

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA

CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

ARLEI JOSÉ TURATTI

FELIPE SALES DE FRANÇA

RENAN LOCATIZ FERNANDES

WELLINGTON RODRIGO MONTEIRO

MAGNETOWER

CURITIBA

2010

ARLEI JOSÉ TURATTI

FELIPE SALES DE FRANÇA

RENAN LOCATIZ FERNANDES

WELLINGTON RODRIGO MONTEIRO

MAGNETOWER

Projeto o qual será apresentado às disciplinas do Curso de Engenharia de Computação da Pontifícia Universidade Católica do Paraná – Campus Curitiba, como parte integrante da nota do primeiro semestre. Orientadores: Prof. Me. Gil Jess e Prof. Me. Afonso Ferreira Miguel.

CURITIBA

2010

RESUMO

O projeto Magnetower, referente ao quarto período do curso de Engenharia de Computação da Pontifícia Universidade Católica do Paraná propõe o desenvolvimento de uma torre composta por diversas seções de tubos transparentes de plásticos, com eletroímãs e sensores a fim de frear um objeto metálico (um ímã), indo contra as leis da gravidade.

Palavras-chave: projeto, eletroímãs, torre

ABSTRACT

The Magnetower project, in reference to the fourth semester of the Computer Engineering course from the Pontifical Catholic University of Paraná proposes the development of a tower composed of different sections of transparent plastic tubes with electromagnets and sensors with the objective to brake a metallic object (a magnet), going against the gravity laws.

Keywords: project, electromagnets, tower

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
2.1 GERAIS	2
2.2 ESPECÍFICOS	2
3. MATERIAIS UTILIZADOS.....	3
4. MÓDULOS DESENVOLVIDOS	5
4.1 FONTE	5
4.2 PLACA DOS SENSORES	5
5. DESCRIÇÃO GERAL	7
5.1 HISTÓRIA DO PROJETO	7
5.2 HARDWARE	8
5.3 SOFTWARE	18
6. PROBLEMAS APRESENTADOS E SUAS SOLUÇÕES	21
7. CONCLUSÕES	23
8. DICIONÁRIO DE TERMOS	24
9. CÓDIGO-FONTE	33
10. ANDAMENTO DO PROJETO	35
11. REFERÊNCIAS	37

TABELA 1 – CORRENTE CONSUMIDA POR CADA ELETROÍMÃ, COM UMA TENSÃO DE 5V	10
--	----

TABELA 2 - MEDIDAS DAS SECÇÕES DA TORRE AUXILIAR	17
--	----

TABELA 3 – PROBLEMAS APRESENTADOS E SUAS RESPECTIVAS SOLUÇÕES	22
---	----

TABELA 4 – TABELA DE CORES DE RESISTORES	32
--	----

TABELA 5 – ANDAMENTO DO PROJETO.....	36
--------------------------------------	----

FIGURA 1 – A PLACA DE TRANSISTORES, PRODUZIDA EM UMA PLACA PERFURADA	5
--	---

FIGURA 2 – DESENHO DO CIRCUITO NO EAGLE	6
---	---

FIGURA 3 – A PLACA DOS SENSORES PRONTA	6
--	---

FIGURA 4 – O PRIMEIRO ELETROÍMÃ CONSTRUÍDO PARA TESTES, RECHEADO POR DIVERSOS PARAFUSOS E PREGOS DE VARIADOS TAMANHOS	8
FIGURA 5 – O TUBO DEFORMADO. ANTERIORMENTE ENVOLTO POR UM ELETROÍMÃ, O QUAL FICOU LIGADO POR ALGUNS MINUTOS AQUECENDO O SUFICIENTE PARA DERRETER PARTE DO TUBO	9
FIGURA 6 – ESTRUTURA FINAL DO ELETROÍMÃ	10
FIGURA 7 – PROJETO DA CAIXA, REALIZADO NO GOOGLE SKETCHUP	11
FIGURA 8 – A CAIXA EM MDF, JÁ COM A FONTE E O COOLER MONTADOS ...	11
FIGURA 9 – EXEMPLO DE FUNCIONAMENTO DE UM TRANSISTOR NPN	12
FIGURA 10 – DESIGN DO MAGNEDUINO	14
FIGURA 11 - PROTOBOARD COM OS COMPONENTES DO MAGNEDUINO	14
FIGURA 12 – O MAGNEDUINO, COM PARTE DOS COMPONENTES JÁ SOLDADOS	15
FIGURA 13 – NO LADO ESQUERDO ENTRE O SERVO (O SEGUNDO SERVO UTILIZADO COM O DISCO), EM PRATA, A FITA DE ALTA DENSIDADE. TAL FITA CONFERE UMA ÓTIMA FIXAÇÃO COM SUPERFÍCIES DE MADEIRA.....	16
FIGURA 14 – BRAÇO DA TORRE AUXILIAR	17
FIGURA 15 – MAGNETOWER (VISÃO TRASEIRA)	17
FIGURA 16 – MAGNETOWER (VISÃO FRONTAL)	18

1. INTRODUÇÃO

O magnetismo é explorado pela humanidade há aproximadamente 2500 anos, e entre suas primeiras aplicações está a bússola, na qual auxiliou os navegadores a cruzarem os oceanos e descobrirem continentes e por extensão, colonizando-os.

Vários séculos depois, com mais utilizações para os ímãs sendo originadas e com o advento da eletricidade, experimentos de Oersted e Faraday concluíram que corrente elétrica pode também criar um campo magnético, assim como o oposto pode ocorrer, trazendo à tona então o eletromagnetismo.

Por conta do magnetismo e do eletromagnetismo é possível hoje usufruir de várias facilidades, tais como cartões de crédito, televisões, monitores de computador, CDs, DVDs, fitas VHS, discos Blu-ray, HDs, ressonância magnética, microfones, trens do tipo Maglev, caixas de som, entre outros.

Pelo fato de existirem tamanhas aplicações e por também estarem empregadas no campo da Engenharia sob diversas maneiras, é importante estudar seus efeitos não só na teoria como na prática. Assim sendo, a criação de um projeto que envolva os conceitos do eletromagnetismo faz-se primordial para o curso de Graduação de Engenharia de Computação.

No caso, a ideia para tal projeto baseia-se também em um brinquedo de parque de diversões em forma de torre que utiliza um sistema de frenagem eletromagnética a fim de frear um anel de bancos ocupado por pessoas, o qual circunda a torre. O Magnetower é composto por um ímã atirado dentro de uma torre em forma de tubo, com vários sensores que detectam a posição do objeto ao longo da torre. Tais sensores são acompanhados por eletroímãs, os quais possibilitam frear o objeto em queda.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAIS

Construir um projeto que integre os conhecimentos obtidos nas disciplinas de Sistemas Digitais I e II e Física IV, além de outras disciplinas do curso de Engenharia de Computação, quando se fizer necessário além de trazer uma aplicação real de tais conhecimentos no cotidiano de forma também integrada.

2.2 ESPECÍFICOS

1. Estudar e testar o funcionamento dos eletroímãs;
2. Estudar e testar o funcionamento dos transistores;
3. Implementar cinco fotosensores (em combinação com LEDs de alto brilho) os quais respondam de maneira rápida ao microcontrolador para a detecção de eletroímãs;
4. Construir uma placa contendo o circuito dos sensores;
5. Construir uma placa contendo o circuito dos transistores;
6. Confeccionar uma base de suporte para a torre, incluindo todas as suas placas, fonte de alimentação, fios e todos os outros componentes;
7. Implementar quatro eletroímãs de modo que consigam frear um objeto metálico (um ímã) em queda livre dentro da torre;
8. Programar o microcontrolador para executar as funções desejadas de forma rápida e eficiente;
9. Sincronizar o trabalho entre sensores, transistores e seus eletroímãs.

3. MATERIAIS UTILIZADOS

Circuito dos transistores:

- Cinco transistores n-channel IRF540N (TO220);
- Cinco diodos 1N4007;
- Cinco bornes de dois espaços;
- Cinco conectores molex (utilizados comumente para a alimentação de HDs);
- 5 vias de cabo flat;
- Um soquete estampado macho, 5 pinos em linha utilizados;
- Placa perfurada.

Circuito dos sensores:

- Um CI 40106;
- 6 vias de cabo flat;
- Uma barra de pino, 6 saídas utilizadas;
- Cinco resistores de 220Ω ;
- Cinco resistores de $1k\Omega$;
- Um soquete estampado fêmea 30 pinos, em linha, para conectar os fios;
- Placa para circuito impresso;
- Cinco LEDs de alto brilho, cor branca, tamanho padrão;
- Um soquete molex;
- Cinco LDRs, mesmo tamanho dos LEDs.

Torre principal:

- Doze pedaços de cano plástico transparente (tubulação de aquário), 70mm de comprimento (7mm adicionais para o encaixe), 23mm de diâmetro;
- 300g de fio AWG 20;
- 100g de fio AWG 24;
- Uma base plástica, própria para este tipo de tubulação de aquário, disponível em lojas especializadas.
- Dois rolos de fita dupla face auto-fusão Scotch 3M preta.

