

Sistema de posicionamento de painéis fotovoltaicos utilizando microcontrolador

Leandro da Silva Nicácio,
Engenheiro Eletricista pelo Centro Universitário CESMAC.
e-mail: leandro_nicacio@hotmail.com

Sérgio Silva de Carvalho,
Mestre em Ciência da Computação pela UFPE.
e-mail: ssc1511@gmail.com

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo propor o estudo e o desenvolvimento de um protótipo para sistema de posicionamento de painéis fotovoltaicos utilizando microcontrolador, de forma a aperfeiçoar sua eficiência que hoje se encontra em níveis impeditivos devido ao seu alto custo o que dificulta sua popularização e possível sucessão aos combustíveis fósseis. O sistema é formado por um *software* embarcado, também conhecido por *embedded system*, e por um *hardware* que controla o posicionamento do painel de acordo com informações coletadas por sensores de luminosidade. O *firmware* ou *software* embarcado são algoritmos que permitem ao microcontrolador fazer comparações sucessivas e assim determinar a correta posição do painel solar. Neste trabalho foi utilizado um pequeno circuito eletrônico controlando uma estrutura mecânica. Seus movimentos tendem a corrigir constantemente sua inclinação em relação aos raios solares ao longo do dia, permitindo sempre a incidência perpendicular destes raios, portando permitindo a maior insolação possível sobre o painel. Para simplificação da parte mecânica o protótipo não possui automação para movimentos do sol ao longo das estações do ano.

Palavras-chave: Sistema de posicionamento. Painéis fotovoltaicos. Microcontroladores.

INTRODUÇÃO

A procura por novas formas de energia não poluentes e renováveis levou a descoberta do efeito fotovoltaico pelo físico experimental francês Edimund Becquerel em 1839 e posteriormente ao advento da tecnologia das células fotovoltaicas. A tecnologia atual possibilita apenas 15%, em média e máxima de 30% da conversão de fótons em energia elétrica (VALLÊRA, 2006).

Sendo a maioria das aplicações em painéis fixos, na medida em que os raios solares mudam o ângulo de incidência, com o passar do dia, ou mesmo com a mudança das estações do ano, têm-se uma perda significativa na conversão de energia fotovoltaica. É sabido que a melhor conversão de energia se dá quando existe uma perpendicularidade dos raios solares com a superfície do painel solar.

Por tanto, este estudo visa o posicionamento de painéis fotovoltaicos de forma automatizada utilizando microcontrolador ATmega 328, o que permite uma melhora na absorção da energia solar e na eficiência de painéis fotovoltaicos.

DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Neste capítulo abordam-se as características do projeto, citando cada componente e para os mais importantes é feita uma descrição detalhada do hardware e software.

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Como este projeto trata de um sistema de posicionamento de um painel fotovoltaico, ou seja, do controle automatizado de sua posição, lança-se mão de vários componentes listados a seguir:

- a) 1 Célula fotovoltaica 6V 1W;
- b) 1 Potenciômetro de 10 K Ω ;
- c) 2 Resistores 10 K Ω ;
- d) 2 *Light Dependent Resistors* (LDR);

- e) 1 Servo motor;
- f) 1 Microcontrolador Arduino ATmega 328;
- g) Conectores;
- h) Material para a estrutura;
- i) Solda de estanho;
- j) Cola quente;
- k) Pistola para cola quente;
- l) Fios para ligações;
- m) Parafusos ;
- n) Porcas;
- o) Arruelas.

1.1.1 Célula fotovoltaica

Para exemplificar o painel fotovoltaico será utilizada uma placa fotovoltaica de baixa potência da *Adafruit Industries* que simulará a captação da energia solar, e posteriormente a captação de dados de desempenho do protótipo.

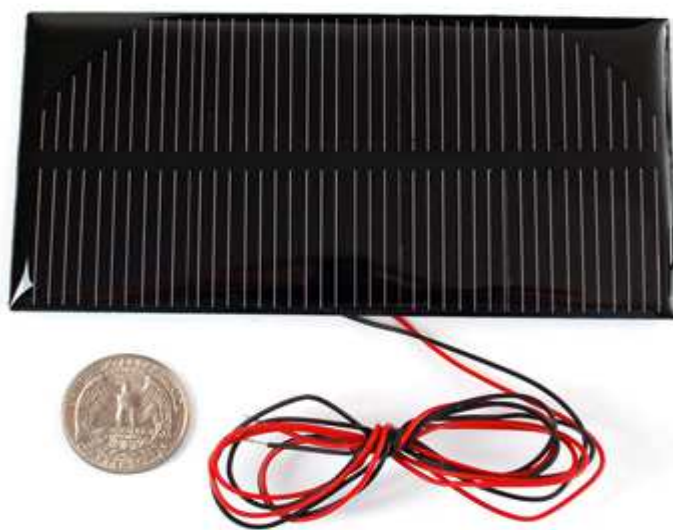


Figura 1 – Painel Solar de Baixa Potência.
Fonte: ADAFRUIT.

