

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ
ESCOLA POLITÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

**DOUGLAS COSTA ROSSI
LUÍS FELIPE HARTMANN
RODRIGO AUGUSTO BONATTO CORDOURO**

PROJETO HELIOTROPISMO MECÂNICO

**CURITIBA
2012**

DOUGLAS COSTA ROSSI
LUÍS FELIPE HARTMANN
RODRIGO AUGUSTO BONATTO CORDOURO

PROJETO HELIOTROPISMO MECÂNICO

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia de Computação, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como requisito parcial de avaliação das disciplinas de Física 3 e Resolução de Problemas em Engenharia 1.

Prof. Gil Marcos Jess.
Prof. Afonso Ferreira Miguel.

CURITIBA
2012

RESUMO

Com a utilização de servomotores, sensores de luminosidade e do dispositivo eletrônico "Arduino", foi criado um dispositivo que se move em direção à fonte de luz e, através das células fotovoltaicas, transforma energia luminosa em elétrica.

Palavras-chave: Célula Fotovoltaica. Automação. Arduino. Sensores. Servomotor.

ABSTRACT

Using servo motors, light sensors and the electronic device called "Arduino", was built a device that moves toward the light source and, with photovoltaic cells, converts light energy into electricity.

Keywords: Photovoltaic cell. Automation. Arduino. Sensors. Servo motor.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
1.1	JUSTIFICATIVA	5
1.2	OBJETIVOS.....	6
1.2.1	Objetivo Geral	6
1.2.2	Objetivos Específicos	6
2	O PROJETO.....	7
2.1	MATERIAIS UTILIZADOS	7
2.2	DESCRIÇÃO	7
2.3	CÓDIGO FONTE	19
3	PROBLEMAS APRESENTADOS	22
4	CONCLUSÃO.....	22
	REFERÊNCIAS	23
	GLOSSÁRIO.....	24

1 INTRODUÇÃO

No mundo em que vivemos há uma grande demanda por energia elétrica, e com o passar do tempo essa demanda só aumentou. Por isso, ao longo dos anos, procurou-se por fontes de energia que tivessem grande disponibilidade. Pois a energia proveniente dos combustíveis fósseis acabará em algum momento.

Surgiram, então, as energias renováveis. Elas são energias cuja disponibilidade é extremamente grande e/ou são restituídas muito rapidamente pela natureza. Dentre elas, uma das mais promissoras é a energia solar.

A energia solar é considerada infinita (pois é estimado que o Sol dure aproximadamente mais 5 bilhões de anos¹) e de grande disponibilidade. Segundo o Conselho Mundial de Energia, a energia que chega do Sol ao planeta Terra, é mais do que 7500 vezes maior que o consumo mundial de energia (450 exajoules), ou seja: aproximadamente 3,4 zettajoules.²

Uma das formas mais comuns de conversão direta dessa energia em eletricidade é através de células fotovoltaicas. No entanto, uma célula estática possui limitações na captação de energia solar devido a sua imobilidade. Com isso em mente, foi pensado que se a célula se movesse em direção à fonte de energia luminosa, ela poderia gerar mais energia. Assim como a flor do girassol se move em direção ao sol (origem de parte do nome do projeto: Heliotropismo³).

E é justamente esse o propósito do projeto: a automação de uma célula fotovoltaica, para que se mova em direção à fonte de luz.

1.1 JUSTIFICATIVA

A automação da célula fotovoltaica permitiria um melhor rendimento de energia gerada, visto que o dispositivo se moveria de forma a captar maior quantidade de luz.

¹ UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Centro de divulgação da astronomia. **O Sol**. Disponível em: <<http://www.cdcc.usp.br/cda/aprendendo-basico/sistema-solar/sol.html>>. Acesso em: 26 de maio de 2012.

² WORLD ENERGY COUNCIL. Publications. **Survey of Energy Resources 2007**. Disponível em: <http://www.worldenergy.org/publications/survey_of_energy_resources_2007/solar/719.asp>. Acesso em: 26 de maio de 2012.

³ WIKIPEDIA. **Heliotropism**. Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Heliotropism>>. Acesso em: 6 de mar. de 2012.

Atualmente, já existe na produção de energia em larga escala algo parecido: vários espelhos espalhados por um campo se movem de acordo com o sol, de modo a concentrar os raios solares em um determinado ponto (caso da usina de energia solar PS10, na Espanha). Já a Universidade Estadual Paulista (Unesp) desenvolveu um sistema em que as próprias placas de captação de energia se movem em direção ao sol.⁴

Há também projetos mais simples, desenvolvidos por estudantes de graduação, como é o caso do “Painel Solar Automatizado”⁵, desenvolvido por alunos do curso da UNIFACS, e do projeto “Gira-Sol”⁶, desenvolvido por alunos da PUCPR, nos quais o funcionamento do dispositivo é basicamente mover a célula fotovoltaica na direção do sol.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Fazer com que a célula fotovoltaica se mova, direcionando-se à fonte de maior energia luminosa e converta energia luminosa em energia elétrica.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Desenvolver um sistema que detecta a direção da fonte luminosa mais intensa;
- b) Desenvolver o sistema de movimentação da célula fotovoltaica;
- c) Criar um mecanismo de realimentação do circuito com a energia gerada pela célula;
- d) Criar um sistema auxiliar de fornecimento de energia que possa ser recarregado pelo próprio dispositivo.

⁴ ALVES, Alceu Ferreira. **Sistema de captação de energia solar se movimenta conforme posição do sol**. Disponível em: <<http://www.piniweb.com.br/construcao/tecnologia-materiais/sistema-de-captacao-de-energia-solar-se-movimenta-conforme-posicao-169322-1.asp>>. Acesso em: 6 de mar. de 2012.

⁵ GUIMARÃES, Igor Barros et al. **Painel Solar Automatizado**. Disponível em: <http://www.wix.com/lucas_neiva21/equipe-tecnogroup>. Acesso em: 6 de mar. de 2012.

⁶ NASATO, Filipe Alexandre et al. **Gira-Sol**. Disponível em: <<http://www.afonsomiguel.com/content/gira-sol>>. Acesso em: 6 de mar. de 2012.

2 O PROJETO

2.1 MATERIAIS UTILIZADOS

- a) Arduino UNO (rev 2);
- b) 2 baterias de Ni-MH(Níquel hidreto metálico) 3,6v e 600mAh;
- c) Placa de fenolite de 215mm x 135cm;
- d) Placa de fenolite de 30mm x 40mm;
- e) Cabos de cobre (24AWG);
- f) Diodo 1N4004;
- g) Diodo 1N4148;
- h) Transistor BC547;
- i) Regulador ajustável LM317T;
- j) Cola quente;
- k) 2 células fotovoltaicas 110m x 95mm de 6v e 200mA;
- l) 4 LDRs de 5mm;
- m) 4 resistores de 2k2 ohms 1/4W;
- n) Resistor de 39 ohms 1/4W;
- o) Servomotor Turnigy TG9e;
- p) Servomotor TowerPro SG-90;
- q) Capacitor de disco cerâmico de 100 nF;
- r) Capacitor eletrolítico de 470 μ F e 50v;
- s) Caixa PB114/2PATOLA;
- t) Pinos poste;
- u) Haste de madeira;
- v) Parafusos de 1mm e 2mm.

