistema de partida on-off, circuito utilizando LCD, monitor serial comandando LED, entre outros. Após a adaptação e estudo com os testes iniciais, foi feito um circuito teste utilizando Servo motor e LDR, simulando o funcionamento do shutter no protótipo real como exibido na Figura 9.

Para a montagem do circuito simulando Shutter, foi utilizada no LDR uma espécie de proteção contra a luz, para que os testes não sofressem alterações externas e para simular o Shutter, colocou-se um pedaço de fita isolante na ponta da asa ligada ao rotor do servo motor. O funcionamento do circuito consistia em o LDR a todo tempo captando sinal de luz para que quando fosse tampado conseguisse transmitir um sinal de luz. Conforme o servo se movimentava e tampava a cavidade exposta do LDR, o LED acendia.

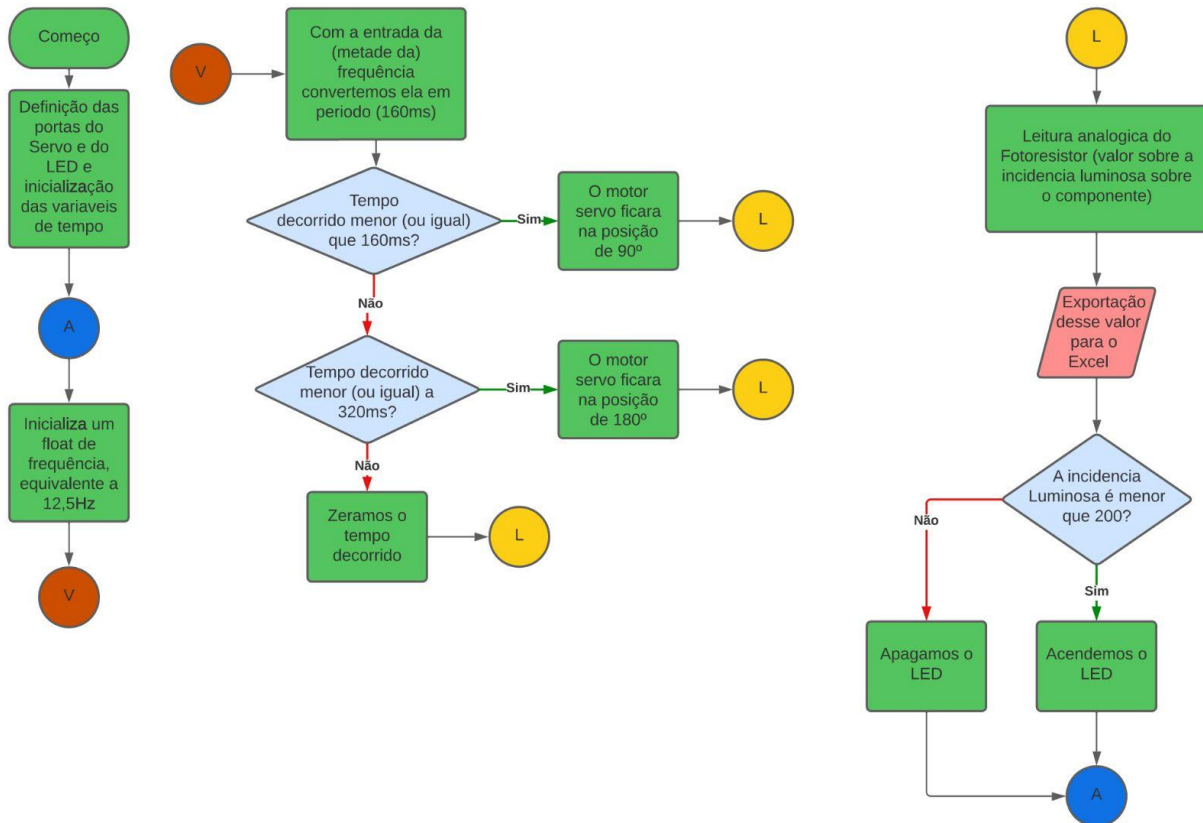
Figura 9: Circuito simulando Shutter

A) placa NodeMCU; B) led; C) resistor; D) Cabos da fonte externa; E) LDR, e F) Servo Motor.



Fonte: O Autor

Figura 10: Fluxograma



Fonte: O Autor

3.1.7 Resultados e discussões do teste

Durante os testes dos circuitos foi observado um defeito na alimentação da placa Esp8266. Após testar todas as saídas, encontrou-se a raiz do problema que foi rapidamente solucionado adicionando uma fonte externa.

Com o circuito funcionando em suas condições ideais, obtivemos os resultados satisfatoriamente esperados. O servo movimentou o “shutter” de maneira rápida e eficiente, o LDR captou as luzes corretamente e o led finalizou sinalizando a condição do shutter se estava aberto ou fechado.