Este pequeno painel solar é capaz de prover aproximadamente 6V DC, 160 mA em insolação direta, Adafruit (2010). Sua especificação técnica é dada na Tabela 1.

Tabela 1 – Especificações Painel Solar SP 9261

Dimensões	4.9 x 2.5 x 0.13 interno (125 x 63 x 3.4 mm)
Potência nominal	1 W
Tensão nominal	6,0 V (DC)
Corrente nominal	160 mA
Temperatura de operação	0 – 70°C

Fonte: Dados de ADAFRUIT.

1.1.2 Potenciômetro Linear 10K Ω

Um potenciômetro é um dispositivo eletrônico que possui resistência elétrica variável (ajustável). Normalmente possui três terminais onde o pino central é deslizante. Quando utilizados os três terminais, atua como um divisor de tensão. No projeto, pelo potenciômetro serão feitos ajustes para a entrada do conversor Analógico/Digital. A Figura 2 mostra o potenciômetro usado no protótipo, e seu respectivo símbolo.



Figura 2 – Potenciômetro Linear 10K e Simbologia.
Fonte: Adaptado de LOJADOSOM.

1.1.3 Light Dependent Resistor (LDR)

Os LDRs são componentes eletrônicos capazes de variar sua resistência elétrica em função da intensidade da radiação eletromagnética visível (luz), incidente em uma superfície sensível do mesmo.



Figura 3 – LDR e Simbologia.
Fonte: Adaptado de LOJADOSOM.

Sua resistência elétrica aumenta alcançando a faixa de $M\Omega$ quando existe pouca ou nenhuma luz e diminui à algumas centenas de Ohms quando iluminado diretamente. No projeto, atuam como sensores de luminosidade a fim de detectar e informar ao microcontrolador uma tensão analógica com variações lineares de resistência elétrica em função da intensidade luminosa do ambiente. No protótipo serão utilizados dois destes componentes.

1.1.4 Servo motor

Para o controle de posicionamento do painel solar é necessário um tipo de motor cujas características sejam o controle preciso de posição dinâmica e torque constante. São essas as principais atribuições do servo motor. Uma definição seria; máquina, mecânica ou eletromecânica, que em função de um sinal de controle responde com um movimento proporcional. Conhecidos como dispositivos de malha fechada, recebem um sinal de atuação, comparando com a posição atual para em seguida, ir para o ponto desejado.

Ao contrário do motor que gira indefinidamente quando alimentado, o servo motor possui seu movimento restrito à cerca de 180° graus, em contrapartida apresenta alta precisão no posicionamento. Como outros componentes deste projeto, sua manufatura é Chinesa de *Shandong (Mainland)*, modelo *ser-gls09*, e será como o da Figura .



Figura 4 – Micro servo motor 9G.
Fonte: ADAFRUIT.

Tabela 2 – Especificações Técnicas Micro Servo Motor 9G

Dimensões	23x11x29 mm
Tensão	3 V a 6 V DC
Peso	9 g
Velocidade	0.12 seg./60 (em 4.8V)
Torque	1.6 kg-cm
Temperatura de Trabalho	-30 C~60° C
Outras características	Bucha de teflon, motor sem núcleo.

Fonte de dados: ADAFRUIT.

1.2 PROTÓTIPO

A função do protótipo é fazer com que a placa solar, ou painel fotovoltaico, alinhe-se perpendicularmente aos raios solares de forma autônoma, e como visto nos capítulos anteriores o resultado esperado é um ganho de potência deste painel, objetivo principal do projeto. Seguindo esta linha lógica, primeiro, o sistema deve ser capaz de ‘enxergar’ qual a posição real dos raios incidentes, os sensores LDR estarão alocados em um compartimento especial todos voltados à mesma posição, porém separados por anteparos.

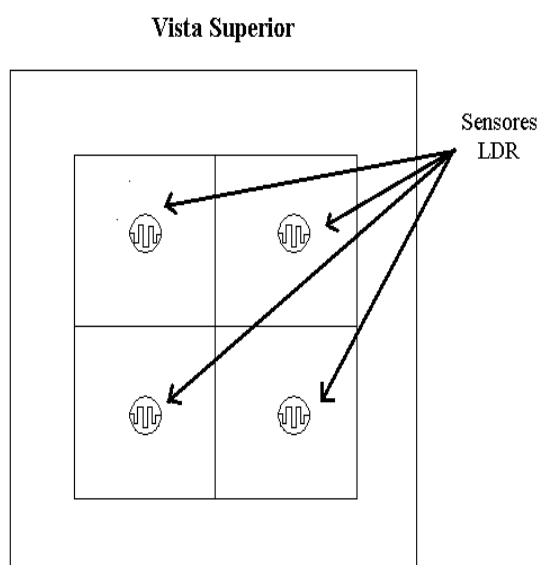


Figura 5 – Vista Superior do compartimento de Sensores.