2.2 DESCRIÇÃO

O projeto teve início com a idealização de como o dispositivo funcionará: em uma visão geral, seria composto de uma célula fotovoltaica, que terá a possibilidade de se movimentar buscando a melhor fonte luminosa, de acordo com os dados obtidos pelos sensores de luminosidades, que serão processados por um micro controlador, neste caso um Arduíno, enviando dados de para onde os motores

devem direcionar a placa fotovoltaica. O sistema será alimentado inicialmente por uma bateria, porém durante o funcionamento do equipamento, esta será carregada com a energia convertida pela placa fotovoltaica.

Para mais fácil compreensão do dispositivo, foi elaborado o seguinte diagrama em blocos:

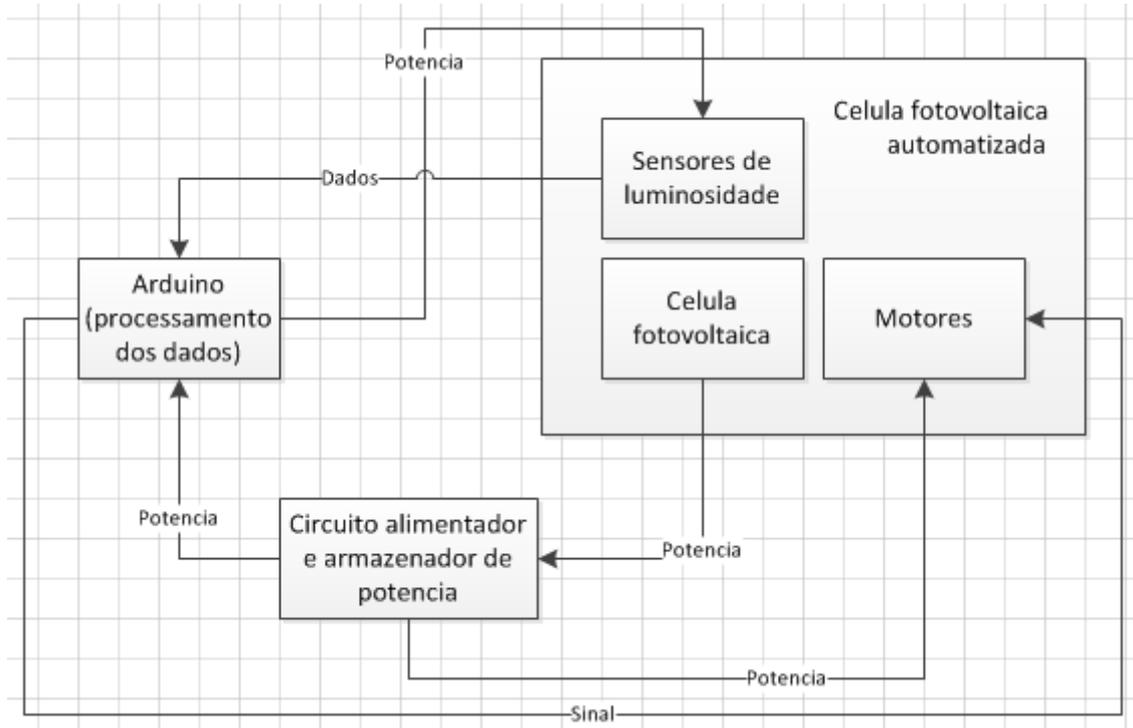


Figura 1 – Diagrama em blocos do dispositivo

A idealização do funcionamento do dispositivo permitiu a criação do fluxograma geral do software:

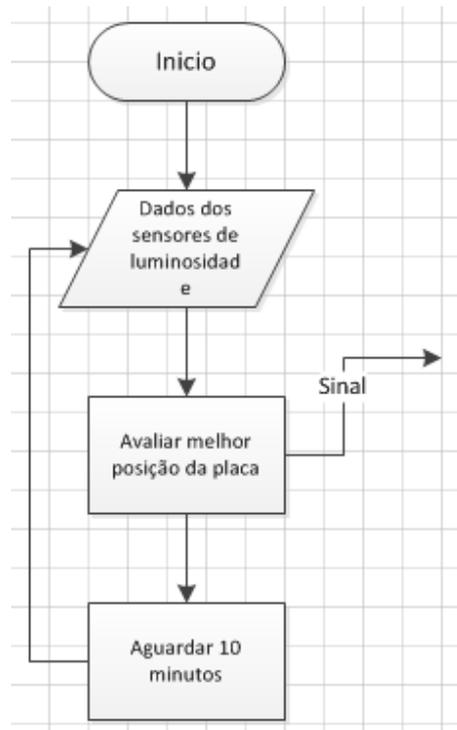


Figura 2 – Fluxograma geral do software

Basicamente o software de controle do equipamento inicia recebendo os dados dos sensores de luminosidade, avalia a melhor posição para a célula fotovoltaica, envia um sinal para os motores e então espera dez minutos para realizar uma nova checagem dos sensores para um novo posicionamento.

Com todo o projeto já idealizado, foram feitas as compras dos servomotores, das placas fotovoltaicas (encomendadas da China) e de dois tipos de sensores de luz: fototransistor e LDR. O passo seguinte seria testá-los.

Então [testamos os servomotores](#), [os fototransistores](#), [os LDRs](#), [o algoritmo](#) e por último [tudo ao mesmo tempo com uma lanterna, e bloqueando a luz com o dedo em um dos sensores](#). Para testar os servomotores usamos o código exemplo já existente no software do Arduino, que gira o servo com o auxílio de um potenciômetro⁷, infelizmente um deles estava estragado. O algoritmo foi testado da seguinte forma: usando a leitura de 2 LDRs, caso a luz fosse mais intensa em um era impresso "Esquerda", caso a luz fosse mais intensa no outro: "Direita", e se fosse igual(ou pouca diferença): "Parado".