3.1.8 Conclusão do teste

Após os testes realizados em laboratório, concluiu-se que o shutter tem um papel fundamental e que se instalado, programado e manuseado da maneira correta só tem a agregar no projeto como um todo. Apesar dos testes não terem avançado para que fosse possível colocar em prática os códigos e montagens no protótipo real, os resultados em bancada foram satisfatórios. Foi possível analisar que o Esp8266 e o LDR contribuíram significativamente para o bom e veloz funcionamento dos testes. Para atividades futuras é necessário utilizar todo o estudo já realizado e colocar em funcionamento todos os testes feitos em bancada, dessa forma, concluindo o projeto com o desempenho ideal do shutter no protótipo.

4. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a CAPES, CNPq e ao INPE pelo ambiente tecnológico, preparado e pela oportunidade que proporciona.

Com muita admiração e respeito venho mostrar toda minha gratidão ao doutor e coorientador Ricardo Toshiyuki Irita, que dia após dia mostra sua dedicação por sua profissão. Agradeço pelo empenho dedicado à elaboração deste projeto.

Ao meu orientador Waldeir Amaral Vilela, pela orientação, apoio e oportunidade.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da elaboração deste projeto, obrigada.



5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNI, Luiz Angelo ; IRITA, Ricardo Toshiyuki ; VILELA, Waldeir Amaral . Geometric Parameter Determination by Ray Tracing of a Radiation-Absorbing Cavity Painted with Specular Ink. BRAZILIAN JOURNAL OF PHYSICS, v. 52, p. 103, 2022.

CARLESSO, F. Desenvolvimento de elemento sensor para medida da irradiância solar integrada. 2018. Tese (Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE de São José dos Campos - SP, São José dos Campos - SP, 2018.

DATLA, R.; PARR, A. Introduction to Optical Radiometry. In: PARR, A.; DATLA, R.; GARDNER, J. Optical Radiometry. San Diego CA EUA: Elsevier Inc., 2005. E-book. ISBN 0 12 475988 2.

HENGSTBERGER, F. Absolute Radiometry. 1. ed. London: ACADEMIC PRESS, INC., 1989. 282 p. ISBN 978-0-12-340810-5. DOI 10.1016/B978-0-12-340810-5.X5001-4. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-340810-5.X5001-4>. Acesso em: 12 jun. 2018.

KOPP, G.; LAWRENCE, George; ROTTMAN, Gary. The Total Irradiance Monitor Design and On-Orbit Functionality. SPIE, Bellingham, WA, p. 14-25, 4 fev. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1117/12.505235>. Acesso em: 16 set. 2019.

LOPES, Andre de Godoi ; IRITA, Ricardo Toshiyuki ; BERNI, Luiz Angelo ; VILELA, Waldeir Amaral ; SAVONOV, Graziela da Silva ; CARLESSO, Franciele ; VIEIRA, Luis Eduardo Antunes ; MIRANDA, Edson Luis de . Simplified Thermal Model for Absolute Radiometer Simulation. JOURNAL OF SOLAR ENERGY ENGINEERING-TRANSACTIONS OF THE ASME, v. 143, p. 051004-1-051004-6, 2021.

LOPES, André de Godoi. Estudos preliminares para o desenvolvimento de um radiômetro de substituição elétrica. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores). São José dos Campos : INPE, 2020.

6. ANEXO

6.1 Programação Final

```
#include<Servo.h> // inclui servo motor como periférico controlável
#define led 0 //define o LED na D3 - GPIO 0
Servo servoD1; //Define a variável do servo motor
unsigned long t=0; //declara que o tempo do total do código inicia em 0
unsigned long t0=0; // declara que o tempo inicial do código inicia em 0

void setup() {
  int angle=0;
  Serial.begin(9600); //velocidade de transmissão de bits
  servoD1.attach(D1); // define D1 para controlar o giro do servo motor
  servoD1.write(angle); // define o ângulo inicial que os servos irão começar
  pinMode(led, OUTPUT); // define LED como saída
```