Os anteparos causam sombras em alguns dos sensores e em outros não de acordo com a posição do painel, daí é possível formular algoritmos que interpretem as resistências em cada sensor e forneçam indicações ao microcontrolador de tal maneira que o firmware decide qual motor deve ser acionado para correção do posicionamento.

Vista Isométrica

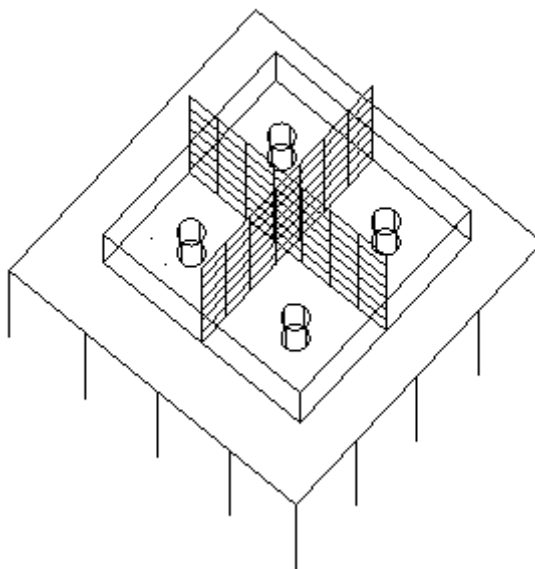


Figura 6 – Vista Isométrica e Superior do compartimento de Sensores.

Dois servos motores serão acoplados ao protótipo sendo o primeiro responsável pelo movimento de inclinação e o segundo pelo azimute, podendo ambos serem acionados ao mesmo tempo.

Como o protótipo a ser montado foi projetado para atuar somente no eixo de inclinação, para simplificar da parte mecânica, o sensor de alinhamento terá apenas dois LDR, posicionados a 90° um do outro e perpendicular ao plano do painel solar. Dois resistores de 10K Ω atuaram como divisores de tensão a fim de servir como entrada de dados para os conversores Analógico/Digital dos pinos quatro (4) e cinco (5) do Arduino.

Vale considerar que, pelas dimensões reduzidas do painel fotovoltaico sendo este um projeto experimental, a potência gerada pelo painel fotovoltaico em questão não é suficiente para realimentar o protótipo, compreendido pelo microcontrolador, e servo motores, o que significa a exigência de um circuito externo de força.

A Figura 7 ilustra o conceito de movimentação azimutal e de elevação.

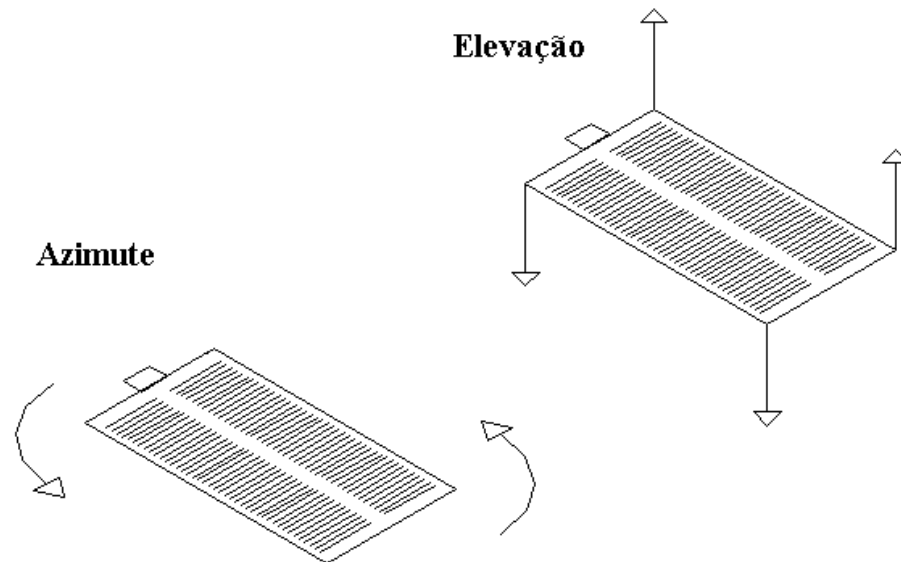


Figura 7 – Azimute e Elevação.

1.2.1 Circuito externo de força

Formado por uma fonte adaptadora AC/DC de 5V com entrada para 110/220V AC 50/60 Hz, potência nominal de 18W, corrente nominal 1000mA máxima, essas fontes são facilmente encontradas em lojas de material eletrônico e são de baixo custo, porém funcionam de forma estável.

1.2.2 Drivers de potência

Sendo o microcontrolador capaz de fornecer uma corrente máxima de 40 mA em seus pinos digitais, e cada servo consumindo mais que 100 mA, fica evidente a exigência de *drivers* de potência. Porém a escolha do micro servo 9 g dispensa altas correntes sendo possível a ligação direta no pino Power do Arduino. Para projetos com motores de passo, uma opção de *driver* é o Circuito Integrado (CI) ULN2003 APG fabricado pela Toshiba Malaysia, composto por 7 canais de pares Darlington¹ NPN. Algumas de suas aplicações incluem relés, lâmpadas e *displays* LED.