Testes realizados, fomos à etapa seguinte do projeto: elaboração detalhada do funcionamento do software, da placa de circuito impresso em que as células

⁷ Disponível em: < <http://www.arduino.cc/playground/ComponentLib/Servo>>. Acesso em: 9 de abr. de 2012.

fotovoltaicas ficariam e desenho técnico da parte física do dispositivo. Os quais tiveram o resultado como mostrado nas próximas 3 figuras:

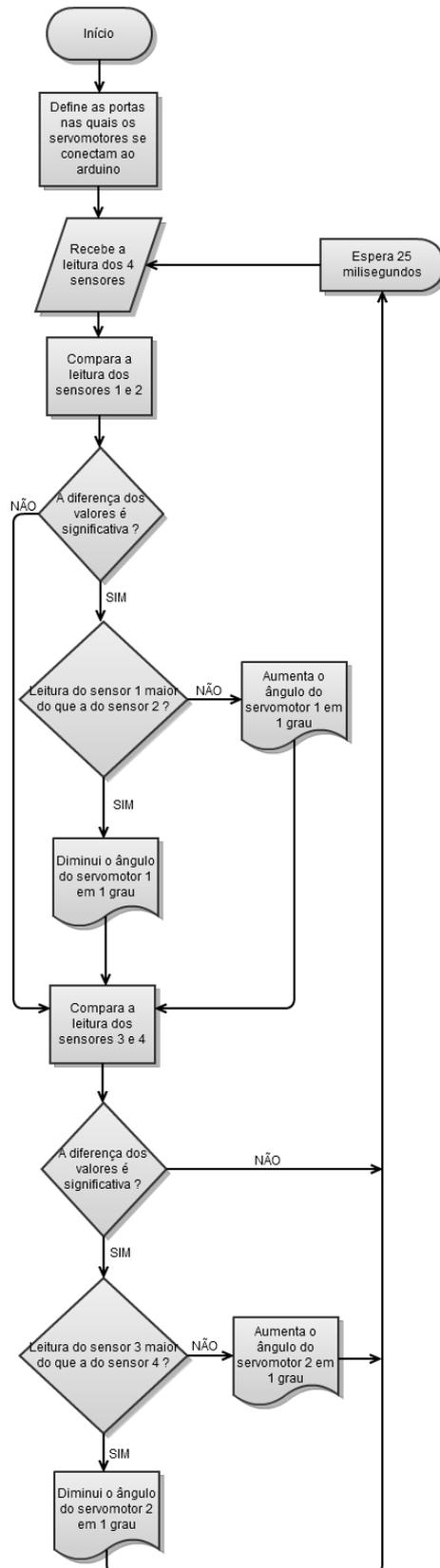


Figura 3 – Fluxograma detalhado

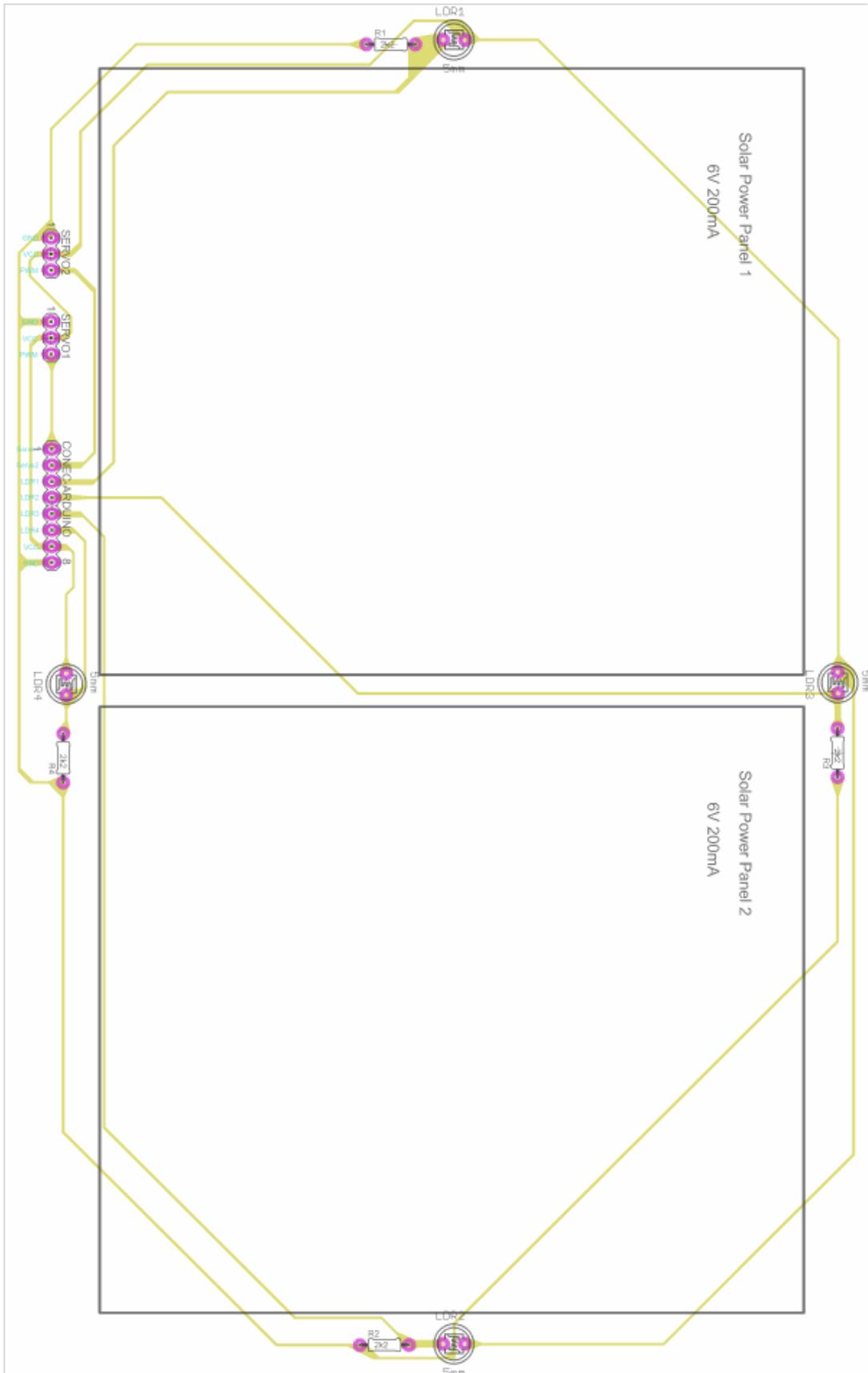