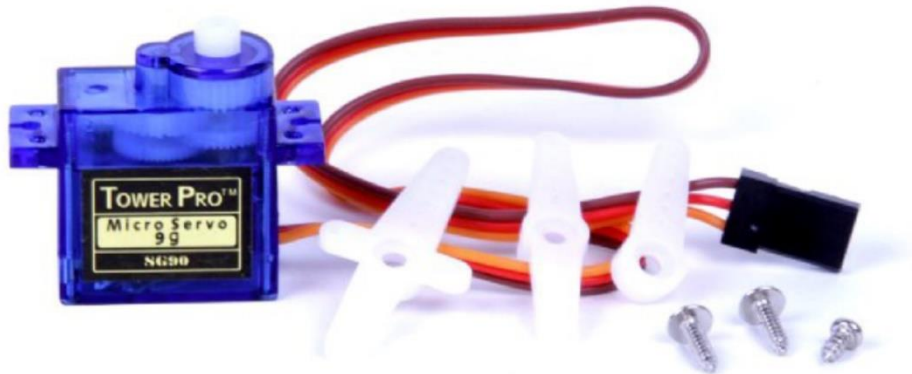
```
//transferencia para o excel:
Serial.println("CLEARDATA"); //limpa os dados
Serial.println("LABEL, Hora, Data, Luz"); // define os dados das colunas
}
void loop(){
  int luz1;
  float f = 0.0125; // equivale à 80 milisegundos
  Velocidade(f/2);
  luz1 = Light();
  Serial.print(luz1);
}
void Velocidade(float f){
  int T = 1/f;
  Serial.print(T);
  t = millis()-t0; //condição para conferir se já atingiu o tempo necessário
  if (t <= T){ //condição para acionar o servo motor em 90°
    servoD1.write(90);
  }else if(t <= 2*T){ //Se não, acionar o servo motor em 180°
    servoD1.write(180);
  }else if (t > 2*T){ //Se não, nova condição para zerar o tempo da execução
do programa e iniciar novamente os códigos, formando um loop
    t0=millis();
  }
}
int Light(){
  int luz=0;
  luz = analogRead(A0); //luz recebe a leitura do valor do pino analógico A0

  //transferencia para o excel
  Serial.print("DATA, DATE, TIME,"); //Colunas
  Serial.println(luz);
  delay(10);
  if (luz>200){ // rotina para leitura da luz externa, acender o led se ela
for menor que 200
    digitalWrite(led, LOW);
  }else{
    digitalWrite(led, HIGH);
  }
  return luz;
}
```

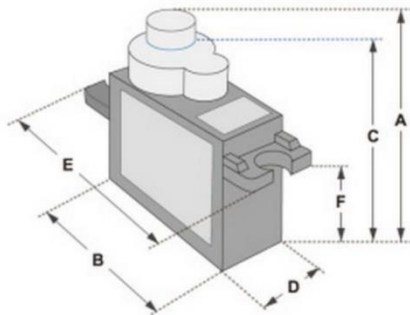
6.2 Datasheet Servo SG90 9G

SERVO MOTOR SG90

DATA SHEET

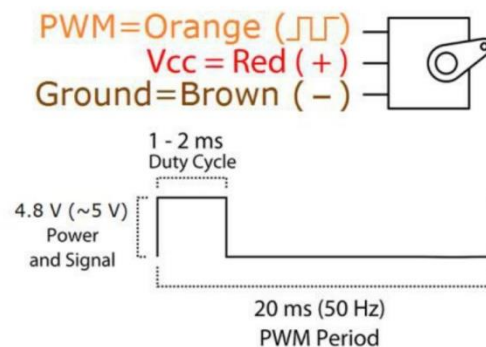


Tiny and lightweight with high output power. Servo can rotate approximately 180 degrees (90 in each direction), and works just like the standard kinds but smaller. You can use any servo code, hardware or library to control these servos. Good for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. It comes with a 3 horns (arms) and hardware.



Dimensions & Specifications	
A (mm) :	32
B (mm) :	23
C (mm) :	28.5
D (mm) :	12
E (mm) :	32
F (mm) :	19.5
Speed (sec) :	0.1
Torque (kg-cm) :	2.5
Weight (g) :	14.7
Voltage :	4.8 - 6

Position "0" (1.5 ms pulse) is middle, "90" (~2ms pulse) is middle, is all the way to the right, "-90" (~1ms pulse) is all the way to the left.



6.3 Datasheet Servo MG90S



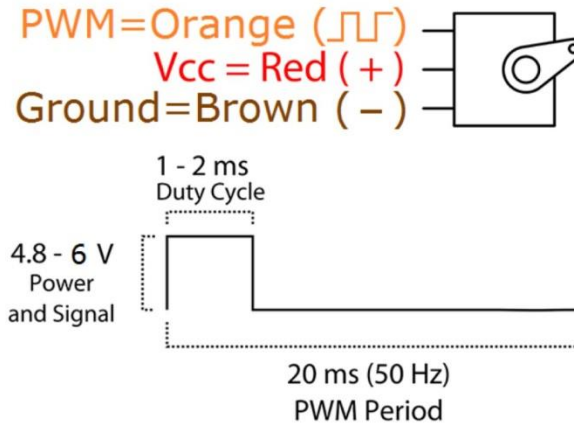
MG90S servo, Metal gear with one bearing

Tiny and lightweight with high output power, this tiny servo is perfect for RC Airplane, Helicopter, Quadcopter or Robot. This servo has *metal gears* for added strength and durability.

Servo can rotate approximately 180 degrees (90 in each direction), and works just like the standard kinds but *smaller*. You can use any servo code, hardware or library to control these servos. Good for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. It comes with a 3 horns (arms) and hardware.

Specifications

- Weight: 13.4 g
- Dimension: 22.5 x 12 x 35.5 mm approx.
- Stall torque: 1.8 kgf·cm (4.8V), 2.2 kgf·cm (6 V)
- Operating speed: 0.1 s/60 degree (4.8 V), 0.08 s/60 degree (6 V)
- Operating voltage: 4.8 V - 6.0 V
- Dead band width: 5 μ s



Position "0" (1.5 ms pulse) is middle, "90" (~2 ms pulse) is all the way to the right, "-90" (~1 ms pulse) is all the way to the left.