Torre auxiliar:

- 25 pedaços de tubo PVC de água fria, 25mm de diâmetro, comprimento de 18mm (para conectar têes, cotovelos e o tubo principal);
- 5 têes para tubo PVC de água fria, 25mm de diâmetro;
- 20 cotovelos para tubo PVC de água fria, 25mm de diâmetro;
- 2 capas protetoras para tubo PVC de água fria, 25 mm de diâmetro.

Caixa:

- Caixa de MDF, dimensões 0,3x0,3x0,1m, espessura 1cm;
- Um cooler 100mm padrão de PC;
- Uma fonte ATX genérica de 400W;
- Adesivos de parede – aço escovado, espelhado e preto fosco;
- Botão liga/desliga redondo;

Microcontrolador Utilizado: **Arduino Diecimilla (ATMEGA328)**

4. MÓDULOS DESENVOLVIDOS

4.1 PLACA DOS TRANSISTORES

Com conectores de alimentação independentes, os transistores recebem o sinal do Arduino. Caso o mesmo envie um sinal do tipo HIGH para o transistor (o qual ele fará apenas se um sensor perceber que algo passou por ele), o mesmo fechará um outro circuito conectado em sua outra porta, na qual terá a alimentação proveniente da fonte conectada, seguida pelo eletroímã e um diodo apontando para o sentido contrário (evitando assim possíveis danos ao transistor com o passar do tempo). Finalmente, na última porta citada existe o aterramento, a fim de criar uma tensão para o circuito conectado ao transistor. A placa suporta até cinco transistores.

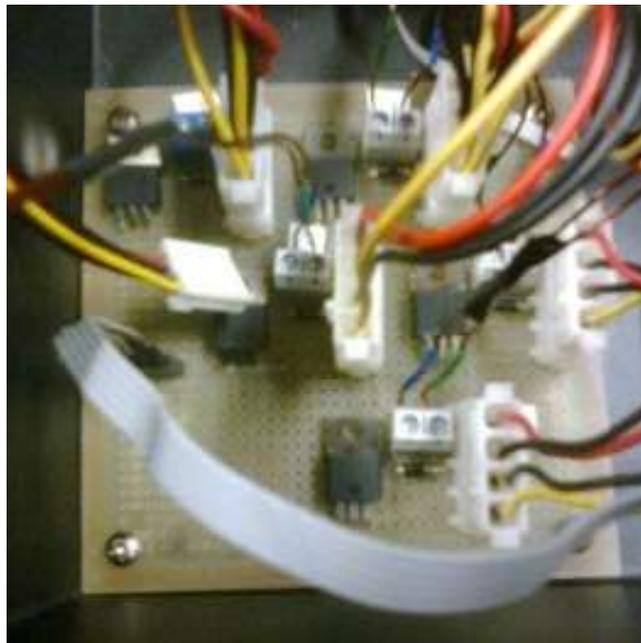


Figura 1 – A placa de transistores, produzida em uma placa perfurada

4.2 PLACA DOS SENSORES

Seguindo o aprendizado com o projeto CoolpaCoin, onde descobriu-se a necessidade de implementar um CI NOT 40106 para transformar o sinal recebido pelos fotosensores para um sinal binário possibilitando que o Arduino opere sem possibilidade de erros de leitura de dados, a mesma ideia foi implementada para o Magnetower, com leves modificações. No caso, um circuito impresso foi produzido para os sensores com a finalidade de ampliar o aprendizado da equipe com o

manejo de placas impressas. Esta placa, produzida com o aplicativo CadSoft EAGLE Layout Editor possui os resistores a serem utilizados tanto pelos LEDs emissores como os fotosensores já encaixados na mesma, além do próprio CI e soquetes para a alimentação do CI, dos LEDs, sensores, GND para os primeiros e saídas para os últimos, as quais são conectadas para suas portas no Arduino.

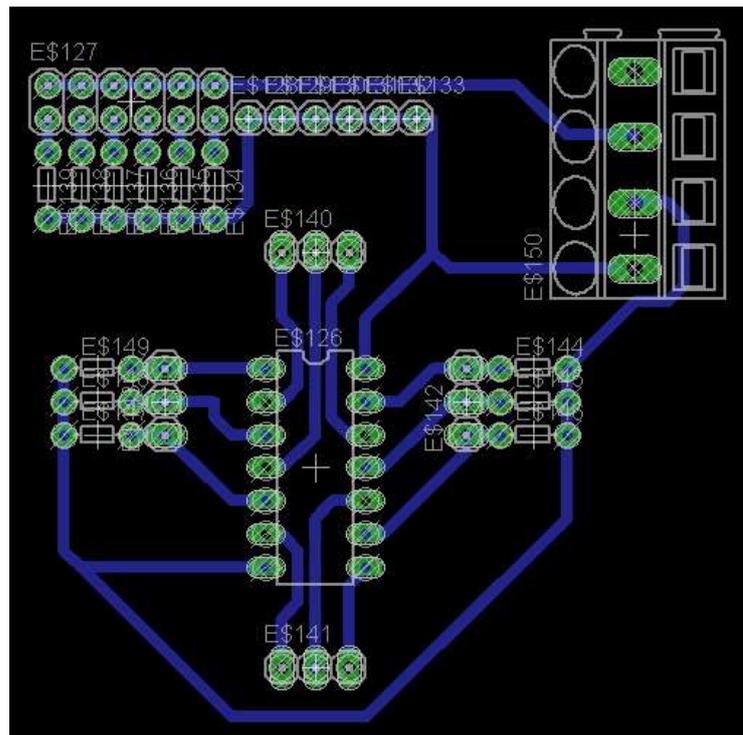


Figura 2 – Desenho do circuito no EAGLE

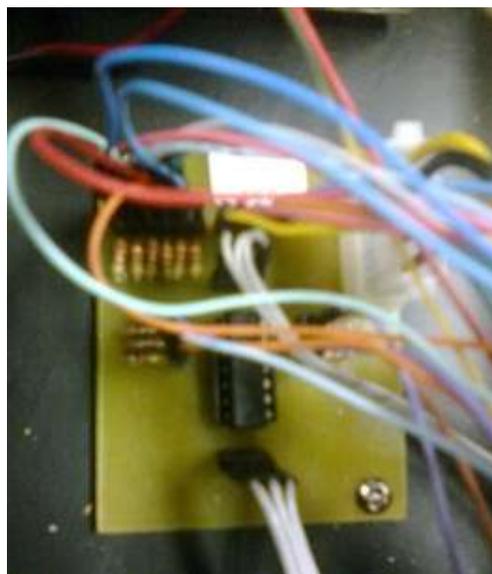


Figura 3 – A placa dos sensores pronta

5. DESCRIÇÃO GERAL

5.1 HISTÓRIA DO PROJETO

A ideia anterior ao Magnetower era denominada Parallax, e consistia em um gerador de energia elétrica composto apenas por ímãs, sugerida em conjunto pelos membros Renan e Felipe. Porém, como tal ideia teria um tempo de implementação maior do que o disponível acabou sendo abandonada. Desta forma, outra ideia, proveniente do integrante Wellington envolvia uma torre lembrando o brinquedo RotoDrop, presente na série de games *RollerCoaster Tycoon*. O RotoDrop no game é composto de uma torre, com um anel de bancos circundando o mesmo. Este anel é gentilmente levado até o topo enquanto gira em torno de si mesmo, de modo mecânico. Ao chegar no topo, o anel sofre uma queda livre, e por conta de freios eletromagnéticos próximos da base consegue fazer uma força suficientemente grande a ponto de evitar que a gravidade faça com que o anel se choque contra o chão.

No caso, a torre a ser construída teria um princípio vagamente parecido: um objeto metálico é solto do topo da torre, e uma série de sensores perceberiam a posição do mesmo, denunciando para o microcontrolador a fim de que o mesmo ative o eletroímã para frear levemente o objeto. Após passar pelo eletroímã, o mesmo é desativado, e o objeto segue para o próximo sensor, ativando posteriormente por conta do microcontrolador seu respectivo eletroímã, e assim sucessivamente até chegar ao final da torre. Como a ideia foi aprovada pelos outros integrantes da equipe e então pelos professores Gil e Afonso, o Magnetower começou a ser posto em prática.

Primeiramente, definiu-se em um encontro com os integrantes da equipe que o objeto deveria ser facilmente visível, a fim de se verificar a posição do mesmo durante sua queda. Então, o integrante Renan veio com a possibilidade de se utilizar tubos transparentes utilizados em aquário para tal. Além do baixo preço, são divididos em partes de 7,7cm cada (0,7cm para o encaixe), o que facilita a montagem, reparos e transporte. Após isso, deu-se continuidade com a compra, projeto e montagem dos vários componentes do Magnetower.

5.2 HARDWARE

Um dos primeiros problemas enfrentados foi em relação ao eletroímã, por conta da dificuldade de se conseguir um fio de cobre esmaltado AWG que fosse adequado ao nosso trabalho. A quantidade de fio obtida (AWG 24) porém foi adequada para a construção de apenas três eletroímãs excetuando-se o que foi adquirido-se de uma loja de reparo de motores mais 250g de AWG 20, sob os quais foram construídos mais dois eletroímãs, sendo um deles descartado após ser ligado após cinco minutos, tendo aquecido o suficiente para derreter o tubo transparente no qual ele estava envolto (figura 6).