Figura 4 – Desenho da placa de circuito impresso

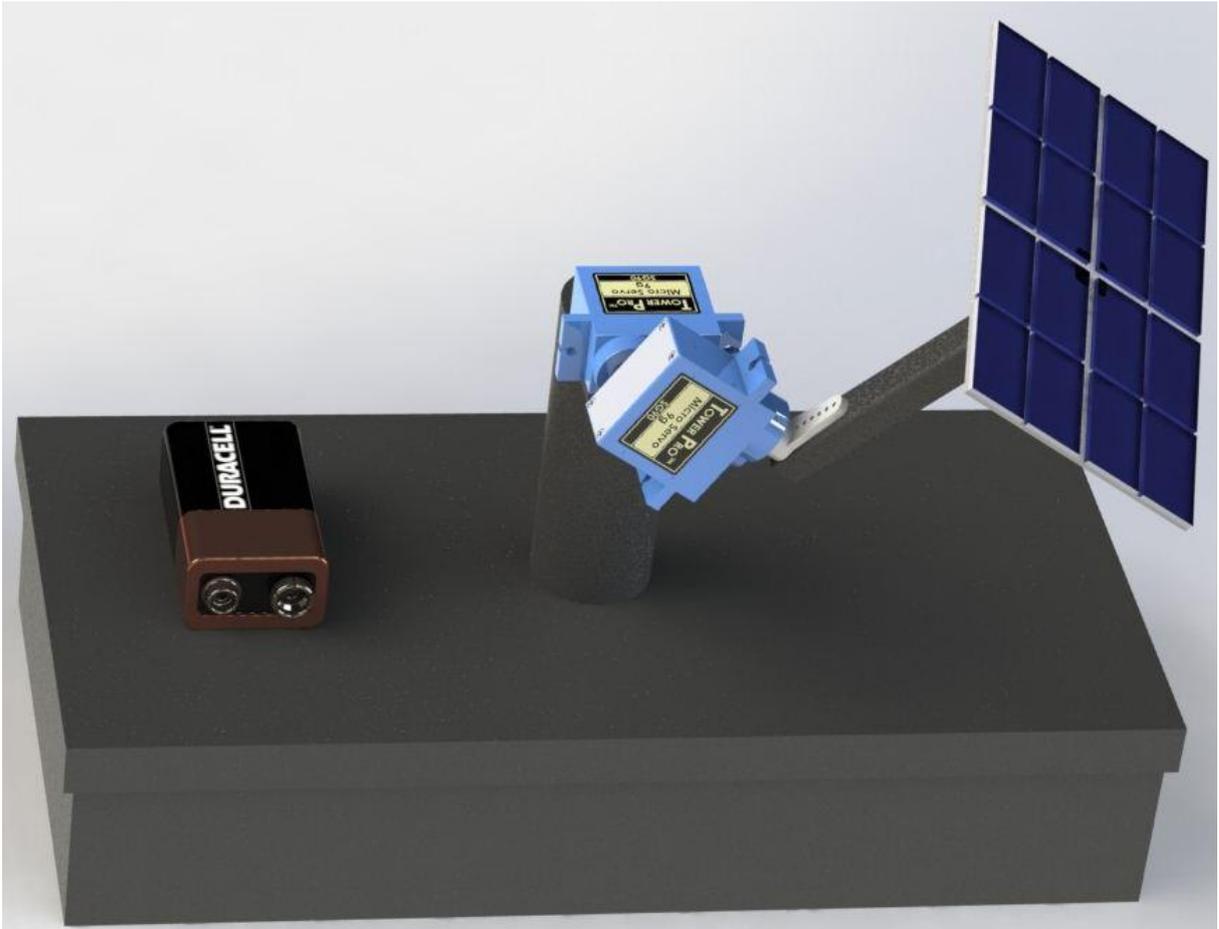


Figura 5 – Projeção da parte física do dispositivo

Não havia, no momento, o que fazer na teoria. Então começamos a passar o que havia sido feito para a prática, começando pela PCB (sigla em inglês para placa de circuito impresso):

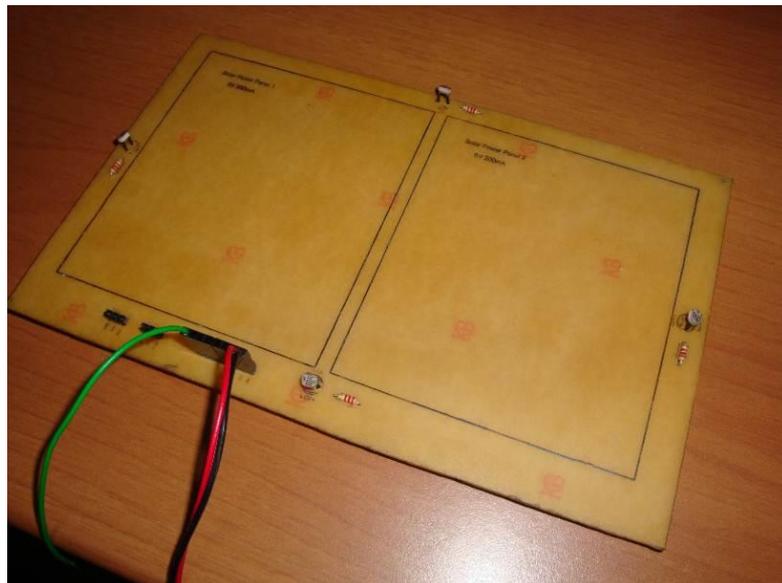


Figura 6 – Parte superior da PCB

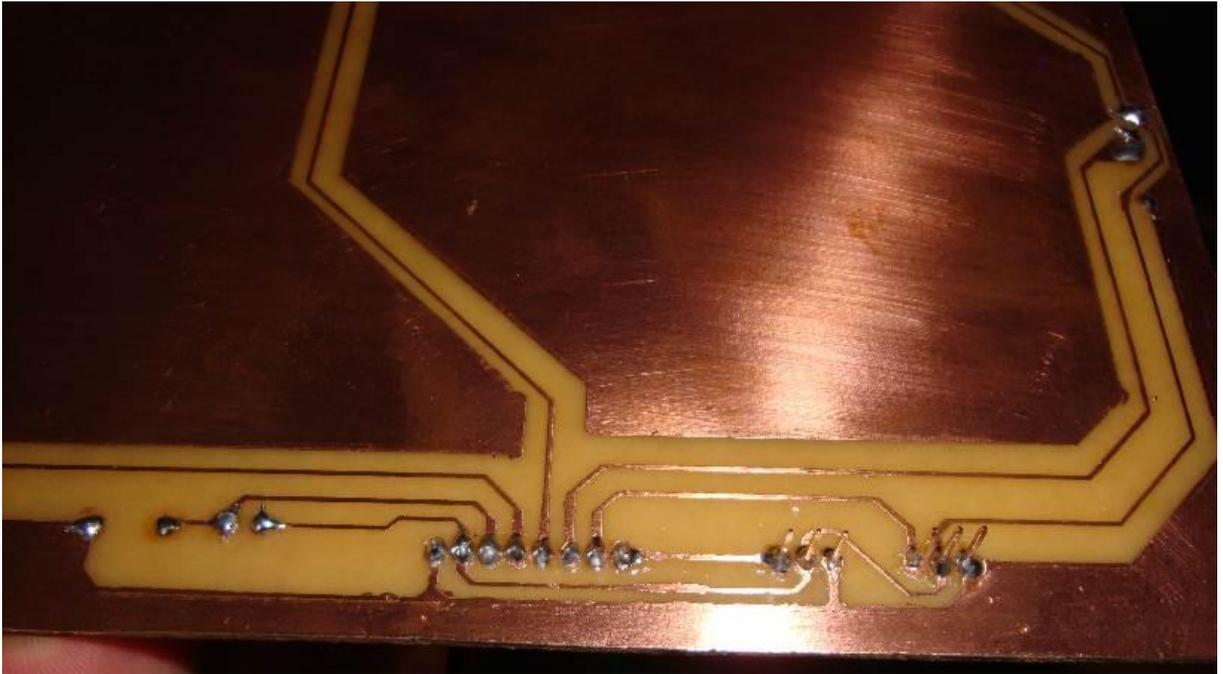


Figura 7 – Parte inferior da PCB

E depois, com a estrutura externa do dispositivo:

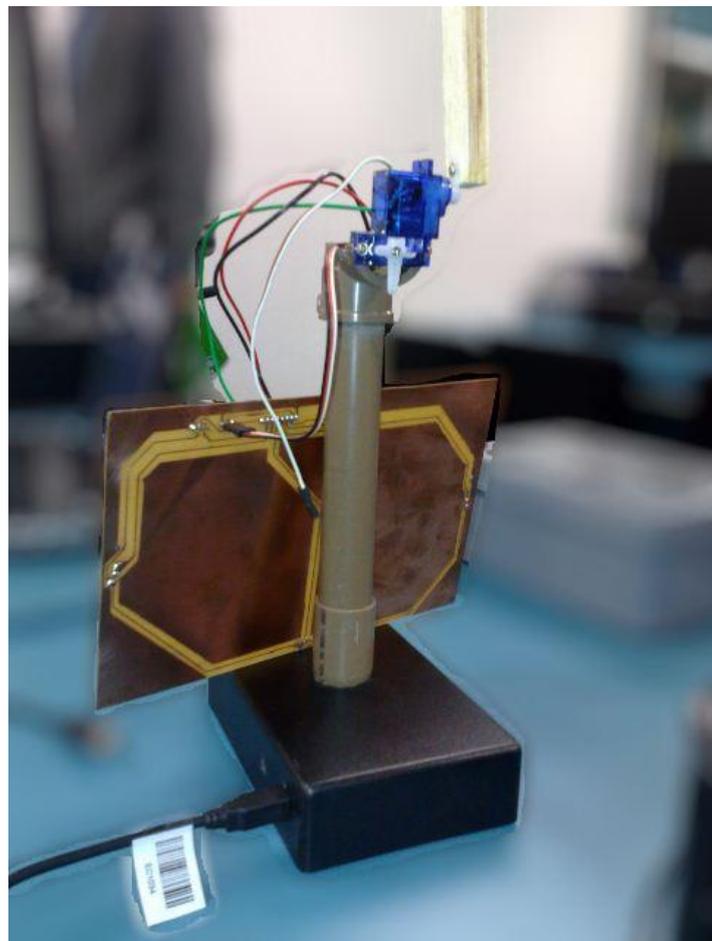


Figura 8 – Estrutura externa do dispositivo

Como se pode perceber na figura 8, a PCB ainda não estava acoplada à haste de madeira.

Neste meio tempo, as células captadoras de energia luminosa chegaram. Então elas foram testadas (figura 9) e montadas na PCB (figuras 10 e 11).