Atualmente estes circuitos integrados são produzidos em massa pela indústria eletrônica, o que proporciona baixos preços e facilidade de acesso. São encontrados na maioria das lojas do segmento. Suas ligações internas e pinos estão ilustrados na Figura 8.

¹ Configuração em cascata de dois transistores tipo NPN.

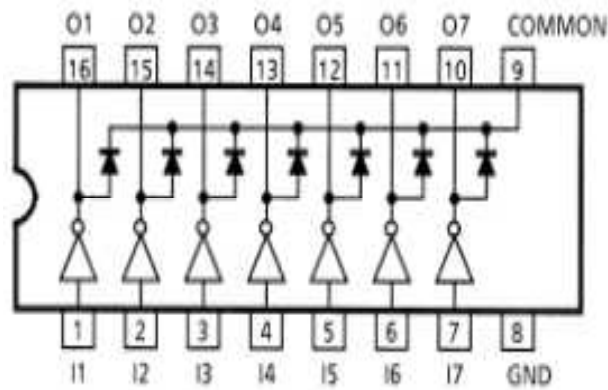


Figura 8 – Pinagem do CI ULN 2003 APG.
Fonte: TOSHIBA.

1.2.3 Estrutura do Protótipo

O corpo do protótipo será confeccionado de materiais reutilizáveis, a escolha deu-se em função do apelo ecológico da atualidade e também por serem disponíveis com facilidade e sem custos adicionais. Materiais como bandejas, *box* (CD, DVD) em plástico semi-rígido preto, cola quente, parafusos, porcas, arruelas. As placas em plástico serão cortadas e montadas de acordo com as medidas do modelo ilustrado na Figura 9.

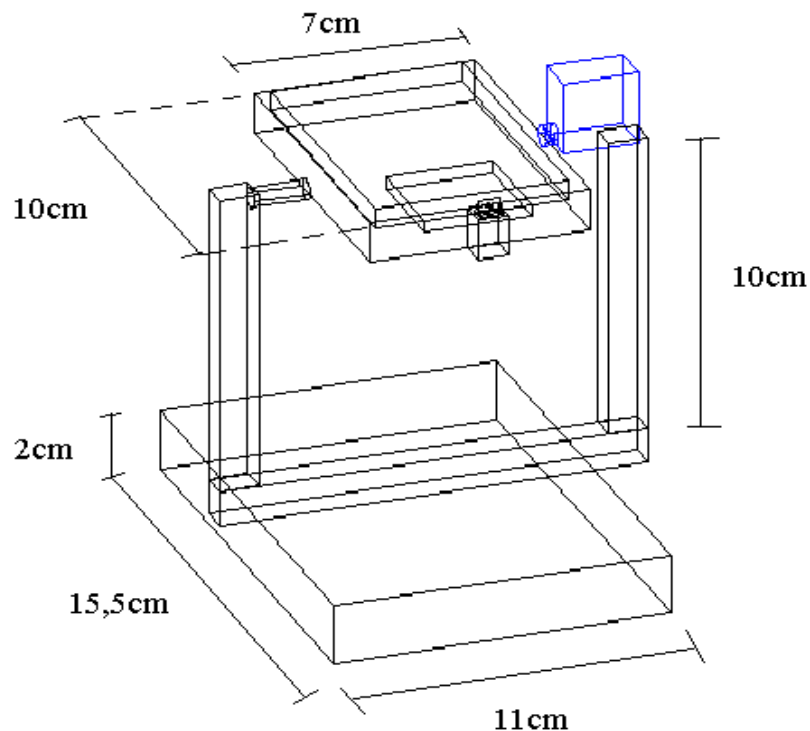


Figura 9 – Estrutura do protótipo.

1.3 DIAGRAMA ELÉTRICO

As ligações elétricas seguiram o diagrama da figura 10 abaixo.

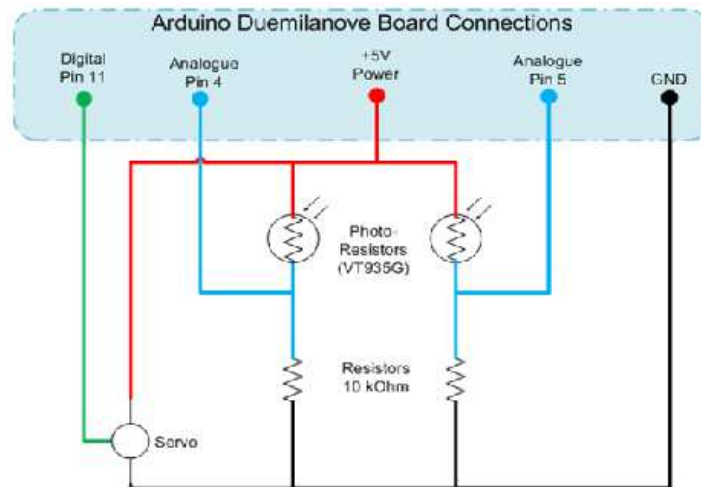


Figura 10 – Ligações elétricas do protótipo.