O primeiro eletroímã (figura 5) foi construído sobre um pedaço de cano PVC de água fria com 25mm de diâmetro, com seus fios delimitados por algumas voltas de fita crepe. O eletroímã possuía 3 camadas de AWG 24, e os testes realizados com o mesmo provaram que ele não conseguia criar uma força eletromagnética forte o suficiente para os objetivos do projeto. Então, seguindo a sugestão do Prof. Gil a fim de testar se o dobro de camadas seria viável para o projeto todo o interior do cano foi preenchido com pregos e parafusos (objetos metálicos). Como os resultados foram satisfatórios durante testes com os eletroímãs deitados, foram empregadas sete camadas nos eletroímãs AWG 24 finais (uma camada extra para assegurar o efeito desejado), e quatro naquelas com AWG 20 por possuir a mesma espessura de sete camadas de AWG 20, gerando assim um efeito similar.



Figura 4 – O primeiro eletroímã construído para testes, recheado por diversos parafusos e pregos de variados tamanhos



Figura 5 – O tubo deformado. Anteriormente envolto por um eletroímã, o qual ficou ligado por alguns minutos aquecendo o suficiente para derreter parte do tubo

A estrutura de cada eletroímã consiste em um desses tubos previamente mencionados, com cinco (para o eletroímã com AWG 24) a doze voltas (para o eletroímã com AWG 20 de dez camadas) de fita dupla face auto-fusão Scotch 3M, garantindo não somente uma delimitação para os fios de cobre, evitando que eles escapem para cima ou para baixo, como também atuando como isolantes térmicos, facilitando o manuseio dos tubos para manutenção logo após o desligamento do eletroímã - quando se fizer necessário, e uma a duas voltas de fita isolante, para segurar cada uma das pontas do eletroímã sobre a dupla face.

Após os primeiros testes com todos os eletroímãs montados na torre, constatou-se que eles não surtiam o efeito desejado, apesar do que era apontado durante os testes verticais. Isto se dava porque a força-peso era maior neste caso. Por conta disso, dois eletroímãs com AWG 24 foram trocados por outros com AWG 20. As camadas de cobre esmaltado preenchendo todo o comprimento delimitado pela fita auto-fusão, sob todos os casos.



Figura 6 – Estrutura final do eletroímã

Cada eletroímã possui sua respectiva resistência, e pela lei de Ohm, na qual a tensão (V) é igual à corrente (I) multiplicada pela resistência (R), conclui-se que $I = V/R$. Então, a corrente que cada eletroímã consome seria a mostrada pela tabela 1, com a tensão de 5V.

Eletroímã	Resistência	Corrente
1 (AWG 24 – 7 camadas)	3,2Ω	1,56 A
2 (AWG 20 – 3 camadas)	0,8Ω	6,25 A
3 (AWG 20 – 8 camadas)	1,2Ω	4,16 A
4 (AWG 20 – 10 camadas)	1,5Ω	3,33 A

Tabela 1 – Corrente consumida por cada eletroímã, com uma tensão de 5V

Então, iniciaram-se os trabalhos com a caixa. Era necessária uma caixa a qual funcionasse como base para todo o equipamento, a fiação e a torre. Então, o integrante Renan projetou como a mesma seria, tal qual vista na figura 8. Como toda a equipe aprovou, a mesma foi produzida utilizando MDF (figura 9). Ela possui uma tampa superior e três buracos laterais: uma para acomodar a parte frontal da fonte de alimentação, outra para o cooler auxiliar e uma, no outro lado da caixa, para o botão liga/desliga (não visível no momento).

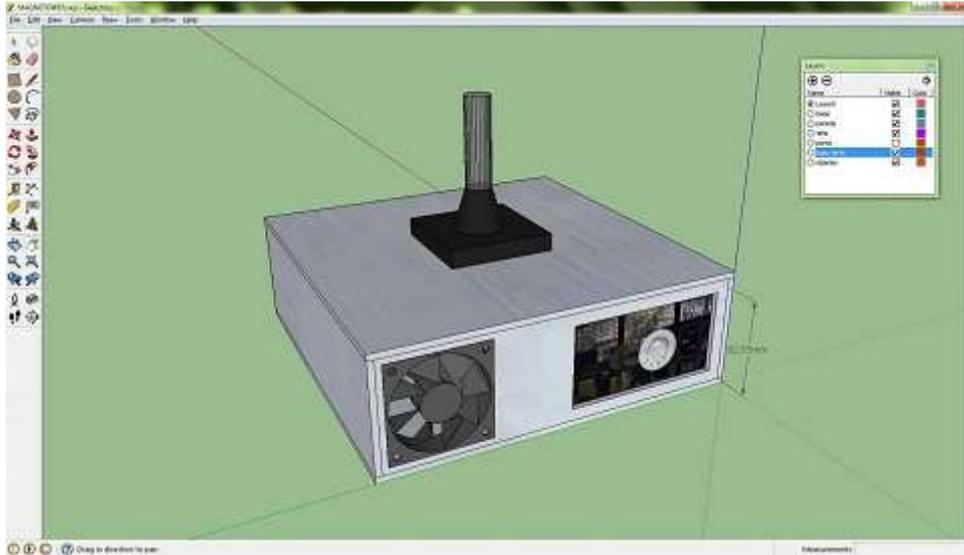


Figura 7 – Projeto da caixa, realizado no Google SketchUp



Figura 8 – A caixa em MDF, já com a fonte e o cooler montados

A fonte de alimentação utilizada é uma fonte ATX 400W genérica, utilizada em computadores de mesa. Ela está associada ao botão liga/desliga na frente da caixa, ligando/desligando somente sob seu comando.

Junto da compra dos tubos transparentes, uma base própria para os tubos, de plástico preto foi comprada de modo a fixar os tubos à tampa da caixa. Porém, tal

base era muito espessa, e implicaria em sulcar a tampa, o que poderia acarretar em um dano irreversível na mesma. Por conta disso, uma segunda base, muito mais fina que a anterior foi comprada. Neste caso, para encaixar a mesma foi necessário apenas furar em certos pontos a tampa para parafusar a base plástica, centrada na tampa.

Posteriormente, iniciaram-se os testes com os transistores. Eles são necessários por dois motivos: o primeiro é que o eletroímã precisa ser ativado somente se o seu respectivo sensor, disposto alguns centímetros acima de si, detectar que o objeto passou (ou seja, que está indo em sua direção). O segundo é que o eletroímã, se ficar ligado por muito tempo, causa superaquecimento e então o derretimento do tubo do qual o eletroímã está envolto. No caso, cada eletroímã possui seu respectivo transistor. O transistor utilizado no projeto é o IRF540N, do tipo NPN. Seu funcionamento é ilustrado por um circuito-exemplo na figura 10.

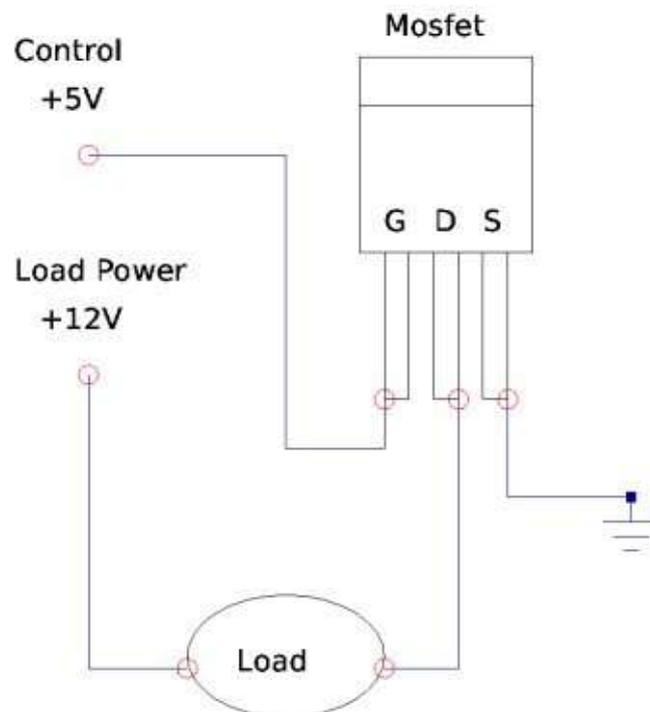


Figura 9 – Exemplo de funcionamento de um transistor NPN

No caso, a primeira porta (Gate) recebe uma pequena corrente. Ao receber um valor HIGH (5V), o Mosfet conecta a segunda porta (Drain) à terceira (Source), fazendo com que a corrente feche entre ambos, fazendo com que o circuito

conectado ao Drain (no lugar do Load, na figura 10) entre em funcionamento. Por outro lado, ao receber 0V na Gate, Drain se desconecta à Source, parando o funcionamento do circuito conectado ao transistor. O IRF540N possui limites de tensão, corrente e temperatura altos o suficiente para garantir a segurança dos componentes do Magnetower, e portanto foi utilizado. Os primeiros testes envolvendo o Arduino e um LED de teste foram satisfatórios. A composição do IRF540N na porta Drain é uma alimentação 5V da fonte, seguida por um borne de duas saídas para cada uma das pontas do eletroímã, um diodo 1N4007 apontando para a alimentação da fonte, como um método de segurança do eletroímã conectado em paralelo ao borne e então a porta Drain. A Gate do transistor é conectada à uma porta de saída do Arduino e a Source, ao GND da fonte.

Dando sequência, os trabalhos para os sensores também iniciaram. Utilizando cabo manga, cinco pares de LDRs-LEDs de alto brilho foram confeccionados com saídas na forma de um soquete estampado macho. Esses pares seriam conectados à uma placa contendo um CI NOT 40106, VCC com ou sem resistores de 220Ω (com resistores para os LEDs) e GND com ou sem resistores de $1k\Omega$ (com resistores para os LDRs). Como todos os componentes funcionaram adequadamente, seriam posteriormente transferidos à uma placa própria. Protótipos utilizando sensores por infravermelho (IR) e sensores utilizando laser como fonte luminosa também foram construídos, mas nenhum atendeu às expectativas desejadas.

Como seriam utilizados três módulos, uma ideia para resumir todo o circuito seria criar um circuito que englobasse o Arduino, o circuito referente aos sensores e aos transistores. O projeto foi realizado no CADSOFT Eagle Layout Editor Professional (figura 11) e posteriormente implementado na protoboard (figura 12). Como a placa funcionou corretamente durante os testes iniciais, a mesma foi inserida em circuito impresso (figura 13). Tal placa fora denominada Magneduino.

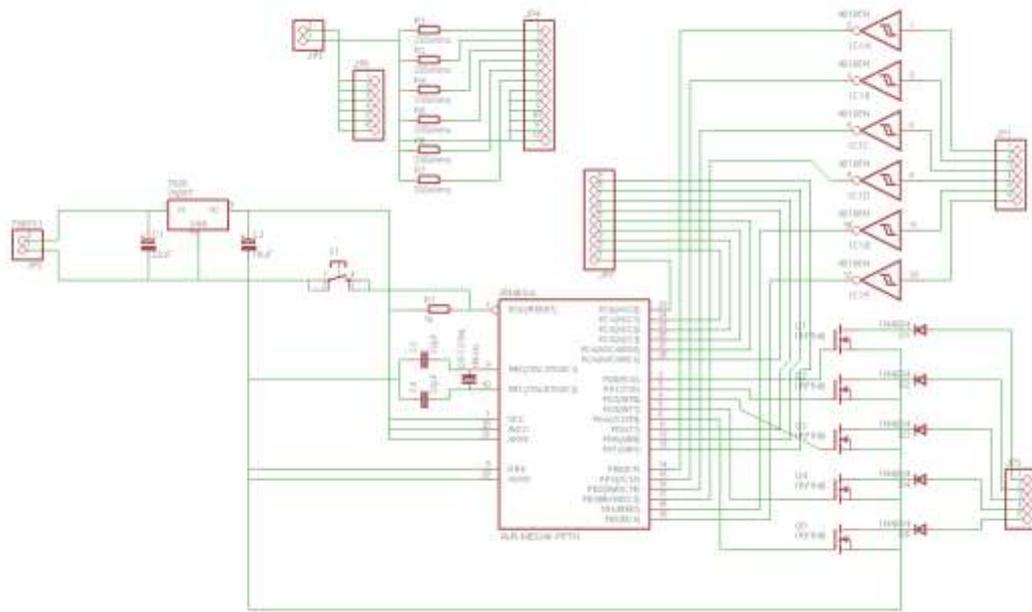


Figura 10 – Design do Magneduo

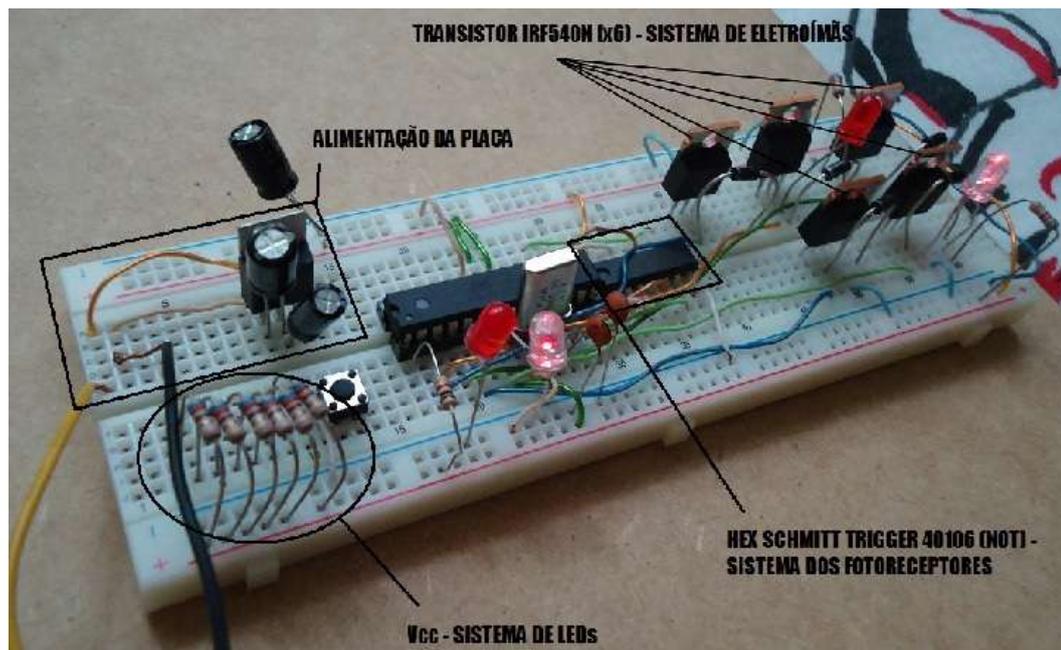


Figura 11 - Protoboard com os componentes do Magneduo

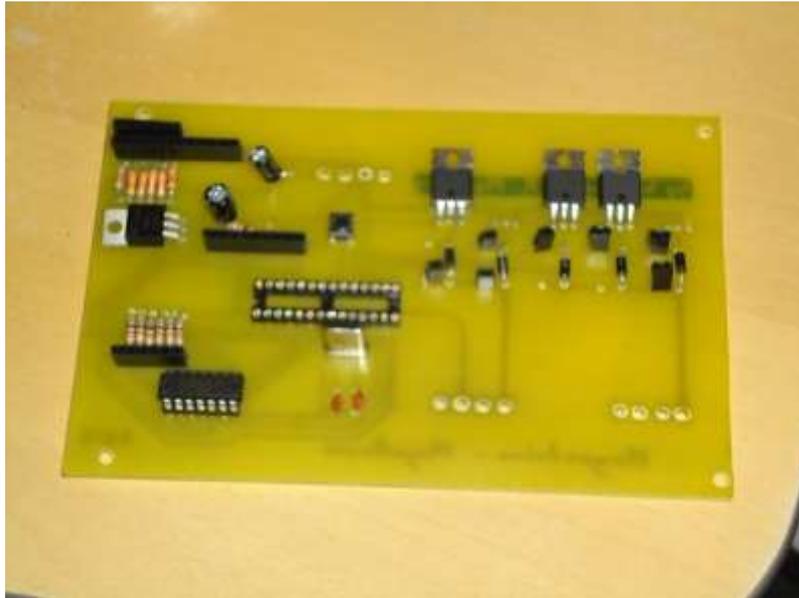


Figura 12 – O Magneduino, com parte dos componentes já soldados

O problema apresentado pelo Magneduino após a solda no circuito impresso foi o de que ele não conseguia administrar a tensão necessária para o CI 40106. Outro problema foi o de que os transistores aproveitavam a mesma alimentação, o que poderia acarretar em problemas de desempenho dos mesmos posteriormente. Por conta desses fatores, somados ao fato de não possuímos tempo hábil para refazer a placa, foi adotada a alternativa de separar as placas. Pelo Arduino ficaria responsável a placa Freeduino. Enquanto isso, os sistemas dos transistores e dos sensores teriam placas independentes, uma em placa perfurada e a outra em circuito impresso.

Nos dias seguintes tomou lugar a confecção de ambas as placas correram sem maiores problemas. A placa dos sensores possui uma saída de alimentação para a fonte, a fim de alimentar tanto o CI 40106 quanto aos LEDs e LDRs. Enquanto isso, a placa dos transistores possui cinco saídas de alimentação, uma para cada transistor.

Ao passo em que as placas eram confeccionadas e testadas, a caixa referente à base foi revestida com adesivo de parede. O adesivo simulando aço escovado revestiu o exterior da caixa e a parte superior da tampa. No lado interno da caixa e inferior da tampa, utilizou-se adesivo preto fosco, e na fonte, adesivo espelhado. No fundo da caixa estão dispostas as placas, a fonte e um encaixe para a torre auxiliar. Após finalizar isto, todas as placas produzidas anteriores foram

testadas utilizando um programa-teste do Arduino e foram aprovadas após a substituição de dois transistores, os quais queimaram durante a solda.

Originalmente, a ideia seria a de implantar duas torres auxiliares - uma para cada "lado" dos sensores e eletroímãs (no caso, uma torre receberia todos os cabos referentes aos LEDs e todos os pólos norte dos eletroímãs e a outra com todos os cabos referentes aos LDRs e todos os pólos sul dos eletroímãs). Porém, dadas as análises provenientes dos integrantes Renan e Felipe acerca da disposição dos cabos, constatou ser mais viável a utilização de apenas uma torre. Na altura a qual cada par LED-LDR ficaria, coloca-se uma saída em formato "C", tal qual visível na figura 14. A ideia inicial seria colocar uma braçadeira de arame grosso, a qual seria envolvida pelos cabos dos LEDs e LDRs. O material da torre auxiliar seria um trilho de cortina, de alumínio. Porém, como a utilização deste método daria margem à vários tipos de problemas de ajustes, tal ideia foi substituída pelo uso puro de tubos PVC de água fria, com "tês" e cotovelos do mesmo tipo, de 25mm. Além de fornecer uma estrutura mais segura, este modelo oferece uma melhor mobilidade e facilidade para ajustar a altura dos pares LED-LDR.

Na produção desta torre auxiliar, provou-se necessário serrar a ponta do menor vértice do "tê", a fim de diminuir o comprimento total dos braços da torre auxiliar para ficar rente à torre principal. Além disso, pequenos pedaços de cano de comprimento 1,8cm foram cortados para encaixar os cotovelos, os "tês" e o cano principal, um ao outro. Este comprimento é suficiente para que todas as peças fiquem conectadas entre si sem nenhum espaço sobrando, e que assegure todas as conexões de modo seguro.

Na tabela 2 é possível consultar o tamanho das secções utilizadas para a torre auxiliar. Vale lembrar que cada secção é unida por um tê. Os cálculos para determinar o comprimento de cada secção foram baseados no fato de que cada par LED-LDR deve ficar a 1,5cm de cada tubo sem eletroímã, de cima para baixo.

Secção	Comprimento
Caixa – Eletroímã 1	33,1 cm
Eletroímã 1 – Eletroímã 2	11,6 cm
Eletroímã 2 – Eletroímã 3	11,6 cm
Eletroímã 3 – Eletroímã 4	11,6 cm
Eletroímã 4 – Sensor 2	11,6 cm

Tabela 2 – Medidas das secções da torre auxiliar

Após toda a torre auxiliar ser montada e ajustada na base, iniciaram-se os trabalhos na programação.



Figura 14 – Braço da torre auxiliar



Figura 15 – Magnetower (visão traseira)



Figura 16 – Magnetower (visão frontal)

5.3 SOFTWARE

O software utilizado pelo projeto foi programado pelo integrante Wellington, tendo como base o próprio pacote de software provido pelo Arduino. O programa foi escrito em C/C++, pelo compilador do Arduino, e possui a competência de sincronizar todo o trabalho em questão de centésimos de segundos. Em um código simples, ele coordena todo o trabalho dos eletroímãs embasando-se no trabalho dos sensores.

Uma das ideias iniciais sobre o programa era implementar um sistema de ativação dinâmica dos eletroímãs a partir do tempo gravado a partir dos sensores. Por exemplo, quando um eletroímã passa em um sensor, a função *millis()* é chamada pelo microcontrolador. Esta função armazena na memória um valor. Ao passar pelo próximo sensor, a função *millis()* é novamente chamada, armazenando na memória do microcontrolador outro valor. Subtraindo este valor pelo anterior, obtém-se a diferença em milissegundos entre um sensor e outro. Esta diferença, multiplicada por mil, equivale-se à diferença em segundos. Como a distância entre um sensor e outro é de sempre 14,4cm (0,144m), tomando-se as seguintes funções:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

nas quais a corresponde à aceleração, em m/s^2 ; v corresponde à velocidade, em m/s ; Δs à distância entre o ponto final e o ponto inicial, dada em metros (m) e Δt à diferença entre o tempo final e o tempo inicial, dada em segundos (s), conclui-se que:

$$a = \frac{\Delta s}{\Delta t^2}$$

Como os sensores obteriam a diferença em segundos (Δt) e a distância já é conhecida (Δs), poderia-se saber o valor da aceleração, e a partir da mesma, utilizando regra de três com a distância entre o penúltimo e o último sensor imediatamente anteriores ao eletroímã e o Δt armazenados pela função *millis()* chamada por esses sensores com a distância entre o penúltimo sensor e a metade do eletroímã (para o primeiro eletroímã, 0,20m – para os posteriores, 0,14m).

Porém, isto não foi implementado pelo fato de que o Arduino demora tempo demais nesses cálculos, por mais simplificados que fiquem. Este tempo demais faz com que o Arduino acabe não lendo os sensores posteriores, inviabilizando assim este tipo de cálculo.

Por conta disso, uma outra aproximação foi realizada. No caso, o primeiro sensor (de cima para baixo), ao detectar que o projétil passou por ele acaba liberando uma “trava” para os próximos sensores e também especificamente para o sensor 2. Quando esta “trava” para todos os sensores estiver liberada (valor 1), os próximos sensores podem ser lidos. No momento em que o objeto passar pelo segundo sensor, o programa verá que a trava para todos os sensores (de 2 a 5) e a trava específica para o sensor 2 estão liberadas. Como no mesmo instante o sensor detectou o objeto, ele liga o primeiro eletroímã, fecha a trava para o sensor 2 e libera a trava para o sensor 3.

Ao chegar no sensor 3 e detectar que o mesmo percebeu que o objeto passou pelo mesmo, ele desativa o primeiro eletroímã, ativa o segundo, desativa a liberação da trava do sensor 3 e ativa a do sensor 4. Quando o sensor 4 detectar que o objeto passou por ele (salientando que a trava para esta detecção está

liberada no momento), ele ativa o terceiro eletroímã, desativa o segundo, ativa a liberação da trava para o quinto e último sensor e desativa do quarto.

Finalmente, no momento em que o objeto passar pelo último sensor, ele desativa a liberação da trava geral para todos os sensores – de 2 a 5, a específica referente ao quinto sensor e ativa o quarto e último eletroímã. Este eletroímã fica ativo então por 5 segundos, para que o usuário possa visualizar a ação do eletroímã sobre o objeto e então é desativado, estando pronto para um novo ciclo.

Durante muitos casos, os eletroímãs possuem a capacidade de não apenas frear como parar o objeto. No caso, os eletroímãs superiores vão freando o objeto até o mesmo encontrar um eletroímã na torre com força o suficiente para pará-lo. Existem casos nos quais ele consegue ser freado pelo segundo ou terceiro eletroímã. Neste caso, o usuário pode visualizar a ação do eletroímã pelo tempo que quiser e então desligar a torre pelo botão liga/desliga localizado na frente da caixa.

No momento em que a caixa for ligada, é necessário aguardar 2 segundos antes de colocar um objeto em queda. Esses dois segundos foram implementados de modo a evitar ruídos na leitura de dados nos sensores e/ou no CI 40106 (responsável por converter o sinal analógico recebido pelo LDR em um sinal digital invertido, o qual é interpretado de modo adequado pelo Arduino). Após isto, não existe tempo de espera, muito menos tempo máximo para que a torre fique ligada.

6. PROBLEMAS APRESENTADOS E SUAS SOLUÇÕES

Problemas	Soluções
Aquecimento excessivo em cada eletroímã durante alguns poucos minutos ligado.	Adoção de um sistema de transistores, sempre ligados à fonte e ativados mediante comando do Arduino.
Necessidade de se ativar cada eletroímã apenas quando o objeto estiver passando por ele, visto que caso um ímã esteja em queda ao longo torre, ao longo da primeira metade de cada eletroímã ele freia (o pólo de baixo do ímã é igual ao pólo formado na primeira metade do eletroímã, repelindo o ímã para cima), e da segunda metade, acelera (o pólo de cima do ímã é igual ao pólo da segunda metade do eletroímã, repelindo o ímã para baixo).	
Não é possível visualizar o que ocorre dentro da torre com o uso de tubos de PVC (água fria).	Adoção de tubos transparentes utilizados em sistemas de aquário.
Ruídos na leitura de dados dos fotosensores.	Adoção de um CI 40106 (NOT), cuja saída é binária (LOW/HIGH).
Conectar um resistor a partir do VCC à uma entrada de um LED ou na saída de um fotosensor e posteriormente ao GND (neste último caso em paralelo com outra saída para o Arduino) utilizando fita isolante logo na saída do LED ou do fotosensor resultaria em uma conexão mal-feita.	Todos os resistores são soldados à placa dos sensores.
As placas de controle do Magneduino poderiam superaquecer dependendo da	A instalação de um cooler na caixa resolveu o problema.

temperatura ambiente e do tempo no qual o aparelho se encontra ligado.	
Nos testes com a alimentação do Arduino via USB, o transistor não recebe o sinal corretamente.	A alimentação do transistor e do Arduino precisa ser a mesma. Com o Arduino conectado à fonte juntamente do transistor resolve o problema.
Os eletroímãs não conseguem frear o projétil suficientemente bem.	Dois eletroímãs foram substituídos por outros, com mais camadas de cobre.

Tabela 3 – Problemas apresentados e suas respectivas soluções

7. CONCLUSÕES

Constatou-se que é possível construir eletroímãs que consigam trabalhar em conjunto e com poder o suficiente para frear um objeto metálico em queda livre. Além disso, é ainda possível sincronizar o trabalho desses eletroímãs com sensores os quais controlam todo o sistema em uma questão de décimos a centésimos de segundo, tempo este levado para um projétil passar por toda a torre.

Por mérito do trabalho em equipe e pelo auxílio dado pelos professores orientadores do projeto, a conclusão do mesmo ocorreu dentro do tempo esperado sem nenhuma falha.

Além do êxito do projeto, é válido acrescentar que foi de extrema importância para os integrantes da equipe a experiência provinda da realização da torre, incluindo o aprendizado e os conceitos desenvolvidos a fim de concluir o Magnetower. Tais conhecimentos serão certamente utilizados ao longo da formação dentro do curso de Engenharia de Computação e por extensão, na carreira profissional dos integrantes do Magnetower.

8. DICIONÁRIO DE TERMOS

Campo elétrico: Pode ser entendido como sendo uma entidade física que transmite a todo o espaço a informação da existência de um corpo eletrizado (Q) e, ao colocarmos uma outra carga (q) nesta região, será constatada a existência de uma força F de origem elétrica agindo nesta carga (q). É importante neste momento, fazer uma analogia entre o campo elétrico e o campo gravitacional de um planeta. Ao redor de um planeta, existe um campo gravitacional devido a sua massa, análogo ao campo elétrico que existe em torno de uma esfera eletrizada. Percebemos então, uma analogia entre as grandezas físicas de massa e carga elétrica, como sendo responsáveis por gerar os campos gravitacional e elétrico respectivamente.

Para definir, matematicamente, o campo elétrico é necessário definirmos uma grandeza física que o represente. Esta grandeza é o vetor campo elétrico. Considerando a definição utilizada anteriormente, o vetor campo elétrico é dado por:

$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ (lembrando que E e F são vetores, E é o campo elétrico, medido em N/C (newton/coulomb); F é a força elétrica, medida em newtons (N), e q é a carga elétrica, medida em coulombs (C)).

A força F , à qual a carga q fica submetida será atrativa ou repulsiva, dependendo do sinal de q .

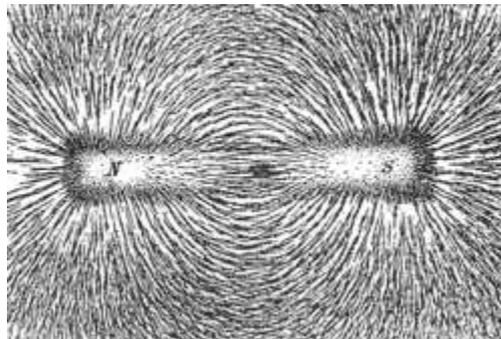
A direção do vetor campo elétrico terá a mesma direção da reta que une o ponto considerado e a carga de geradora (Q). Já o sentido do vetor campo elétrico, depende do sinal da carga geradora (Q): o campo elétrico gerado por uma carga elétrica (Q) positiva é de afastamento e, o campo elétrico gerado por uma carga elétrica (Q) negativa é de aproximação. O sentido do campo elétrico independe do sinal da carga (q) que sofre a ação da força F .

Campo eletromagnético: É um vetor formado pela união dos campos elétrico e magnético.

Campo magnético: Cada carga cria em torno de si um campo elétrico, assim como do mesmo modo o ímã cria um campo magnético. Porém, em um ímã não existe apenas um pólo, resultando assim o fato de que sempre o ímã terá uma carga positiva e uma negativa.

Para representar o campo magnético usa-se o símbolo \vec{B} , e para determinar o sentido de B utiliza-se uma bússola ou a regra da mão direita (dispondo o polegar da mão direita ao longo do condutor, no sentido da corrente, o dedo indicador no sentido do campo e o "maior de todos" o dedo que indica o sentido da força).

O sentido adotado para o campo magnético é sempre do pólo norte do imã para o pólo sul, e nenhuma linha de campo gerada pelo mesmo cruza o outro, tal qual ilustrado pela figura a seguir.



Para se calcular o campo magnético, medido em Tesla (T), utiliza-se a fórmula dada por $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$, na qual o campo magnético (B) é a permeabilidade magnética do vácuo ($\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$) multiplicada pela corrente elétrica que passa pelo fio dividido pela distância ao fio.

Capacitor: O capacitor se parece um pouco com uma bateria. Embora funcionem de maneira totalmente diferente, tanto os capacitores como as baterias armazenam energia elétrica. Uma pilha (ou uma bateria, de modo mais genérico) possui dois pólos (ou terminais). Dentro da pilha, reações químicas produzem elétrons em um terminal e absorvem elétrons no outro.

O capacitor é um dispositivo muito mais simples, e não pode produzir novos elétrons - ele apenas os armazena.

Como a pilha, o capacitor possui dois terminais. Dentro do capacitor, os terminais conectam-se a duas placas metálicas separadas por um dielétrico. O dielétrico pode ser ar, papel, plástico ou qualquer outro material que não conduza eletricidade e impeça que as placas se toquem. É possível fazer facilmente um capacitor a partir de dois pedaços de papel alumínio e um pedaço de papel. Não

seria um capacitor muito bom em termos de capacidade de armazenamento, porém funcionaria.

Quando se conecta um capacitor a uma pilha, a placa do capacitor conectada ao terminal negativo da pilha aceita os elétrons que a pilha produz, e a placa do capacitor conectada ao terminal positivo da pilha perde os elétrons para a pilha.

Depois de carregado, o capacitor possui a mesma tensão que a pilha (1,5 volts na pilha significa 1,5 volts no capacitor). Em um capacitor pequeno, a capacidade é pequena. Porém capacitores grandes podem armazenar uma carga considerável. É possível encontrar capacitores do tamanho de latas de refrigerante, por exemplo, que armazenam carga suficiente para acender o bulbo de uma lâmpada de flash por um minuto ou mais. Quando são vistos relâmpagos no céu, o que se vê é um imenso capacitor onde uma placa é a nuvem e a outra placa é o solo, e o relâmpago é a liberação da carga entre essas duas "placas". Obviamente, um capacitor tão grande pode armazenar uma enorme quantidade de carga.

Quando se conecta uma pilha, uma lâmpada e um capacitor, ocorre outra coisa. Se o capacitor for grande, dá para notar que, quando conecta a pilha, a lâmpada se acenderá à medida que a corrente flui da pilha para o capacitor e o carrega. A lâmpada diminuirá sua luminosidade progressivamente até finalmente apagar, assim que o capacitor atingir sua capacidade. Então pode-se remover a pilha e substituí-la por um fio elétrico. A corrente fluirá de uma placa do capacitor para a outra. A lâmpada acenderá e então começará a diminuir cada vez mais sua luminosidade, até apagar assim que o capacitor estiver totalmente descarregado (o mesmo número de elétrons nas duas placas).

Os capacitores são utilizados de várias maneiras em circuitos eletrônicos: algumas vezes, os capacitores são utilizados para armazenar carga para utilização rápida. É isso que o flash faz. Os grandes lasers também utilizam esta técnica para produzir flashes muito brilhantes e instantâneos; os capacitores também podem eliminar ondulações. Se uma linha que conduz corrente contínua (CC) possui ondulações e picos, um grande capacitor pode uniformizar a tensão absorvendo os picos e preenchendo os vales; e também um capacitor pode bloquear a CC. Se você conectar um pequeno capacitor a uma pilha, então não fluirá corrente entre os pólos

da pilha assim que o capacitor estiver carregado (o que é instantâneo se o capacitor é pequeno). Entretanto, o sinal de corrente alternada (CA) flui através do capacitor sem qualquer impedimento. Isto ocorre porque o capacitor irá carregar e descarregar à medida que a corrente alternada flutua, fazendo parecer que a corrente alternada está fluindo.

A unidade de capacitância é o *farad*. Um capacitor de 1 farad pode armazenar um coulomb de carga a 1 volt. Um coulomb é $6,25 \times 10^{18}$ (6,25 bilhões de bilhões) de elétrons. Um ampère representa a razão de fluxo de elétrons de 1 coulomb de elétrons por segundo, então, um capacitor de 1 farad pode armazenar 1 ampère-segundo de elétrons a 1 volt. Vale reiterar que o ampère é a unidade de medida para corrente elétrica, e o coulomb, para carga.

Um capacitor de 1 farad seria bem grande. Ele poderá ser do tamanho de uma lata de atum ou de uma garrafa de 1 litro de refrigerante, dependendo da tensão que ele pode suportar. Então, normalmente, os capacitores são medidos em microfarads (milionésimos de um farad).

Para ter uma idéia de quanto é um farad, pode-se pensar assim: uma pilha alcalina AA comum contém aproximadamente 2,8 ampère-hora. Isto significa que uma pilha AA pode produzir 2,8 ampères durante uma hora a 1,5 volts (aproximadamente 4,2 watts-hora - uma pilha AA pode acender uma lâmpada de 4 watts por pouco mais de uma hora). O valor de 1 volt será utilizado como exemplo para melhor entendimento. Para armazenar a energia de uma pilha AA em um capacitor, seriam necessários $3.600 \times 2,8 = 10.080$ farads para manter, pois um ampère-hora é 3.600 ampères-segundo.

Se é necessário algo do tamanho de uma lata de atum para manter um farad, então 10.080 farads precisariam de MUITO mais espaço que uma única pilha AA. Obviamente, não é possível utilizar capacitores que armazenam uma quantidade significativa de energia, a menos que isto seja feito em altas tensões.

Carga elétrica: No núcleo do átomo – unidade invisível ao olho nu na qual toda matéria é formada - estão os prótons e os nêutrons, e girando em torno deste núcleo estão os elétrons. Um próton em presença de outro próton se repele, o mesmo ocorre com os elétrons, mas entre um próton e um elétron existe uma força de

atração. Desta maneira, atribuímos ao próton e ao elétron uma propriedade física denominada **carga elétrica**. Enquanto que os prótons possuem carga elétrica positiva, os elétrons possuem carga elétrica negativa. Ambos possuem a mesma quantidade de carga elementar (e), medida em coulombs (C), a diferença entre prótons e elétrons está apenas no sinal atribuído. Para descobrir a carga elétrica de um corpo (corpo este no qual é formado por vários elétrons), a fórmula $Q = ne$ é aplicada, na qual Q é a quantidade da carga elétrica desse corpo, n é o número de elétrons em falta, ou em excesso, e e é a carga elementar, a qual vale $1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

Circuito Integrado (CI): é um circuito eletrônico (ou vários circuitos) dentro de uma única pastilha de silício. É o principal responsável pela miniaturização dos circuitos eletrônicos. Dentro de um CI tem normalmente transístores, diodos e resistores ou até outros componentes como filtros de cerâmica.

Corrente elétrica: é o fluxo ordenado de partículas portadoras de carga elétrica. Sabe-se que, microscopicamente, as cargas livres estão em movimento aleatório devido à agitação térmica. Apesar desse movimento desordenado, ao estabelecermos um campo elétrico na região das cargas, verifica-se um movimento ordenado que se apresenta superposto ao primeiro, o que acaba por criar uma corrente, medida em ampères (A). Este fluxo sempre ocorrerá na existência de uma ddp entre dois pontos distintos.

Diferença de potencial (ddp): Também conhecida como *tensão*, ou sob a nomenclatura de *voltagem* (cujo uso é condenado na Engenharia), é medida em volts (V). A ddp é a diferença do potencial elétrico entre dois pontos distintos em um campo elétrico, que pode ser uma pilha, por exemplo. Esta pilha mantém uma falta de elétrons em uma de suas extremidades e sobra em outra. Esta falta em um pólo e excesso em outro acaba criando uma ddp, ou tensão elétrica. Um aparelho elétrico só funciona se houver ddp entre os dois pontos em que estiver ligado para que as cargas elétricas possam se deslocar, criando também uma corrente elétrica.

Diodo: é um dispositivo ou componente eletrônico composto de cristal semicondutor de silício ou chumbo numa película cristalina cujas faces opostas são dopadas por diferentes gases durante sua formação. Ele permite que a corrente atravesse-o num

sentido com muito mais facilidade do que no outro, e é o mais simples tipo de componente eletrônico existente.

Energia potencial: É o nome dado a forma de energia quando está “armazenada”, isto é, que pode a qualquer momento manifestar-se. Por exemplo, sob a forma de movimento. A energia hidráulica e a energia nuclear, são exemplos de energia potencial, dado que consistem em energias que estão "armazenadas".

Força elétrica: regida pela *Lei de Coulomb*, a qual é dada por $F = \frac{kQq}{d^2}$, onde F é a força de interação entre as duas partículas, medida em newtons (N); k é uma constante do meio ($9 \cdot 10^9$, no vácuo), medida em Nm^2/C^2 , Q e q são as cargas elétricas da primeira e segunda partículas, respectivamente, ambas medidas em coulombs (C); e d é a distância que separa as duas partículas, medidas em metros (m). O físico Charles Coulomb utilizou para estudar estas forças um equipamento que ele mesmo desenvolveu, a balança de torção. Este equipamento consiste em um mecanismo que calcula a intensidade do torque sofrido por uma partícula que sofre repulsão. As cargas elétricas positivas são atraídas pelas cargas elétricas negativas e as cargas com mesmo nome se repelem. A lei de Coulomb diz que a intensidade da força eletrostática entre duas cargas elétricas é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa, e esta equação é dada no início da definição. Em ambas as cargas é inserido apenas o valor numérico, sem o sinal (ou seja, valor em módulo).

Utilizando tal lei, pode-se concluir por exemplo, que:

*mantendo-se a distância entre os corpos e dobrando-se a quantidade de carga elétrica de cada um, a força elétrica será multiplicada por quatro.

*mantendo-se as cargas elétricas e dobrando-se a distância a força elétrica será dividida por quatro.

LED: Do inglês **L**ight **E**mitter **D**iode (diodo emissor de luz). Sua funcionalidade básica é a emissão de luz em locais e instrumentos onde se torna mais conveniente a sua utilização no lugar de uma lâmpada (pelo baixo consumo ou por emitir menos energia térmica). Especialmente utilizado em produtos de microeletrônica como

senalizador de avisos, também pode ser encontrado em tamanho maior, como em alguns modelos de semáforos.

LDR: Light Dependent Resistor (Resistor Dependente de Luz) é um tipo de resistor cuja resistência aumenta ou diminui dependendo da incidência de luz sobre ele – quanto maior a incidência, maior sua resistência.

Microcontrolador: é um chip no qual dentro de seu invólucro reside um computador contendo processador, memória, e funções de entrada e saída. É um microprocessador que prioriza alta integração, em contraste com outros microprocessadores de propósito geral (como os utilizados nos PCs). Relacionando os elementos usuais de lógica e aritmética dos microprocessadores convencionais, o microcontrolador integra elementos adicionais em sua estrutura interna, como memória de leitura e escrita para armazenamento de dados, memória somente de leitura para armazenamento de programa, EEPROM para armazenamento permanente de dados, dispositivos periféricos como conversores analógico/digitais (ADC), conversores digitais/analógicos (DAC) em alguns casos; e, interfaces de entrada e saída de dados. Com uma velocidade de clock em geral na casa dos poucos MHz (Megahertz) ou talvez menos, os microcontroladores operam a uma frequência muito baixa se comparados com os microprocessadores atuais, no entanto são adequados para a maioria das aplicações usuais como por exemplo controlar uma máquina de lavar roupas ou uma esteira de chão de fábrica. Por conta de possuir um poder de processamento bem mais baixo em comparação com os PCs, também possuem um consumo muito baixo, geralmente na casa dos miliwatts.

Potencial elétrico: é a capacidade que um corpo energizado tem de realizar trabalho, ou seja, atrair ou repelir outras cargas elétricas. O potencial elétrico é calculado por $V = \frac{Ep}{q}$, onde V é o potencial elétrico, medido em volts (V), Ep é a energia potencial, medida em joules (J), e q é a carga, medida em coulombs (C).

Resistência elétrica: é a capacidade de um corpo qualquer se opor à passagem de corrente elétrica pelo mesmo, quando existe uma diferença de potencial aplicada. Seu cálculo é dado pela Lei de Ohm, dada por $V=RI$ (onde V é a diferença de potencial, medida em volts; I é a corrente do circuito, medida em ampères, e R é o

valor da resistência a qual segundo o Sistema Internacional de Unidades (SI), é medida em ohms).

O cálculo da resistência elétrica para circuitos paralelos entre dois resistores é dada por $Req = \frac{R1.R2}{R1+R2}$, e com três ou mais resistores, $\frac{1}{Req} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \dots + \frac{1}{Rn}$, onde Req é a resistência equivalente, e R1, R2, R3, Rn são os resistores utilizados. Em um circuito em série, vale a fórmula $Req = R1 + R2 + R3 + \dots + Rn$.

Resistor: Resistores são elementos que apresentam uma resistência à passagem de eletricidade. Sua função é transformar energia elétrica em energia térmica, porém é utilizado com mais frequência para limitar a intensidade da corrente elétrica que chega aos elementos conectados posteriores à ele. Esta limitação à passagem da corrente se denomina *resistência elétrica*. Os resistores possuem faixas de cores, as quais são determinadas na seguinte ordem: primeira faixa, primeiro dígito do valor da resistência do resistor (medida em ohms); segunda faixa, segundo dígito; terceira faixa, multiplicador, cujo número correspondente à cor é o valor do expoente da potência de dez. Ou seja, se a terceira faixa for da cor vermelha, o multiplicador é 10^2 . Por último, a quarta faixa representa a tolerância do valor real em relação ao valor nominal. Se não houver uma quarta faixa, considera-se que há uma tolerância de 20%. Ou seja, se o resistor tiver um valor nominal de 1000 ohms, o valor real pode variar de 800 a 1200 ohms caso não exista uma quarta faixa. Segue abaixo a tabela de cores:

Cor	1ª faixa	2ª faixa	3ª faixa	Multiplicador	Tolerância	Coef. de Temperatura
Preto	0	0	0	$\times 10^0$		
Marrom	1	1	1	$\times 10^1$	$\pm 1\%$ (F)	100 ppm
Vermelho	2	2	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$ (G)	50 ppm
Laranja	3	3	3	$\times 10^3$		15 ppm
Amarelo	4	4	4	$\times 10^4$		25 ppm
Verde	5	5	5	$\times 10^5$	$\pm 0.5\%$ (D)	
Azul	6	6	6	$\times 10^6$	$\pm 0.25\%$ (C)	
Violeta	7	7	7	$\times 10^7$	$\pm 0.1\%$ (B)	
Cinza	8	8	8	$\times 10^8$	$\pm 0.05\%$ (A)	
Branco	9	9	9	$\times 10^9$		
Ouro				$\times 0.1$	$\pm 5\%$ (J)	
Prata				$\times 0.01$	$\pm 10\%$ (K)	
Sem cor					$\pm 20\%$ (M)	

Tabela 4 – Tabela de cores de resistores

Assim sendo, se houver um resistor com as faixas na seguinte ordem: amarelo-violeta-marrom-dourado, sabemos que é um resistor de 470 ohms com tolerância de 5%. Sabemos que a primeira faixa é a amarela e não a dourada pelo simples fato da dourada só ser utilizada na 4ª faixa. Vale lembrar que as douradas são as mais utilizadas no mercado atualmente, e portanto, foram utilizadas neste projeto como padrão.

Existe também o resistor variável – não utilizado neste projeto – que é um resistor cujos valores podem ser ajustados por um movimento mecânico, por exemplo, rodando manualmente. Os resistores variáveis podem ser de volta simples ou de múltiplas voltas com um elemento helicoidal. Alguns têm um display mecânico para contar as voltas. Tradicionalmente, resistores variáveis são não-confiáveis, porque o fio ou o metal podem se corroer ou se desgastar. Alguns resistores variáveis modernos usam materiais plásticos que não corroem. Outro método de controle, que não é exatamente um resistor, mas se comporta como um, envolve um sistema sensor fotoelétrico que mede a densidade ótica de um pedaço de filme. Desde que o sensor não toque o filme, é impossível haver desgaste.

Tensão: Ver diferença de potencial.

9. CÓDIGO-FONTE

```

//Magnetower v12112010

//travas de contagem
int trv2=0, trv3=0, trv4=0, trv5=0, trvall=0, start=0;

//pinagem - mosfets
int t1 = 6;
int t2 = 3;
int t3 = 4;
int t4 = 5;
int t5 = 2;

//pinagem - sensores
int s1 = 13;
int s2 = 12;
int s3 = 11;
int s4 = 10;
int s5 = 7;

void setup(){
  pinMode(t1,OUTPUT);
  pinMode(t2,OUTPUT);
  pinMode(t3,OUTPUT);
  pinMode(t4,OUTPUT);
  pinMode(t5,OUTPUT);

  pinMode(s1,INPUT);
  pinMode(s2,INPUT);
  pinMode(s3,INPUT);
  pinMode(s4,INPUT);
  pinMode(s5,INPUT);

  digitalWrite(t1,LOW);
  digitalWrite(t2,LOW);
  digitalWrite(t3,LOW);
  digitalWrite(t4,LOW);
}

void loop(){
  if(start==0){
    delay(2000);
    start=1;
  }

  if(digitalRead(s1)==HIGH){
    trv2=1;
    trvall=1;
  }

  if(trvall==1){
    while(trv2==1){
      if(digitalRead(s2)==HIGH){
        digitalWrite(t1, HIGH);
        trv2=0;
        trv3=1;
      }
    }
  }

  while(trv3==1){
    if(digitalRead(s3)==HIGH){

```

```
        digitalWrite(t2, HIGH);
        digitalWrite(t1, LOW);
        trv3=0;
        trv4=1;
    }
}

while(trv4==1){
    if(digitalRead(s4)==HIGH){
        digitalWrite(t3, HIGH);
        digitalWrite(t2, LOW);
        trv4=0;
        trv5=1;
    }
}

while(trv5==1){
    if(digitalRead(s5)==HIGH){
        digitalWrite(t3, LOW);
        digitalWrite(t4, HIGH);
        delay(5000);
        digitalWrite(t4, LOW);
        trv5=0;
        trvall=0;
    }
}
}
```

10. ANDAMENTO DO PROJETO

	Wellington Monteiro	Felipe Sales	Renan Fernandes	Arlei Turatti
24-31/08/2010	Plano de trabalho			
31/08-14/09/2010	Comprar fio esmaltado	Construir sensores (detecção IR)	Comprar cano para a torre principal e selecionar projétil	Selecionar circuito eletrônico para acionar a bobina (transistorizado)
14-21/09/2010	Fazer um eletroímã	Construir sensores com o uso de laser	Estrutura para fixar cano + Arduino + etc	Montar e testar o circuito de potência
21-28/09/2010	Fazer + 2 eletroímãs	Construir sensores com conectores específicos para o Arduino	Fazer base definitiva + projétil definitivo	Montar e testar o circuito de potência
28/09-05/10/2010	Bobinas controladas pelo Arduino	Fixar canos e sensores na estrutura	Fixar chaves e canos na caixa	Montar 5 circuitos de potência adicionais e testá-los na PCI
05-19/10/2010	Sincronização sensores com bobinas	Placa dos sensores	Fixar estrutura sensores e LEDs	PCI da potência
19-26/10/2010	Documentação	Posicionar os sensores	Adaptar base na torre principal e gravação do vídeo	Fixar placas na base (caixa)
26/10-02/11/2010	Soldar fios extensores dos eletroímãs para alcançar as placas	Refazer a placa dos sensores	Adaptar a fonte para alimentar todas as placas	Substituição de dois transistores
02-08/11/2010	Alterações na programação do Arduino	Conectar os sensores aos braços da torre auxiliar	Fotografar o projeto	Testes com projéteis na torre
08-15/11/2010	Substituição de dois eletroímãs	Conectar os cabos dos eletroímãs à torre auxiliar	Edição do vídeo e tratamento de imagens	Unir cabos de alimentação dos sensores e LEDs para facilitar a identificação dos mesmos dentro da placa

16-22/11/2010	Apresentação do projeto para os professores orientadores
Legenda:	Negrito: líder da equipe / Vermelho: atividade não concluída ao longo da semana / Verde: atividade concluída ao longo da semana

Tabela 5 – Andamento do projeto

11. REFERÊNCIAS

Automação industrial – Distribuidor e assistência técnica

http://www.aciel.com.br/br/faq2_detalhe.asp?faq_cod=3&categoria_cod=0 Acesso em 22 out. 2010

Campo elétrico - Wikipédia, a enciclopédia livre

http://pt.wikipedia.org/wiki/Campo_el%C3%A9trico Acesso em 21 out. 2010

Carga elétrica - Wikipédia, a enciclopédia livre

http://pt.wikipedia.org/wiki/Carga_el%C3%A9trica Acesso em 21 out. 2010

Campo magnético – InfoEscola <http://www.infoescola.com/fisica/campo-magnetico>

Acesso em 2 nov. 2010

Circuito integrado (CI) www.burgoseletronica.net/citotal.htm Acesso em 21 out. 2010

Corrente elétrica <http://www.efeitojoule.com/2008/04/corrente-eletrica.html> Acesso em 21 out. 2010

Diodo semicondutor - Wikipédia, a enciclopédia livre <http://pt.wikipedia.org/wiki/Diodo>

Acesso em 21 out. 2010

Diodo emissor de luz - Wikipédia, a enciclopédia livre <http://pt.wikipedia.org/wiki/LED>

Acesso em 21 out. 2010

Energia potencial – Wikipédia, a enciclopédia livre

pt.wikipedia.org/wiki/Energia_potencial Acesso em 21 out. 2010

HowStuffWorks - Como funcionam os capacitores

<http://eletronicos.hsw.uol.com.br/capacitor.htm> Acesso em 22 out. 2010

O conceito de campo elétrico <http://www.efeitojoule.com/2009/01/campo-eletrico-e-conceito-campo.html> Acesso em 21 out. 2010

O que é um microcontrolador? - Eletrônica

http://www.eletronica.wiki.br/index.php/O_que_%C3%A9_um_microcontrolador%3F
Acesso em 21 out. 2010

Resistência elétrica – Wikipédia, a enciclopédia livre

http://pt.wikipedia.org/wiki/Resist%C3%Aancia_el%C3%A9trica Acesso em 21 out.
2010

Resistor – Wikipédia, a enciclopédia livre pt.wikipedia.org/wiki/Resistor Acesso em
21 out. 2010

Tensão elétrica e diferença de potencial (ddp)

<http://www.efeitojoule.com/2008/04/tensao-eletrica-e-ddp.html> Acesso em 21 out.
2010