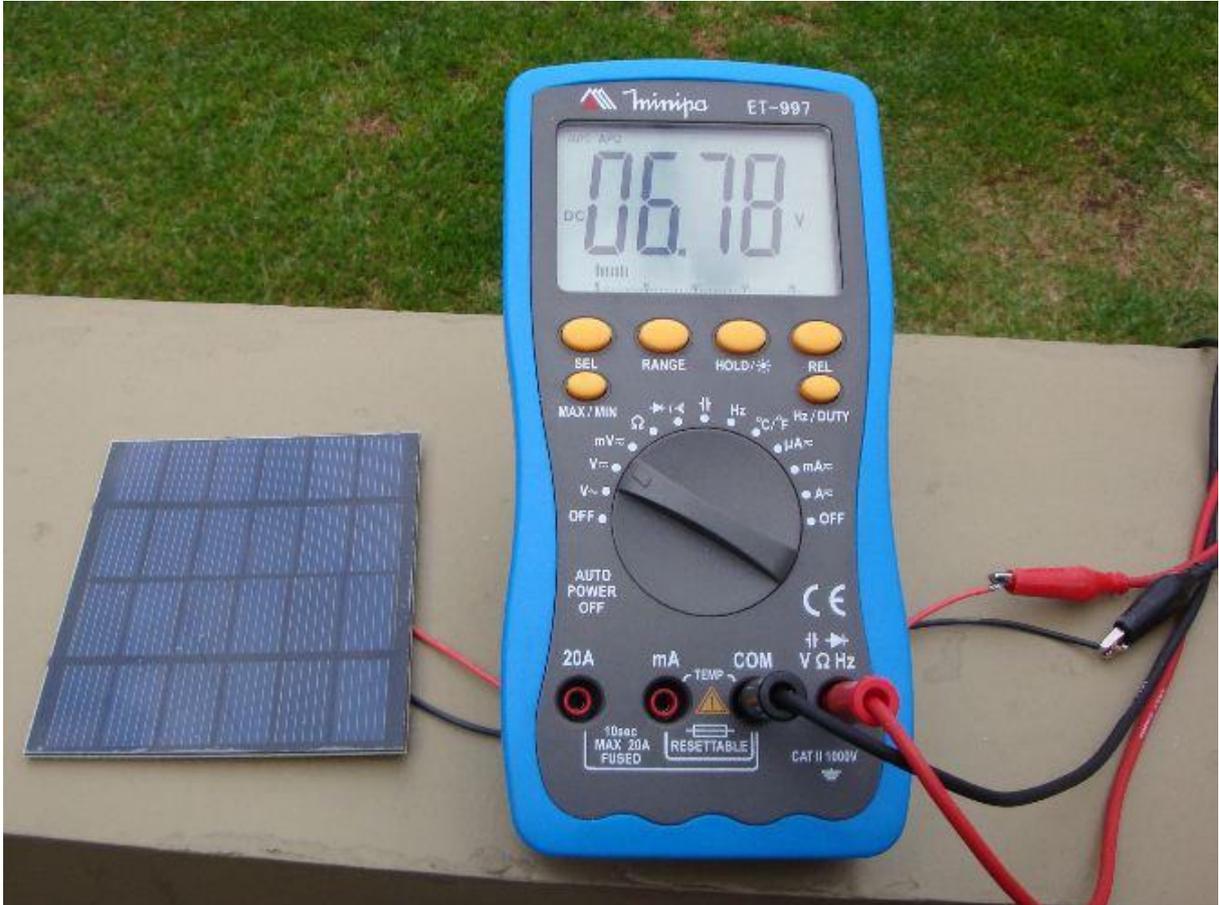


Figura 9 – Testando a célula fotovoltaica



Figura 10 – Células fotovoltaicas na PCB

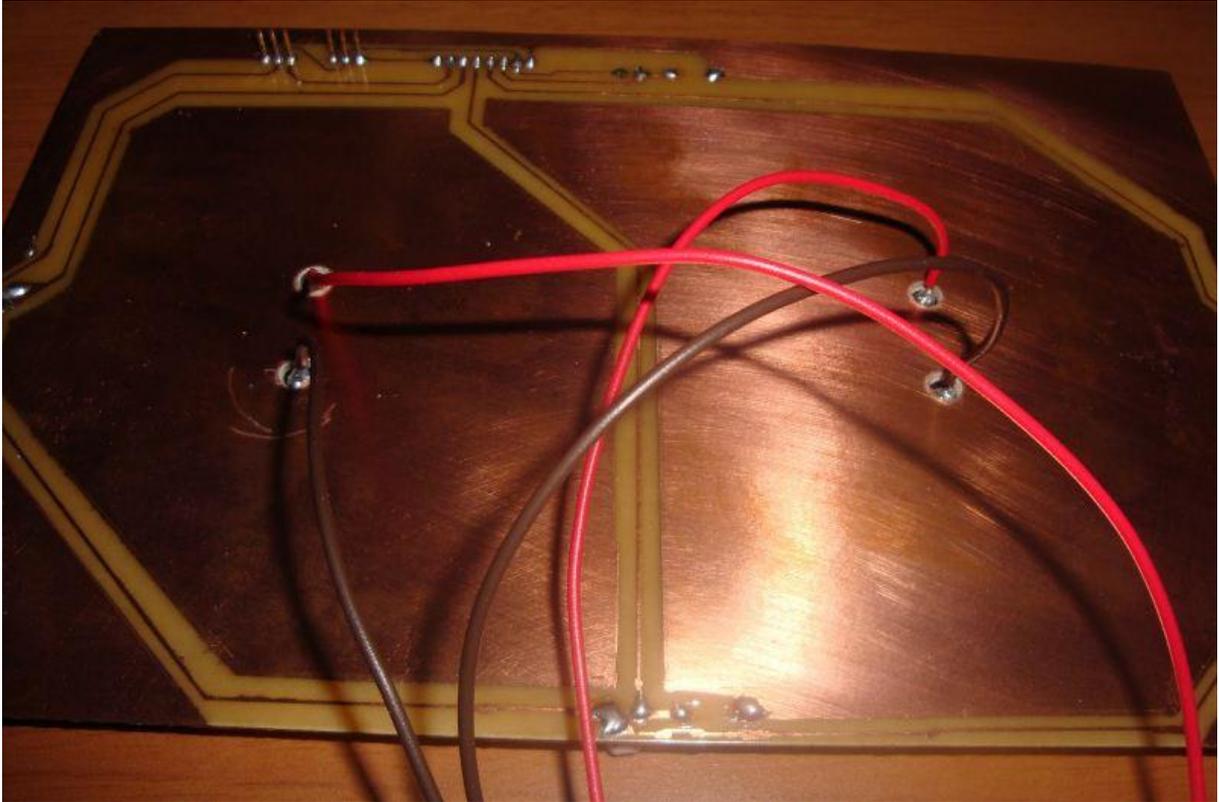


Figura 11 – Conexões elétricas das células

Depois disso, deu-se início à elaboração do sistema de alimentação independente do dispositivo (baterias). Simultaneamente, foram feitos testes de mobilidade do dispositivo: [vídeo 1](#) e [vídeo 2](#). O dispositivo demora algum tempo para se mover após receber o estímulo luminoso. Essa característica foi propositalmente implementada para evitar que o equipamento desperdice energia ao se movimentar quando uma fonte de luz não constante atinge os sensores.

Com a ajuda do professor Ivan J. Chueiri, e depois de pesquisadas diversas soluções, a partir de um circuito achado na internet⁸, foi feito o circuito carregador de baterias para o dispositivo:

⁸ MIN, Mio. **Switchless NiCd-NiMH Battery Charger**. Disponível em:<
http://www.extremecircuits.net/2010/06/switchless-nicd-nimh-battery-charger_20.html>. Acesso em:
10 de maio de 2012.

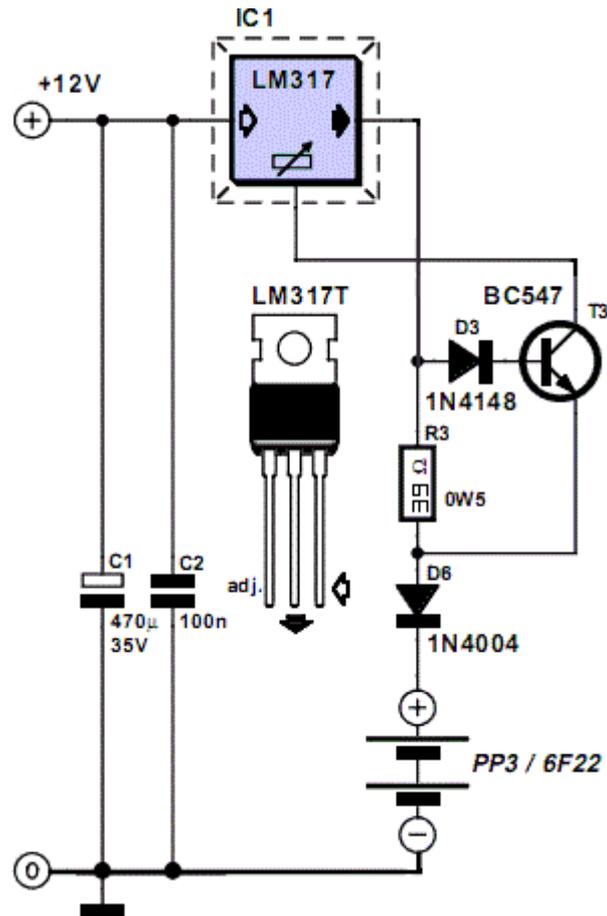


Figura 12 – Circuito carregador de bateria

A figura 12 mostra como o circuito tinha sido originalmente concebido, porém, algumas modificações foram feitas: o capacitor de $470\mu\text{F}$ que aparece como 35V foi substituído por um de 50V, e o resistor de 39 ohms que aparece como 1/2W foi substituído por um de 1/4W. Essas mudanças se deram apenas pela conveniência da disponibilidade dos componentes, pois não eram necessárias. Já a mudança de uma bateria de 9v (PP3/6F22) para duas em série de 3,6v, se deu para que fosse possível ter uma capacidade maior de carga (600mAh) sem que fosse necessário gastar muito dinheiro para isso.

Depois de projetado, o circuito [foi testado](#) e montado em uma PCB:

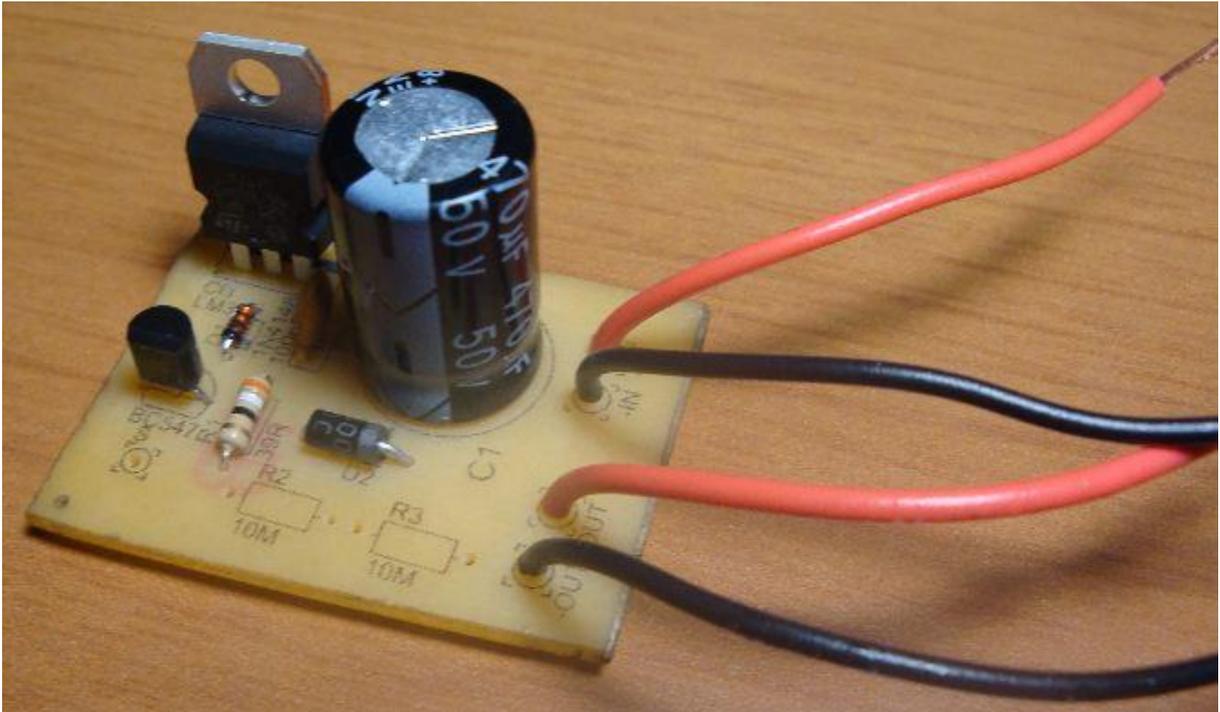


Figura 13 – Circuito carregador montado na PCB

Com a chegada de um dia ensolarado, foi aproveitado para realizar testes de eficiência, foram testados: a [corrente elétrica](#) e a [tensão](#) fornecida pelas células fotovoltaicas, a [tensão das placas e a queda de tensão](#) depois de passar pelo circuito carregador, o [funcionamento do circuito](#) como um todo.

O dispositivo estaria terminado se um problema envolvendo a falta de torque de um dos servomotores não tivesse aparecido. Então foi comprado um servomotor com mais torque, colocado um contrapeso, uma haste de apoio e um elástico para corrigir a falta de equilíbrio ocasionada pela movimentação dos servos, estrutura auxiliar (figura 14) que cumpriu o propósito. Com intuito de melhorar o consumo do dispositivo foi implementada uma função “sleep”.

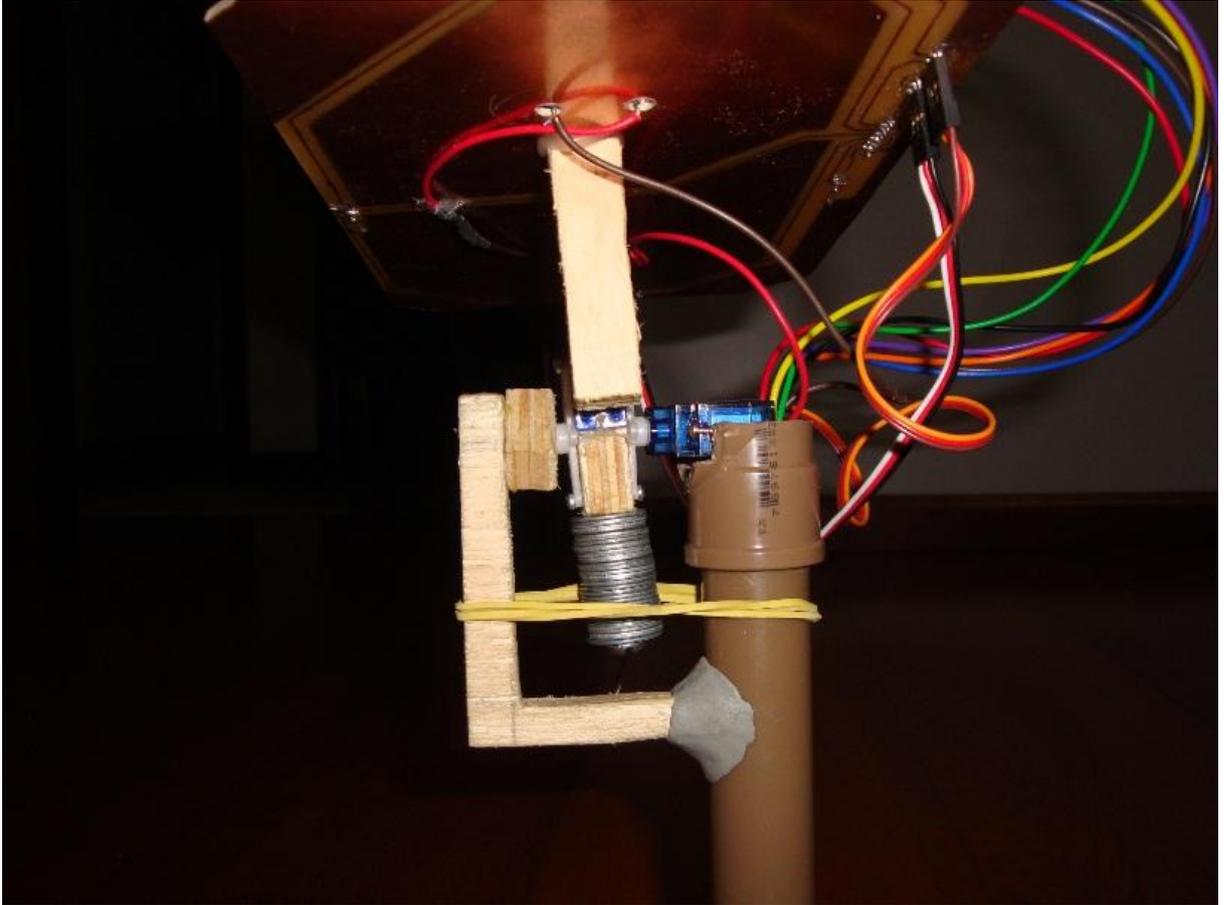


Figura 14 – Estrutura auxiliar do servomotor.

Finalmente tudo estava pronto e funcionando, fizemos um [vídeo-resumo explicando o dispositivo](#), e o resultado pode ser conferido na seguinte imagem (figura 15):



Figura 15 – Versão definitiva do dispositivo.