Fonte: AULD.

1.4 CÓDIGO FONTE

Este código foi escrito por Auld (2010), autor do artigo *Arduino Platform - Differential Gap Control Solar Tracker*, apresentando apenas pequenas alterações em algumas partes para um melhor funcionamento do protótipo.

As principais alterações foram: diminuição de cinco mil (5000) para três mil (3000) mili segundos (ms) do tempo de espera para a transição entre a posição máxima e mínima do servo motor e a tradução de textos apresentados no monitor serial da IDE Arduino através do comando `println("texto")`.

O código apresenta-se dividido em três partes. Primeiro são as declarações das variáveis usando o comando `int`, depois se configura as ações do protótipo através da rotina `VOID Setup`, em seguida se usa a rotina `VOID Loop` para que o Arduino execute a sequencia de código indefinidamente até que se pressione a mini chave `reset` na placa do Arduino ou o desconecte da fonte de alimentação.

Este código faz uso da biblioteca `<Servo.h>` da IDE Arduino, que possui vários parâmetros de controle para servo motores.

```

#include <Servo.h>

//IO Pins
int pinL = 5;      //Left Sensor IO Pin
int pinR = 4;      //Right Sensor IO Pin
int pinServo = 11; //Servo PWM pin

int leftValue = 0; //The left Sensor Value
int rightValue = 0; //The right Sensor Value
int error = 0;     //The Deviation between the 2 sensors
int errorAVG = 0;  //Error Average - Rolling 2 Point

int deadband = 10; //Range for which to do nothing with output 10 = -10 to +10
//Servo Stuff
Servo hServo;      //The servo object
int Position = 45; //Position to write out

int minPos = 5;    //Min Position
int maxPos = 150;  //Max Position

float output = (maxPos - minPos) / 2; //Initial output Position

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  hServo.attach(pinServo);

  //Set Servo to Centre for Alignment Purpose
  Serial.println("Movendo o servo motor para posicao minima ");
  hServo.write(minPos);
  delay(3000);
  Serial.println("Movendo servo motor para posicao maxima");
  hServo.write(maxPos);
  delay(3000);
  Serial.println("Movendo servo motor para posicao media");
  hServo.write(output);
  delay(3000);
  Serial.println("Movendo.....");
}

void loop()
{
  //Input Reading
  leftValue = analogRead(pinL);
  rightValue = analogRead(pinR);

  Serial.print("L = "); Serial.print(leftValue); Serial.print(" | ");

  Serial.print("R = "); Serial.print(rightValue); Serial.print(" | ");

  Serial.print("E = "); Serial.print(error); Serial.print(" | ");

  Serial.print("Eavg = "); Serial.print(errorAVG);

  Serial.println();

  //Calculate
  error = leftValue - rightValue;
  errorAVG = (errorAVG + error) / 2;
}

```

```

float newOutput = output + getTravel();

if (newOutput > maxPos)
{
  Serial.println("At Upper Limit");
  newOutput = maxPos;
}
else
{
  if (newOutput < minPos)
  {
    Serial.println("At Lower Limit");
    newOutput = minPos;
  }
}

Serial.println("Writing output");

//Output Writing

hServo.write(newOutput);
output = newOutput;
}
int getTravel()
{
  // -1 = Left; +1 = Right

  if (errorAVG < (deadband * -1))
  {
    return 1;
  }
  else
  {
    if (errorAVG > deadband)
    {
      return -1;
    }
    else
    {
      //Do not move within deadband
      return 0;
    }
  }
}
}

```

Este código fonte permite o controle do movimento de inclinação do protótipo com considerável grau de precisão, apesar de apresentar certa instabilidade em alguns momentos podendo ser modificado para alcançar o resultado desejado.

Uma alteração válida seria a retirada da linha de código que trata do movimento inicial de máximo para direita e esquerda na etapa *void setup*, sendo este um movimento não desejável, pois consumiria energia do sistema.

Outro aprimoramento proposto no código seria um algoritmo que ao identificar um baixo nível de iluminação indicando o anoitecer, retomasse a posição máxima de inclinação voltando o painel à direção do sol nascente.

Para otimizar ainda mais o sistema, o código fonte poderia também conter instruções de desligamento durante a noite, voltando a funcionar ao amanhecer visto que o código atual continua analisando o ambiente mesmo em completa ausência de luz.

1.5 TESTES E RESULTADOS

O teste de eficiência do protótipo seguiu duas etapas sendo realizado da seguinte maneira: primeiro serão coletados dados sobre a tensão gerada pela placa fotovoltaica com o sistema de posicionamento automático desligado. Depois será repetido o mesmo processo com o sistema ligado para posterior validação dos resultados.