2.3 CÓDIGO FONTE

```
#include <Sleep_n0m1.h>  
#include <Servo.h>
```

```
Servo servo1, servo2;  
Sleep sleep;
```

```
int sensor1 = 0;
```

```

int sensor2 = 2;
int sensor3 = 3;
int sensor4 = 1;
int angulo1 = 90;
int angulo2 = 90;
int tolerancia = 1;
int v1;
int v2;
int v3;
int v4;

void setup(){
  servo1.attach(9);
  servo1.write(angulo1);
  servo2.attach(11);
  servo2.write(angulo2);
}

void loop(){
  for(int i=0;i<5;i++){
    v1 = analogRead(sensor1);
    v2 = analogRead(sensor2);
    v3 = analogRead(sensor3);
    v4 = analogRead(sensor4);

    while((v1>(v2+tolerancia))||v1<(v2-tolerancia)){
//Servo 1
      if(v1>(v2+tolerancia))
        angulo1--;
      else if(v2>(v1+tolerancia))
        angulo1++;
      else;
      if(angulo1<25)
        angulo1 = 25;
      if(angulo1>155)
        angulo1 = 155;
      servo1.write(angulo1);
      delay(40);
      v1 = analogRead(sensor1);
      v2 = analogRead(sensor2);

      v1 = map(v1, 50, 750, 0, 100);
      v2 = map(v2, 50, 750, 0, 100);

      if(angulo1==25&&v1>(v2+tolerancia))
        break;
      if(angulo1==155&&v2>(v1+tolerancia))
        break;
    }
    delay(500);

//Servo 2
    while((v3>(v4+tolerancia))||v3<(v4-tolerancia)){

      if(v3>(v4+tolerancia))
        angulo2--;

```

```
else if(v4>(v3+tolerancia))
  angulo2++;
else;
if(angulo2<25)
  angulo2 = 25;
if(angulo2>155)
  angulo2 = 155;
servo2.write(angulo2);

delay(40);
v3 = analogRead(sensor3);
v4 = analogRead(sensor4);
v3 = map(v3, 50, 750, 0, 100);
v4 = map(v4, 50, 750, 0, 100);

if(angulo2==25&&v3>(v4+tolerancia))
  break;
if(angulo2==255&&v3>(v4+tolerancia))
  break;
}
delay(500);
}
sleep.pwrDownMode();
sleep.sleepDelay(8000);
}
```

3 PROBLEMAS APRESENTADOS

PROBLEMA	SOLUÇÃO	POR QUÊ?
Um dos servomotores não funcionou durante o teste.	Substituído por uma peça nova de mesma especificação.	Chegou-se à conclusão que a peça podia estar avariada.
Fototransistores apresentaram baixa amplitude do ângulo de percepção luminosa.	Usou-se LDRs.	LDRs apresentaram maior amplitude durante os testes realizados.
Baterias de 9v com a capacidade de carga desejada eram caras demais.	Usou-se 2 baterias de 3,6v em série.	O Arduino não precisa receber 9v, a tensão de 7,2v é suficiente. E baterias de 3,6v com a capacidade de carga desejada tem preço mais acessível.
O servomotor não tinha força o suficiente para mover as placas para o outro lado quando girava totalmente para uma direção.	Substituição por um servomotor com mais torque, implementação de contrapeso, elástico e haste de apoio auxiliar.	Chegou-se à conclusão de que o servomotor precisava de mais força.

4 CONCLUSÃO

A automação de placas fotovoltaicas, com o intuito de captar maior quantidade de luz, mostrou-se uma opção viável para uma maior eficiência na produção de energia elétrica. Como verificado durante o projeto, com um bom posicionamento das placas ocorre um aumento significativo na produção de energia elétrica.

O dispositivo resultante deste projeto, embora já tenha concluído os objetivos principais deste trabalho, poderia ter uma maior eficiência utilizando funções “sleep” que tivessem consumo na faixa de μA (micro amperes). Neste projeto, porém, foi utilizada a plataforma arduino que limitou as possibilidades de redução de consumo pelo microcontrolador.

REFERÊNCIAS

CHUEIRI, Ivan Jorge. **Eletricidade**: Fundamentos e conceitos de eletricidade. 1ª ed. Curitiba: Edição do autor. 2010.

ALVES, Alceu Ferreira. **Sistema de captação de energia solar se movimentada conforme posição do sol**. Disponível em:<<http://www.piniweb.com.br/construcao/tecnologia-materiais/sistema-de-captacao-de-energia-solar-se-movimentada-conforme-posicao-169322-1.asp>>. Acesso em: 6 de mar. de 2012.

GUIMARÃES, Igor Barros et al. **Painel Solar Automatizado**. Disponível em:<http://www.wix.com/lucas_neiva21/equipe-tecnogroup>. Acesso em: 6 de mar. de 2012.

NASATO, Filipe Alexandre et al. **Gira-Sol**. Disponível em:<<http://www.afonsomiguel.com/content/gira-sol>>. Acesso em: 6 de mar. de 2012.

WIKIPEDIA. **Heliotropism**. Disponível em:<<http://en.wikipedia.org/wiki/Heliotropism>>. Acesso em: 6 de mar. de 2012.

ARDUÍNO. **Servo**. Disponível em: <<http://www.arduino.cc/playground/ComponentLib/Servo>>. Acesso em: 9 de abr. de 2012.

MIN, Mio. **Switchless NiCd-NiMH Battery Charger**. Disponível em:<http://www.extremecircuits.net/2010/06/switchless-nicd-nimh-battery-charger_20.html>. Acesso em: 10 de maio de 2012.

WORLD ENERGY COUNCIL. Publications. **Survey of Energy Resources 2007**. Disponível em: <http://www.worldenergy.org/publications/survey_of_energy_resources_2007/solar/719.asp>. Acesso em: 26 de maio de 2012.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Centro de divulgação da astronomia. **O Sol**. Disponível em:<<http://www.cdcc.usp.br/cda/aprendendo-basico/sistema-solar/sol.html>>. Acesso em: 26 de maio de 2012.

GLOSSÁRIO

Arduino UNO – Plataforma física de computação de código aberto baseada no microcontrolador ATmega328.

BC547 – Transistor utilizado no circuito carregador de baterias com a função de chavear sinais elétricos.

Célula fotovoltaica – Dispositivo elétrico de estado sólido capaz de converter energia luminosa em energia elétrica através do efeito fotovoltaico.

Diodo 1N4004 e 1N4148 – Dispositivos semicondutores utilizados para permitir a passagem de corrente elétrica em apenas um sentido.

Fototransistor – Transistor bipolar que usa a luz para ativar a base-coletora da junção ao invés de uma corrente elétrica de origem convencional.

LDR – Do inglês “*Light Dependent Resistor*”, resistor que sofre variações em sua resistência conforme a intensidade luminosa. Foi utilizado como sensor de luminosidade neste projeto.

LM317T – Regulador ajustável utilizado para definir a corrente elétrica proveniente das células fotovoltaicas que chega às baterias.

Placa de fenolite – Estrutura com uma das faces revestida por cobre utilizada para fazer circuito impresso e montar os componentes elétricos.

Servomotor - Dispositivo que apresenta movimento proporcional a um comando, em vez de girar ou se mover livremente sem um controle mais efetivo de posição como a maioria dos motores; servomotores são dispositivos de malha fechada, ou seja: recebem um sinal de controle; verificam a posição atual; atuam no sistema indo para a posição desejada. Utilizado para fazer a movimentação das placas nos dois eixos.