Para a simulação da trajetória solar ao longo do dia foi utilizada uma pequena estrutura móvel com uma lâmpada de 40 W que se deslocava horizontalmente apontando seu feixe de luz para baixo. Uma trena com quatro metros ou quatrocentos centímetros foi colocada em uma superfície plana e serviu para medir as distâncias entre a lâmpada e o sistema.

O teste realizado consistiu na passagem da lâmpada em linha reta por cima da placa FV. Considerado o sistema desligado e que o painel manteve-se paralelo ao plano horizontal e localizava-se no ponto zero ou a 200 centímetros em relação à ponta da trena.

A estrutura da lâmpada primeiramente foi deixada no ponto -200 cm que representa a primeira hora do dia com a presença da luz, em seguida foi deslocada 10 centímetros em direção ao ponto zero que representa a hora do dia com maior insolação perfazendo um total de oitenta e duas medições até percorrer o deslocamento total da trena.

A cada 10 cm de deslocamento da lâmpada, registrou-se uma leitura da tensão através de um multímetro digital, o que resultou em dados da tensão elétrica em função da distância da lâmpada ao protótipo. Com os dados em mãos, fez-se uso do *software Microsoft Office Excel* para a construção dos gráficos que proporcionam um melhor entendimento.

Uma rápida análise do gráfico da Figura 11 e 12, Tensão x Deslocamento que faz um comparativo entre a energia captada com o sistema desligado e ligado, demonstra um aumento médio da tensão gerada em 14%, o que significa mais potência que o painel poderá fornecer à carga, se ligado diretamente ou conectado a um controlador de carga.

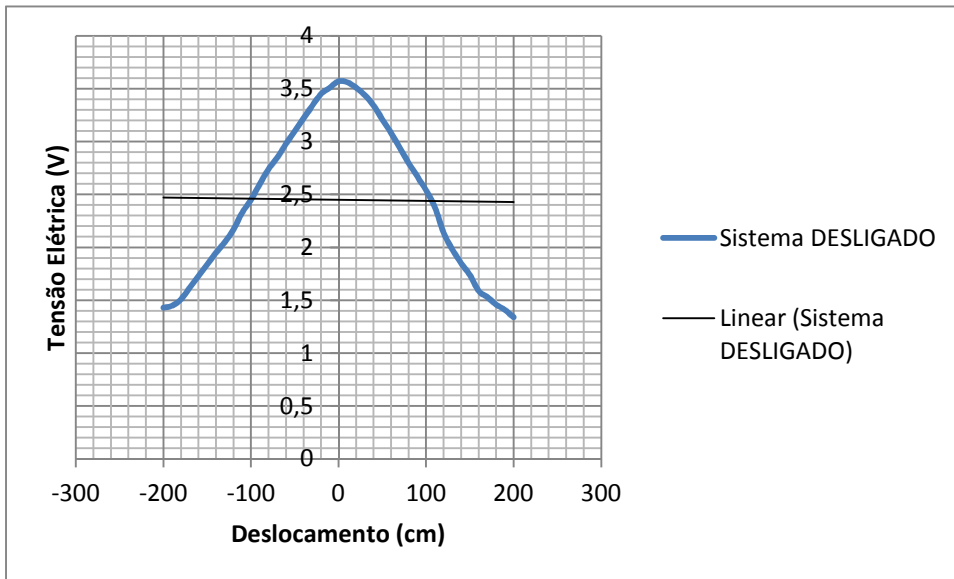


Figura 11 – Gráfico da tensão gerada com o sistema desligado.

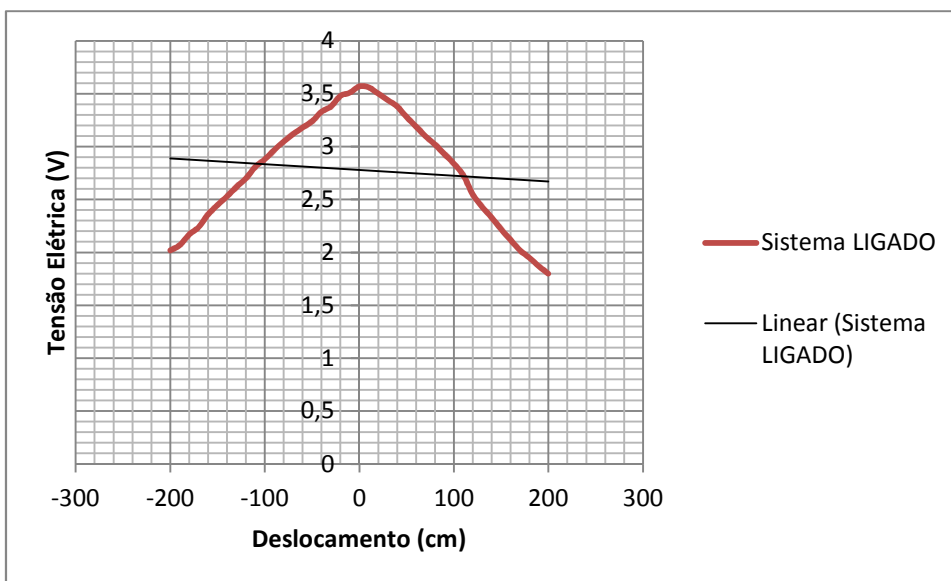


Figura 12 – Gráfico da tensão gerada com o sistema ligado.

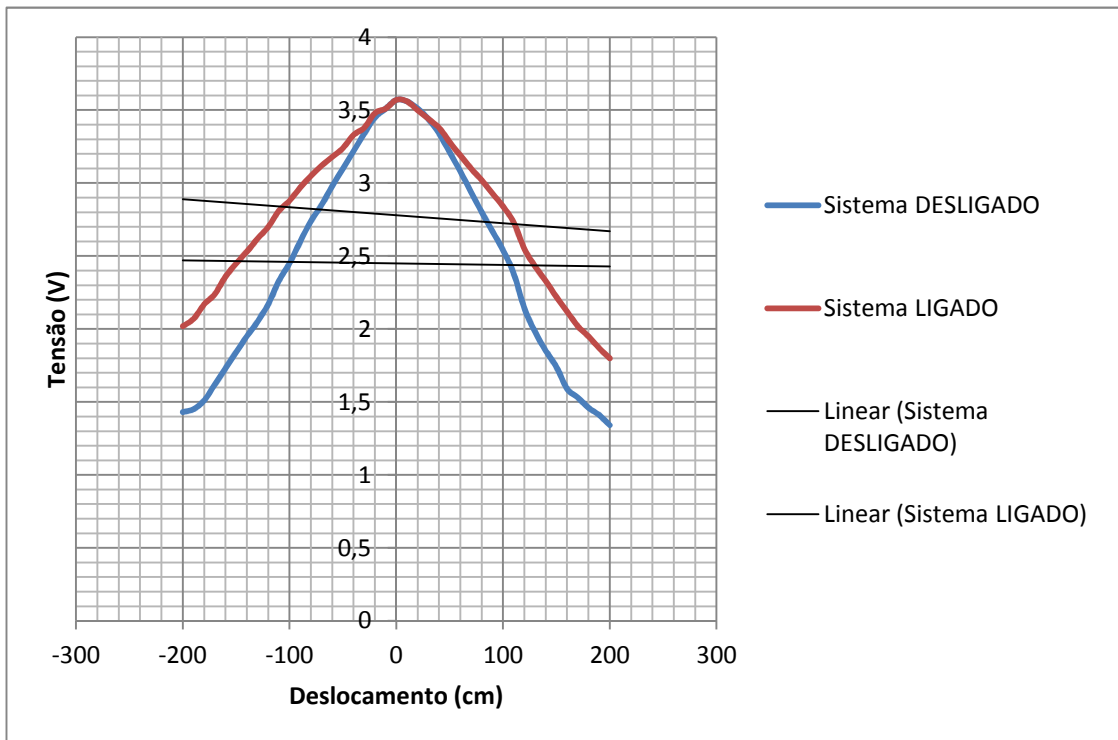


Figura 13 – Gráfico de dispersão (Tensão x Deslocamento).

Na Figura 13 acima apresenta-se uma sobreposição dos gráficos da tensão gerada. A diferença entre as duas curvas mostra que realmente o painel seguiu a lâmpada, quando a lâmpada estava na distância máxima correspondendo a dois metros, houve um considerável aumento da tensão da ordem de 0,6V. Essa diferença vai diminuindo gradativamente no decorrer do teste até que as duas tensões se igualem no ponto zero, isto ocorreu porque na primeira fase do teste com o sistema desligado o painel foi posicionado paralelamente com a linha horizontal correspondente ao período de maior iluminação. O pico máximo de tensão registrado foi 3,57V, em ambas as situações, o que realmente deveria ocorrer tendo em vista o mesmo ângulo de incidência da luz. Através das tendências lineares dos gráficos é possível calcular uma área efetiva de tensão gerada multiplicando (Deslocamento x Tensão Elétrica)

Tabela 2 – Área efetiva da tensão gerada.

Estado do Protótipo	Área = Base x Altura	Área
Desligado	4m x 2,9V	11,6 ua
Ligado	4m x 2,5V	10 ua

Conclui-se então pela Tabela 2 que o sistema ligado proporcionou um ganho de 16% na captação de energia solar.

CONCLUSÃO

O protótipo funcionou satisfatoriamente validando o estudo e as idéias propostas neste trabalho, apresentou um ganho na captação da energia solar de 16% em relação ao sistema de posicionamento estático (convencional) de painéis. Estima-se que possa alcançar níveis de ganho na faixa de 20% se considerado todo nível de tensão não registrado pela curva comparativa do teste de validação. Para fins demonstrativos de eficiência não se levou em consideração o consumo elétrico pelo protótipo, tendo em vista que em sistemas com maiores proporções esta margem de ganho tende a se manter estável.

A tecnologia existente hoje para painéis solares fotovoltaicos ainda encontra-se em desenvolvimento, sua baixa eficiência abre caminho para que sistemas automatizados como este tratado aqui, possam incrementar eficiência ao processo de conversão direta da energia solar em elétrica a fim de expandir os horizontes desta tecnologia e num futuro próximo diminuir a níveis toleráveis ou até eliminar a dependência dos combustíveis fósseis que trazem efeitos nocivos ao planeta terra.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 10899:2006 energia solar fotovoltaica**, 2006.

ADAFRUIT. **Sobre a empresa: Adafruit Industries**. Acesso em 16 de Maio de 2011, disponível em Site da Adafruit Industries: <http://www.adafruit.com/products/262>, 2010.

ALDABÓ, R. **Energia Solar**. São Paulo: Artliber, 2002.

ALVES, A. F. **Desenvolvimento de um Sistema de Posicionamento Automático para Painéis Fotovoltaicos**. Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Botucatu, SP, 2008.

ARDUINO. **Sobre a Plataforma Arduino**. Acesso em 23 de maio de 2011, disponível em Site da Arduino.cc: <http://www.arduino.cc/>, 2009.

ARRUDA, J. e PILETTI, N. **Toda a História** 4ª ed. São Paulo: Ática, 1996.

AULD, D. **Arduino Platform - Differential Gap Control Solar Tracker : CODE Project**. Acesso em 25 de Maio de 2011, disponível em CODE PROJECT: <http://www.codeproject.com/KB/system/ArduinoLightTrack.aspx>, 2011.

BANZI, M. **Getting started with Arduino**. editora O'reilly, 2008.

BRITO, S. **Energia solar - Princípios e Aplicações**. Acesso em 10 de 04 de 2011, disponível em Centro de referência para energia solar e eólica Sergio de Salvo Brito - CRESESB: www.cresesb.cepel.br, 2004.

CAPUANO, I. V. e CAPUANO, F. G. **Elementos de eletrônica digital**. São Paulo: Érica, 2009.

CEEETA. Acesso em 10 de 04 de 2011, disponível em **Centro de Estudos em Economia da Energia, dos Transportes e do Ambiente**: www.ceeeta.pt, 1997.

COMETTA, E. **Energia Solar: Utilização e empregos práticos**. São Paulo: Hemus, 2004.

CRESESB. **Coletânea de Artigos - Energias Solar e Eólica**. Acesso em 10 de Maio de 2011, disponível em CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA (CEPEL) / CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO: www.cresesb.cepel.br, 2003.

CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. (204p), 1999.

DISCOVERY. **Como é Possível - Painéis Solares**. Vídeo do Discovery Channel, 2009 .

FERNANDES, C. A. e GUARONGHI, V. M. **Energia Solar**. Acesso em 10 de maio de 2011, disponível em [www.fem.unicamp.br: http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/esolar/esolar.html](http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/esolar/esolar.html)

IQBAL, M. **An Intruduction to Solar Radiation**. Toronto, Canadá, 1983.

LOJADOSOM. **Sobre a empresa Shopping Loja do Som**. Acesso em 28 de maio de 2011, disponível em <http://www.lojadosom.com.br/especiais/potenciometro-10k/>

PALZ, W. **Energia solar e fonte alternativas**. Hermus, 2002.

PEREIRA, F. **Microcontroladores PIC: programação em C**. São Paulo: Érica, 2009.

SOLAR, F. **ENERGIA SOLAR - FFSOLAR**. Acesso em 15 de março de 2011, disponível em Sistemas de Energias Alternativas Portugal, 2006. Lda.: <http://www.ffiSolar.com/index.pt>

SOUSA, R. **Revolução-Industrial**. (Equipe Brasil Escola) Acesso em 24 de Maio de 2011, disponível em [brasilecola: http://www.brasilecola.com/historiag/revolucao-industrial.htm](http://www.brasilecola.com/historiag/revolucao-industrial.htm)

STINE, W. B. e GEYER, M. 2006. **Power from the Sun**. Acesso em 20 de abril de 2011, disponível em <http://www.powerfromthesun.net>

TOSHIBA. Datasheet **CI ULN2003APG, ULN2003AFWG, ULN2004APG, ULN2004AFWG**, 2006.

Tugatronica. 2008, **Site sobre eletrônica e equipamentos**. Acesso em 25 de Maio de 2011, disponível em <http://www.tugatronica.com/bootloader-em-microcontroladores/>

USATEGUI, J. M. e MARTÍNEZ, I. A. **Microcontroladores <<PIC>>. Diseño Práctico de Aplicaciones**. Primeira Parte: El PIC 16F84 Lenguajes PBASIC y Ensamblador (3ª Edição ed., Vol. 1). Madrid: Concepción Fernández Madrid, 2003.

VALLÊRA, A. M. 2006, **gazeta**. Acesso em 10 de Abril de 2011, disponível em [solar.fc.ul.pt: www.solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf](http://solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf)