

**UNIVERSIDADE POSITIVO
NÚCLEO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO**

MEDIDOR DE TRAÇÃO EM CABOS DE AÇO

Eduardo Garcia Lemes

Monografia apresentada à disciplina de Projeto Final como requisito parcial à conclusão do Curso de Engenharia da Computação, orientada pelo Prof. Jose Carlos da Cunha.

UP/NCET

Curitiba

2008

AGRADECIMENTOS

Primeiro a Deus.

Agradeço especialmente a minha mãe Lucimara pela vida e educação que tive.

Minha família e minha namorada Luciane pelo apoio em todos os momentos.

Aos meus professores, e especialmente aos meus orientadores Nestor Saavedra e Jose Carlos da Cunha.

Aos amigos e colegas de faculdade, com os quais dividi todos esses anos de aprendizado.

RESUMO

Estruturas tais como pontes e torres estão sob constante ação dos efeitos da natureza, como vento, chuva, abalo sísmico e variação de temperatura. O ramo de estruturas na engenharia civil está em constante evolução buscando projetar estruturas cada vez mais aptas a suportar esses efeitos. Para que essa evolução continue se torna necessária à criação de ferramentas que possam mensurar as variações que tais estruturas são submetidas. Com o presente sistema desenvolvido, propõe-se a criação de uma ferramenta que possa mensurar a força de tracionamento de cabos de aço de uma estrutura, utilizando uma bobina e um ímã como sensores, com o objetivo de fornecer o quanto este cabo está tensionado, proporcionando informações que possibilitam uma melhor compreensão da estrutura.

O sistema desenvolvido utiliza-se da frequência predominante de vibração para captar a força a que o cabo está submetido. Para isso foi criada uma correlação entre força e frequência para poder de acordo com a frequência apresentar um valor de força.

Palavras-chave: estruturas de engenharia civil, torres, bobina, ímã.

ABSTRACT

Structures of civil engineering such as bridges and towers are under constant action of the effects of the nature, such as wind, rain, seismic variation and temperature variation. The sector of structures in civil engineering is in constant evolution to project more strong structures to support these kinds of effects. For this evolution continues it becomes necessary the creation of tools that can measure the variations that such structures are submitted. This system developed, intends the development of a tool that can measure the traction of steel cable of a structure, using a coil and a magnet as sensors, with the objective of supplying how this cable that stretched, providing information that make possible a better understanding of the structure.

The system developed uses is the predominant frequency of vibration to capture the force to which the cable this subject. For that was established a correlation between strength and frequency to frequency according to a present value of strength.

Keywords: structures of civil engineering, tower, coil, magnet.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 - Campo Magnetico.....	12
2.2 - Imã.....	12
2.3 - Lei de Faraday	13
2.4 - Historia do Campo Magnético.....	13
2.5 - FFT	15
2.5.1 - Algoritmo FFT.....	15
2.5.2 – FFT no Projeto	16

CAPÍTULO 3 – ESPECIFICAÇÃO DO PROJETO

3.1 - Especificação Teórica.....	17
3.1.1 - Especificação Hardware	17
3.2 - Microcontrolador	17
3.2.1 - Microcontrolador no projeto.....	17
3.3 - Comunicação Serial	19
3.4 - Especificação Software.....	20

CAPÍTULO 4 – VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA

CAPÍTULO 5 – DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

5.1 - Projeto de Hardware	22
5.1.1 - Alimentação.....	22
5.1.2 - Filtros para o Sinal Captado pela Bobina	23
5.1.3 - Aquisição do Sinal da Bobina e seu Tratamento.....	24
5.1.4 – Microcontrolador utilizado no sistema desenvolvido	29
5.1.5 - Ligação da Porta Serial.....	32
5.2 - Projeto do Software	32
5.2.1 - Tipos de Software Utilizados	32
5.2.1.1 - Projeto do Firmware	32
5.2.1.1.1 - Módulo de tratamento do sinal	32
5.2.1.1.2 - Protocolo de comunicação Serial	33
5.2.2 - Projeto do Software - Interface Gráfica.....	34
5.2.2.1 - Diagrama de Casos de Uso.....	35

5.2.2.2 - Diagrama de Sequência	36
5.2.2.3 - Diagrama de Classes.....	37
<u>CAPÍTULO 6 - VALIDAÇÃO E RESULTADOS</u>	
6.1 - Aferição utilizando um dinamômetro para criação das tabelas e equações de regressão..	38
6.2 – Resultados	38
<u>CAPÍTULO 7 - CRONOGRAMA</u>	
<u>CAPÍTULO 8 – CONCLUSÃO</u>	
<u>CAPÍTULO 9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sentido do campo magnético gerado por um ímã	12
Figura 2 - Campo magnético terrestre	14
Figura 3 - Diagrama em blocos	17
Figura 4 - Pinagem do PIC 16F877A	19
Figura 5 - Layout de conexão serial	19
Figura 6 – Esquemático da fonte simétrica	22
Figura 7 – Montagem do circuito de um filtro ativo passa baixa de 1 ordem.....	24
Figura 8 – Aferição utilizando um dinamômetro	27
Figura 9 – Circuito de um gravador PIC	29
Figura 10 – Circuito completo do sistema desenvolvido	30
Figura 11 – Exemplo de sinal correspondente a variação enviada ao microcontrolador	31
Figura 12 – Fluxograma do firmware	33
Figura 13 – Tela para interface com o usuário	34
Figura 14 – Fluxograma do software	35
Figura 15 – Diagrama de casos de uso	36
Figura 16 – Diagrama de sequência	37
Figura 17 – Diagrama de classes	37
Figura 18 – Dinamômetro conectado ao cabo para aferição	38
Figura 19 – Tela do software com os resultados	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativa de custo	21
Tabela 2 – Relação de força / frequência utilizando equação 2	25
Tabela 3 – Correlação força / frequência	27

LISTA DE GRAFICOS

Grafico 1 – Gráfico de Frequência x Força, de acordo com a tabela de aferição	26
---	----

LISTA DE SIGLAS

PC – Computador Pessoal

UNB – Universidade de Brasília

A/D - Conversão Analógica Digital

MEMS - Micro-Electro Mechanical Systems

PIC® - Periferal Interface Controler

CI - Circuito Integrado

RISC - Reduced Instruction Set Computer

CMOS - Complementary Metal Oxide Semiconductor

USP – Universidade de São Paulo

FFT – Fast Fourier Transform

LISTA DE SÍMBOLOS

Ω - ohm

Hz - hertz

V - volts

F - farad

Σ - Somatório

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

O presente projeto teve por objetivo criar uma ferramenta de medição para estruturas que utilizam cabos de aço. Tal medição serve para avaliar o quanto o cabo esta tensionado fornecendo a força que o mesmo esta submetido.

A ferramenta é construída da seguinte forma: uma bobina e um imã agindo como um sensor enviara a variação medida do seu campo magnético para um microcontrolador, o mesmo irá pegar amostras do sinal, converte-lo em digital, essa informação será transmitida via serial a um PC tendo um programa com uma interface gráfica para o usuário.

Para aquisição dos dados do cabo é utilizado da sua frequência predominante que varia de acordo com a força a que o mesmo esta submetido. Para isso foi aplicado um campo magnético próximo e utiliza-se da lei de Faraday para captação dessa frequência. Apos captado o sinal adquirido passa por uma FFT (Transformada Rápida de Fourier) que transforma o sinal para o domínio da frequência. De posse desta frequência apos uma análise de correlação foi possível determinar a força a que o cabo esta submetido.

Esse projeto será uma ferramenta funcional no meio técnico, fornecendo um maior número de informações ao seu usuário em relação às ferramentas atuais em uso, possibilitando assim uma análise mais completa da estrutura, abrindo uma nova área de pesquisa a ser explorada. Tal ferramenta não esta disponível hoje no mercado, aumentando a necessidade da mesma.

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 - Campo Magnético

Chama-se campo magnético a região do espaço sujeita a influência de forças de natureza magnética, normalmente representado pelas linhas de força que o caracterizam. As linhas de força dirigem-se do pólo norte ao pólo sul por fora do imã e em sentido contrario no seu interior. (USP, 2008)

2.2 - Imã

Hoje em dia, os imãs mais familiares são certamente pequenos objetos que servem para decoração. Entretanto, os imãs desempenham um papel fundamental em motores, TVs, termostatos, medidores de correntes, etc. Imãs ou materiais magnéticos são encontrados também na tinta de cheques especiais, em cada cédula de dólar. O campo magnético produzido por um imã é mostrado na figura abaixo e como se observa, a limalha de ferro mostra que um imã tem dois pólos, denominado pólo norte e pólo sul. (HALLIDAY, 1996).

O sentido das linhas de campo magnético esta representado na figura abaixo:

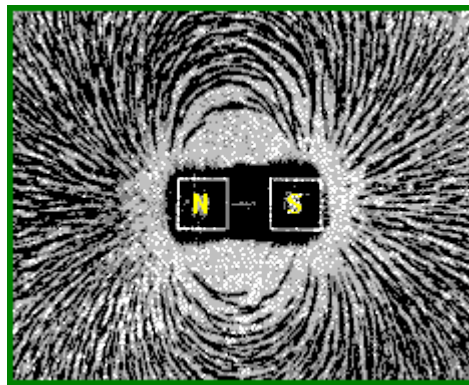


Figura 1 - Sentido do campo magnético gerado por um imã

FONTE: adaptada de (EFISICA, 2007).

2.3 - Lei de Faraday

Como uma corrente estacionária ou constante em um fio produz um campo magnético estacionário, Faraday pensou inicialmente (e erroneamente) que um campo magnético estacionário pudesse produzir uma corrente. Em algumas de suas investigações sobre correntes induzidas magneticamente, Faraday utilizou um arranjo análogo utilizando um interruptor, uma fonte na extremidade esquerda, ligando o circuito no lado esquerdo de uma bobina e o outro lado da bobina ligado um galvanômetro. Uma corrente na bobina a esquerda produz um campo magnético concentrado no anel de ferro. A bobina a direita é ligada a um galvanômetro G que indica a presença de corrente induzida no circuito. Não há corrente induzida para um campo magnético estacionário. Mas uma corrente induzida aparece momentaneamente no circuito à direita quando o interruptor é fechado no circuito à esquerda. Quando o interruptor é aberto, aparece momentaneamente uma corrente induzida no sentido oposto. Assim a corrente induzida só pode existir quando o campo magnético, devido à corrente no circuito à esquerda, esta variando. (KELLER , 1999)

2.4 - Historia do Campo Magnético

Hoje, é claro, o magnetismo e a eletricidade são fenômenos diretamente relacionados. Esta relação só foi claramente estabelecida no século dezenove. A História do magnetismo iniciou-se muito cedo com os nossos antepassados pertencentes as civilizações da Ásia Menor e foi nesta região conhecida como Magnésia que foram encontradas algumas rochas que tinham o poder de atrair uma outra.

Os primeiros fenômenos magnéticos observados foram, sem dúvida, aqueles associados aos chamados imãs naturais, fragmentos das rochas (minério de ferro) encontradas perto da cidade de Magnésia. Esses imãs naturais têm a propriedade de atrair ferro desmagnetizado, o efeito sendo mais pronunciado em certas regiões do imã conhecidas como pólos. Os chineses já sabiam, desde 121 D.C., que uma barra de ferro, depois de colocada perto de um imã natural, adquiria e retinha essa propriedade do imã e que quando uma dessas barras era suspensa livremente em torno de um eixo vertical, ela se dispunha, aproximadamente, ao longo da direção geográfica Norte-Sul. Este fenômeno levou a utilização dos imãs como instrumentos de navegação, pelo menos, desde o século XI. Isto significa que a Terra tem um campo

magnético próprio, conforme figura 2. Pode-se observar que os pólos Norte e Sul geográficos terrestre estão invertidos com relação aos pólos Norte e Sul magnéticos.

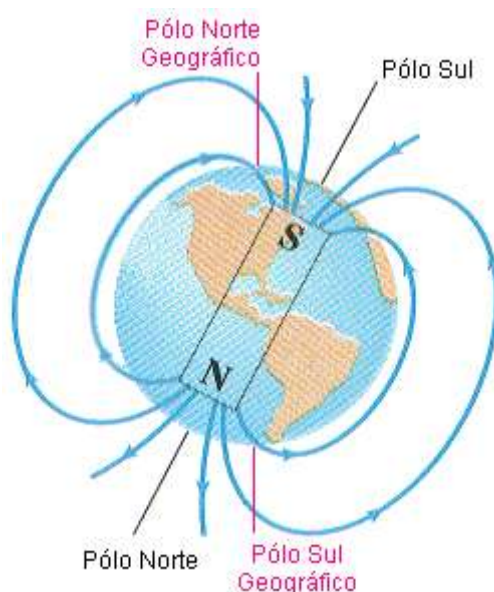


Figura 2 - Campo magnético terrestre

FONTE: UNB(2007).

Durante muitos anos, o estudo dos fenômenos magnéticos esteve restrito aos ímãs feitos desse modo. Até 1819 não havia sido mostrada conexão alguma entre os fenômenos elétricos e magnéticos. Naquele ano, o cientista dinamarquês Hans Christian Oersted (177-1851) observou que um ímã pivotado (uma agulha de bússola) era defletido quando colocado na vizinhança de um fio por onde passava uma corrente elétrica. Doze anos mais tarde, depois de tentativas que se estenderam por vários anos, o físico inglês Michael Faraday (1791-1867) verificou que aparecia uma corrente momentânea em um circuito quando, em um circuito vizinho, se iniciava ou se interrompia uma corrente. Pouco depois, seguiu-se a descoberta de que o movimento de um ímã se aproximando ou se afastando de um circuito produziria o mesmo efeito. Joseph Henry (1797-1878), um cientista às descobertas de Faraday; como este último foi o primeiro a publicar os seus resultados, os créditos são-lhe usualmente atribuídos. O trabalho de Oersted demonstrou, pois, que efeitos magnéticos podiam ser produzidos por cargas elétricas em movimento, enquanto os de Faraday e de Henry mostraram que correntes podiam ser produzidas por ímãs em movimento. (UNB, 2000)

2.5 - FFT

A transformada rápida de Fourier (em inglês Fast Fourier Transform, ou FFT) é um algoritmo eficiente para se calcular a Transformada discreta de Fourier (DFT) e a sua inversa. As Transformadas rápidas de Fourier são de grande importância em uma vasta gama de aplicações, de processamento digital de sinais para a resolução de equações diferenciais parciais a algoritmos para multiplicação de grandes inteiros. (UCPEL, 2008)

2.5.1 - Algoritmo FFT

O algoritmo baseia-se no chamado método de dobramentos sucessivos pode-se expressar a transformada de Fourier como sendo

$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) W_N^{ux}$$

Tem-se

$$W_N^{ux} = e^{-j2\pi/N}$$

Assumindo que $N = 2^n$, n é um inteiro positivo.

Portanto, N pode ser escrito como $N = 2M$, M é um inteiro positivo.

Logo, a transformada de Fourier escrita inicialmente, pode ser reescrita como

$$F(u) = \frac{1}{2M} \sum_{x=0}^{2M-1} f(x) W_{2M}^{ux}$$

A soma escrita acima pode ser separada em duas, da seguinte maneira

$$F(u) = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{M} \sum_{x=0}^{M-1} f(2x) W_M^{u(2x)} + \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{M-1} f(2x+1) W_{2M}^{u(2x+1)} \right]$$

Considerando que $W_{2M}^{2ux} = W_M^{ux}$, nomeamos a primeira soma por

$$F_{par}(u) = \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{M-1} f(2x)W_M^{ux} \quad \text{para valores de } u = 0, 1, 2, \dots, M-1, \text{ e}$$

E a segunda soma por

$$F_{impar}(u) = \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{M-1} f(2x+1)W_{2M}^{u(2x+1)} \quad \text{para valores de } u = 0, 1, 2, \dots, M-1$$

Pode-se reescrever a transformada de Fourier como sendo

$$F(u) = F_{par}(u) + F_{impar}(u)W_{2M}^u$$

Uma vez que $W_M^{u+M} = W_M^u W_{2M}^{u+M} = -W_{2M}^u$.

A recombinação da equação $F_{par}(u)$ com a última nos fornece

$$F(u+M) = F_{par}(u) - F_{impar}(u)W_{2M}^u$$

A observação dessas equações fornece suas propriedades. Dentre elas tem-se:

Uma transformada de N pontos pode ser computada pela divisão da expressão original em duas partes. (SCHAUM, 2004)

2.5.2 – FFT no Projeto

A utilização de um algoritmo FFT no projeto se deve ao mesmo receber sinais amostrados no tempos e transformar o sinal no domínio da frequência. Utilizando-se do gráfico, pode-se verificar a frequência predominante de vibração do cabo de aço que é utilizada para relação com a força.

CAPÍTULO 3 – ESPECIFICAÇÃO DO PROJETO

3.1 - Especificação Teórica

A Especificação do Projeto será apresentada demonstrando o conceito de seus componentes separadamente para uma melhor interpretação.

3.1.1 - Especificação Hardware

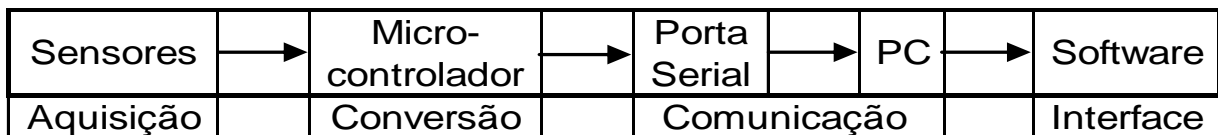


Figura 3 - Diagrama em blocos

3.2 - Microcontrolador

3.2.1 - Microcontrolador no projeto

O Microcontrolador escolhido para o projeto foi o PIC 16F877A da Microship. Os motivos de sua escolha estão em sua simplicidade de aplicação, boas características de operação, por possuir RAM e ROM suficientemente dimensionadas para o armazenamento do código do projeto, por sua capacidade e por multiplicar o clock do cristal externo em até quatro vezes.

A família PIC10, de menos recursos, é aplicada a funções de controle on – off mais simples e de menor porte, possuindo custo relativamente baixo (abaixo de US\$ 1,00 por unidade) e a família dsPIC30 e dsPIC33 são adequadas para processamento e controle envolvendo aquisição,

tratamento e processamento veloz de sinais analógicos, permitindo desenvolvimento de aplicações mais complexas, ligadas à área de telecomunicações, comunicações sem fio de alta performance, controles em tempo real de alta velocidade, entre outras.

(CORTELETTI 2006, MICROSHIP 2006).

O Microcontrolador: PIC 16F877A possui as seguintes características:

- CPU *RISC* de alta performance;
- Compatível com compilador C que otimiza a arquitetura e as instruções;
- Programa de endereçamento de memória linear para 16 kbytes;
- Memória linear de endereçamento de dados para 1.5 kbytes;
- Operação acima de 10mips;
- Relógio receptor com PLL ativo;
- Níveis de prioridade para Interrupções;
- Ciclo único de hardware multiplicador;
- Três pinos de interrupção externos;
- Módulo de tempo 1: contador de tempo de 8 bits
- Módulo de tempo 2: contador de tempo de 16 bits com 8 bits para o registro do período (tempo base para PWM);
- Módulo de tempo 3: contador de tempo de 8 bits;
- Oscilador secundário opção do relógio. tempo 1 / tempo 3;
- Duas capturas / comparar / PWM (CCP) módulos;
- Módulo de sincronização para porta serial (MSSP);
- Módulo USART endereço de acesso;
- Suporte RS 485 e RS 232;
- Taxa de amostragem rápida;
- 2 x Multiplicador (para o cristal primário);
- Entrada para *clock* de até 20 KHz para cristal secundário;
- Design estatístico completo,
- Larga faixa de tensão de operação (2.0v para 5.5V);
- Faixa de temperatura industrial e estendida.

(MICROSHIP, 2006).

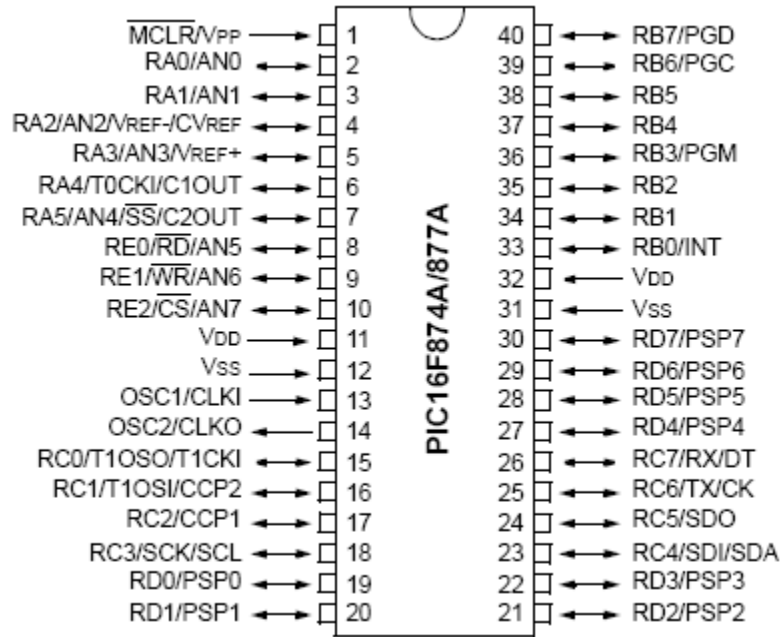


Figura 4 - Pinagem do PIC 16F877A

FONTE: (MICROSHIP, 2006).

3.3 - Comunicação Serial

Comunicação serial é o tipo de conexão bidirecional, na qual os bits fluem um de cada vez em série. Esta conexão é feita por dois fios de dados e significa que uma porta serial pode enviar e receber informações simultaneamente. No sistema desenvolvido a comunicação serial é utilizada para transmitir dados do microcontrolador para o PC. A figura 5 mostra pinagem utilizada no sistema desenvolvido.

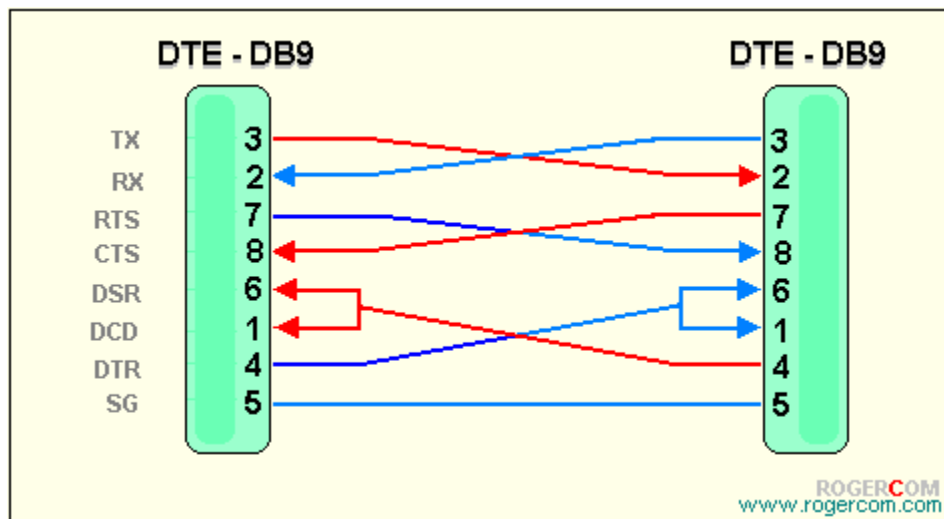


Figura 5 - Layout de conexão serial

3.4 - Especificação Software

O software foi dividido em dois módulos um no firmware do microcontrolador e outro para interface do usuário.

A parte do software desenvolvido para o microcontrolador, que faz toda aquisição dos dados, 1024 amostras do sinal captado pela bobina e encaminha as amostras para o PC.

A interface para o usuário além de mostrar o resultado da força aplicada ao cabo, mostra o gráfico após a passagem do sinal pela FFT, isto é, já no domínio da frequência, neste gráfico pode-se observar a frequência predominante e as demais harmônicas do sinal adquirido bem como a amplitude do sinal.

Por se tratar de uma ferramenta técnica, o usuário deverá possuir um conhecimento mínimo sobre a tensão no cabo, pois o sistema irá informar a força em Newton a que o cabo está submetido, porém a interpretação da mesma será por conta do usuário.

CAPÍTULO 4 – VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA

De acordo com o a quantidade de horas trabalhadas e o custo dos componentes utilizados, a tabela 1 discrimina o custo para criação do protótipo. Os custos do projeto foram divididos de acordo com o planejamento de componentes e sua necessidade de reposição. Não estão sendo considerados os valores da utilização dos laboratórios da Universidade Positivo e do custo dos softwares utilizados para o desenvolvimento do protótipo.

Tabela 1 – Estimativa de custo

Descrição	Quantidade	Custo Unitário	Total
Hora Técnica	700	R\$ 7,00	R\$ 4.900,00
PIC 16F877A	1	R\$ 22,00	R\$ 22,00
Cristal 20 MHz	1	R\$ 2,00	R\$ 2,00
Circuito Impresso	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00
Componentes diversos	-	R\$ 150,00	R\$ 150,00
Total			R\$ 5.089,00

FONTE: Mercado local (Curitiba-PR)

CAPÍTULO 5 – DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

Para uma melhor explanação, faz-se necessário a divisão dos módulos, possibilitando um detalhamento maior de cada um dos itens. De acordo com o diagrama de blocos (figura 3), os módulos de hardware do projeto são dois, porém o módulo de processamento via microcontrolador, possui características de Hardware e Software, módulos de hardware em sua ligação e parametrização e módulos de software no desenvolvimento dos firmwares.

5.1 - Projeto de Hardware

5.1.1 - Alimentação

O módulo principal do sistema desenvolvido que também possui a finalidade de se comunicar com o PC via serial, em virtude de sua proximidade com a máquina, funciona com uma fonte alimentada na rede elétrica disponível (127V). A tensão de alimentação do circuito, que necessita de 5V para ser alimentado, utiliza uma fonte simétrica em +2.5 V e - 2.5 V para que possa captar em suas entradas sinais negativos que variam de -2.5 V a 2.5 V.

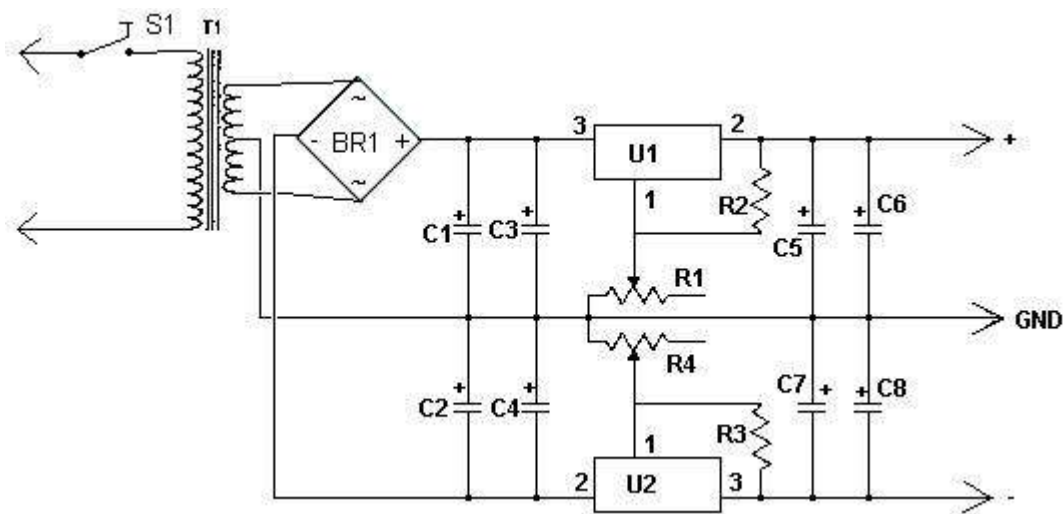


Figura 6 – Esquemático da fonte simétrica

FONTE: (ELETROMANÍACOS, 2005).

Descrição dos componentes:

Componente	Quant.	Descrição
C1, C2	2	Capacitores Eletrolíticos 2200uF 35V
C3, C4, C5, C7	4	Capacitores Eletrolíticos 1uF 35V
C6, C8	2	Capacitores Eletrolíticos 100uF 35V R1, R4
R1, R4	2	Potenciômetros 5K
R2, R3	2	Resistores 240 Ohm 1/4 W
BR1	1	Ponte retificadora 2A 30V
U1	1	Regulador Positivo Ajustável LM317
U2	1	Regulador Negativo Ajustável LM337
T1	1	Transformador com Center Tape
MISC	1	Dissipador de calor para U1 e U2,

5.1.2 - Filtros para o Sinal Captado pela Bobina

Na fase de teste foram identificados ruídos que comprometiam a qualidade do sinal enviado ao microcontrolador. Para filtrar tais ruídos e ter um processamento analógico de melhor qualidade, foi utilizado apenas um filtro passa baixa. Com a utilização do filtro, tornou-se possível obter um sinal de saída sem ruídos que comprometeriam a amostragem. Os ruídos identificados eram de alta frequência, que, segundo PERTENCE (2003), filtros passa-paixas (PB) só permitem a passagem de frequências abaixo de uma frequência determinada FC (denominada frequência de corte). As frequências superiores são atenuadas, logo o filtro mais adequado para o processamento analógico foi o passa-baixa.

O filtro utilizado é um passa-baixa de 1ª ordem com ganho 1000 e uma frequência de corte em torno de 150Hz, visto que essa é a frequência máxima obtida nos testes e aferição do equipamento. A figura 7 demonstra a montagem padrão de um filtro ativo de 1ª ordem com uma configuração inversora. O Amplificador Operacional utilizado no projeto foi o OP-07 devido seu alto CMRR (Rejeição em modo comum) com 120db. Os componentes utilizados foram um capacitor eletrolítico (C) de 1 micro, um resistor (R1) de 1 k e um resistor (R2) de 1000 K.

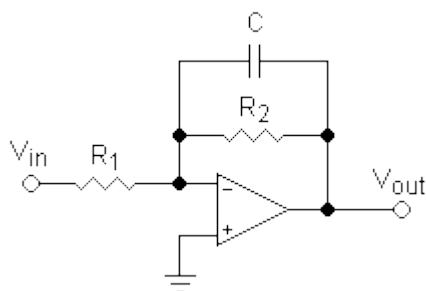


Figura 7 - Montagem do circuito de um filtro ativo passa baixa de 1ª ordem.

FONTE: (WIKIPEDIA, 2008).

5.1.3 - Aquisição do Sinal da Bobina e seu Tratamento

Inicialmente foi criado um protótipo com um cabo de aço que pode-se variar a força aplicada devido a parafusos em suas extremidades para realização das medições e testes.

O projeto tem como objetivo medir a força aplicada ao cabo de aço utilizando-se da frequência de vibração do mesmo. Para isso aplica-se um campo magnético e obtém a variação deste campo que inicialmente é gerado pelo imã.

A variação do campo magnético, realizado pela vibração do cabo de aço que estava em repouso, é captada pela bobina. A saída de resposta da bobina se dá através de um sinal analógico. Um desafio do projeto foi encontrar alguma relação para a saída do sinal e a sua resposta em frequência.

Apos adquirir as amostras do sinal e passadas para o PC, o sinal passa por uma FFT que resulta num gráfico de espectro em frequência, no qual a frequência predominante é a frequência de ressonância do cabo de aço.

A tabela 2 mostra a resposta em frequência com a respectiva força aplicada ao cabo. Utilizando-se de um dinamômetro para calibração, tornou-se possível mensurar e aferir a saída em resposta em frequência de acordo com a força aplicada ao cabo, de 50 a 82 Newtons. A figura 8 demonstra a aferição feita em laboratório com o circuito teste do sistema desenvolvido.



Figura 8 - Aferição utilizando dinamômetro.

Tabela 2 - Relação de força / frequência utilizando a equação (2)

Frequência – Hz	Força - Newtons
50	92,043
51	93,883
52	95,724
53	97,565
54	99,406
55	101,247
56	103,088
57	104,929
58	106,769
59	108,610
60	110,451
61	112,292
62	114,133
63	115,974
64	117,815
65	119,655
66	121,496
67	123,337
68	125,178
69	127,019
70	128,860
71	130,701
72	132,541
73	134,382
74	136,223
75	138,065
76	139,905
77	141,746
78	143,587
79	145,427
80	147,268
81	149,109
82	150,950

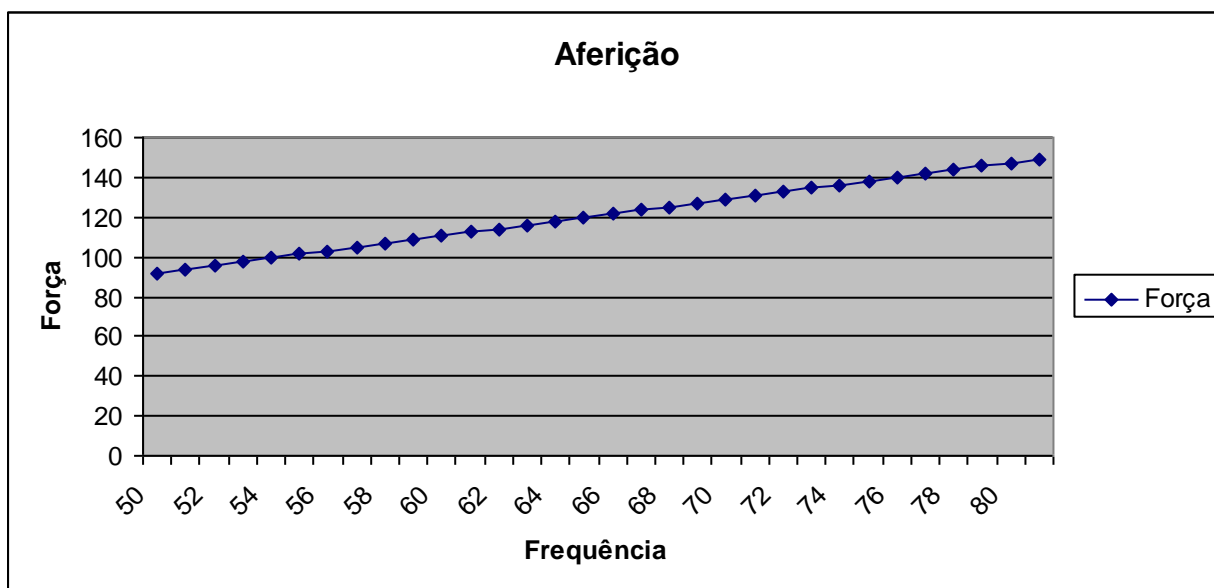


Gráfico 1: Gráfico de Freqüência x Força, de acordo com a tabela de aferição

A conversão de valores de frequência para força é executada dentro do software. Para o resultado no software primeiramente o sinal adquirido pelo microcontrolador é passado via serial para o software e após o recebimento de 1024 amostras o sinal é submetido a uma FFT (*Fast Fourier Transform*) onde se obtém a frequência predominante que é exatamente a frequência de vibração do cabo de aço. Com esta frequência se faz necessário criar uma relação entre a força medida com o dinamômetro e a frequência do cabo. Para gerar tal equação é necessário saber se a mesma é possível, e que segundo TRIOLA (1999), na estatística é chamado de correlação o teste para determinar se há algum relacionamento entre duas variáveis. Por definição, existe correlação entre duas variáveis quando uma delas está, de alguma forma, relacionada com a outra.

O coeficiente de correlação linear r mede o grau de relacionamento linear entre os valores emparelhados x e y em uma amostra. Calcula-se seu valor auxílio da equação 1. O coeficiente de correlação linear é chamado às vezes de coeficiente de correlação momento-produto de Pearson, em homenagem a Karl Pearson (1857-1936), que o estabeleceu. Se o módulo do valor calculado de r excede o valor na Tabela de Pearson, conclui-se que há correlação linear significativa. Em caso contrário, não há evidência suficiente para apoiar a existência de uma correlação linear significativa, o valor do resultado deve estar entre -1 e +1. (TRIOLA, 1999).

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}}$$

Equação 1: (TRIOLA,1999). Onde n representa o número de pares de dados presentes nesse caso 33 e r o coeficiente de correlação para uma população e x e y os respectivos pares de dados.

Para a verificação da existência de correlação dos pares de força por frequência das tabelas, foi necessário fazer a verificação de correlação nas tabelas. Para que exista correlação, é necessária a existência de um padrão nos pares.

Tabela 3 - Correlação Força / Frequência.

X (Frequência)	Y (Força)	X*Y	X ²	Y ²
50	92,043	4602,15	2500	8471,914
51	93,88386	4788,077	2601	8814,179
52	95,72472	4977,685	2704	9163,222
53	97,56558	5170,976	2809	9519,042
54	99,40644	5367,948	2916	9881,64
55	101,2473	5568,602	3025	10251,02
56	103,0882	5772,937	3136	10627,17
57	104,929	5980,954	3249	11010,1
58	106,7699	6192,653	3364	11399,81
59	108,6107	6408,034	3481	11796,29
60	110,4516	6627,096	3600	12199,56
61	112,2925	6849,84	3721	12609,6
62	114,1333	7076,266	3844	13026,41
63	115,9742	7306,373	3969	13450,01
64	117,815	7540,163	4096	13880,38
65	119,6559	7777,634	4225	14317,53
66	121,4968	8018,786	4356	14761,46
67	123,3376	8263,621	4489	15212,17
68	125,1785	8512,137	4624	15669,65
69	127,0193	8764,334	4761	16133,91
70	128,8602	9020,214	4900	16604,95
71	130,7011	9279,775	5041	17082,77
72	132,5419	9543,018	5184	17567,36
73	134,3828	9809,943	5329	18058,73
74	136,2236	10080,55	5476	18556,88
75	138,0645	10354,84	5625	19061,81
76	139,9054	10632,81	5776	19573,51
77	141,7462	10914,46	5929	20091,99
78	143,5871	11199,79	6084	20617,25
79	145,4279	11488,81	6241	21149,29
80	147,2688	11781,5	6400	21688,1
81	149,1097	12077,88	6561	22233,69
82	150,9505	12377,94	6724	22786,06

Correlação resultado: 0,999999289

CORRELAÇÃO POSSÍVEL.

Na visão de TRIOLA (1999), a correlação torna possível a relação para determinar a equação da reta, que é chamada reta de regressão.

A reta de regressão é definida como uma coleção de dados amostrais emparelhados, onde a equação de regressão 2, resulta na função matemática esperada de acordo com seus respectivos valores de b_0 e b_1 , conforme equações 3 e 4.

$$\hat{y} = b_0 + b_1x \quad (2)$$

$$b_0 = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (3)$$

$$b_1 = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (4)$$

Para o cálculo da equação de regressão, são utilizadas as mesmas tabelas utilizadas na correlação para obter o valor dos somatórios:

Valor de b_0 aplicando equação $b_0 = 0$;

Valor de b_1 aplicando equação $b_1 = 1,84086$;

Função resultante de acordo com equação $y: a = 1,84086 * F$.

Dessa forma é obtido o valor da força de tensão. O microcontrolador executa a conversão A/D para os valores analógicos, e passa o resultado em um vetor e envia ao PC.

Utiliza-se a equação de regressão para encontrar o valor aproximado de força tendo somente a resposta em frequência, resultando em uma otimização considerável no processamento do microcontrolador, pois não há necessidade de manter as tabelas dentro do mesmo.

5.1.4 – Microcontrolador utilizado no sistema desenvolvido

O microcontrolador utilizado no sistema desenvolvido foi o PIC 16F877A da Microchip por possuir vantagens de fácil implementação. O PIC pode receber tanto entradas analógicas, como digitais, pois possui um conversor A/D interno, que facilita sua utilização. Para a gravação do PIC foi utilizado um gravador de PIC, conforme a figura 9.

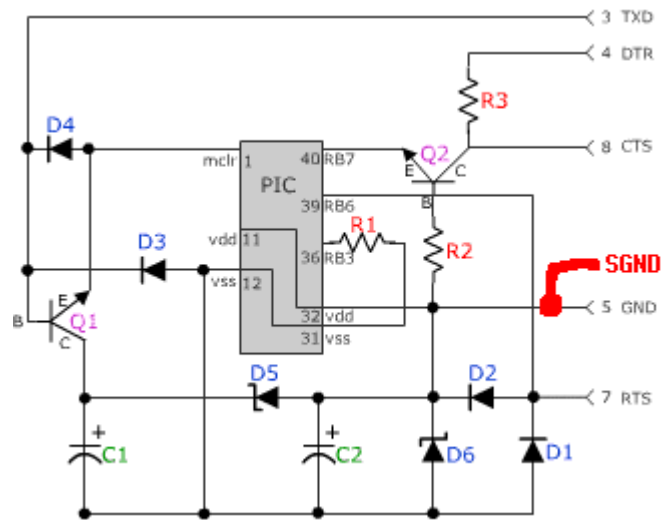


Figura 9 - Circuito de um gravador de PIC.

FONTE: MUNDO DA ELETRÔNICA(2007).

Para ligação do microcontrolador, foi criado um circuito para interligar o PIC, o filtro e modulo de comunicação serial.

Na fase de testes foram encontrados ruídos gerados pelo próprio PIC em virtude de suas portas não utilizadas. Para minimizar esse problema foram instaladas duas redes resistivas ligadas em nível lógico alto diretamente no VCC. O conector J17 foi configurado com o objetivo de facilitar o acesso a portas do PIC na fase de testes e auxiliar testes em caso de falhas do mesmo. A figura 11 mostra o sinal de entrada após a passagem pelo filtro.

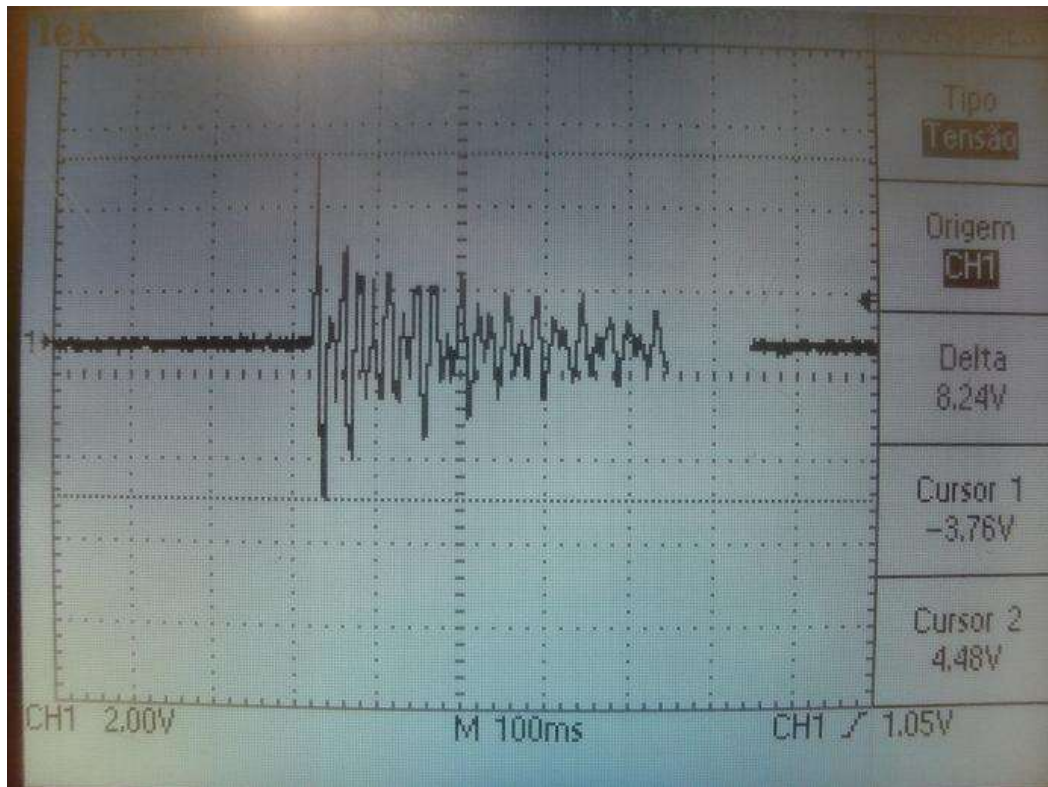


Figura 11 - Exemplo de sinal de entrada correspondente a variação enviada ao microcontrolador.

5.1.5 - Ligação da Porta Serial

A comunicação com o PC é efetuada através da porta serial, foi criado um circuito que compatibilize o microcontrolador com a porta serial usando o Conversor TTL/RS232 MAX232. Seguindo o esquema de pinagem fornecido pelo fabricante.

5.2 - Projeto do Software

5.2.1 - Tipos de Software Utilizados

O sistema desenvolvido dois software específicos, o do firmware para a lógica embarcada no microcontrolador e o do software que irá rodar no PC.

5.2.1.1 - Projeto do Firmware

O firmware, embarcado no microcontrolador, possui a lógica necessária para o seu funcionamento, ele capta 1024 amostras analógicas do sinal, transforma o mesmo em digital e o envia ao modulo serial que envia o sinal digitalizado utilizando o protocolo serial para o PC.

5.2.1.1.1 - Módulo de tratamento do sinal

O Microcontrolador recebe o sinal analógico filtrado e amplificado, e possui a facilidade de ter um conversor analógico digital interno, digitalizando o sinal.

O valor da saída em tensão da bobina em repouso, é praticamente nulo, tendo em vista que praticamente todos os objetos estão em movimento (elétrons em movimento). As funções matemáticas obtidas nas equações de regressão são utilizadas na conversão do valor medido da frequência para força, porém utilizam um valor fixo de zero como referencial. Após o recebimento do sinal, o mesmo passa por um algoritmo de fft que permite ter uma visão do sinal a ser analisada no domínio da frequência.

5.2.1.1.2 - Protocolo de comunicação Serial

Esse módulo consiste na utilização de um protocolo que permita a comunicação serial pelos dados recebidos para o PC. O microcontrolador é compatível com a comunicação serial, o protocolo serial no firmware é setado com um padrão de configuração serial gerando um protocolo de controle. A figura 12 mostra a lógica utilizada no firmware.

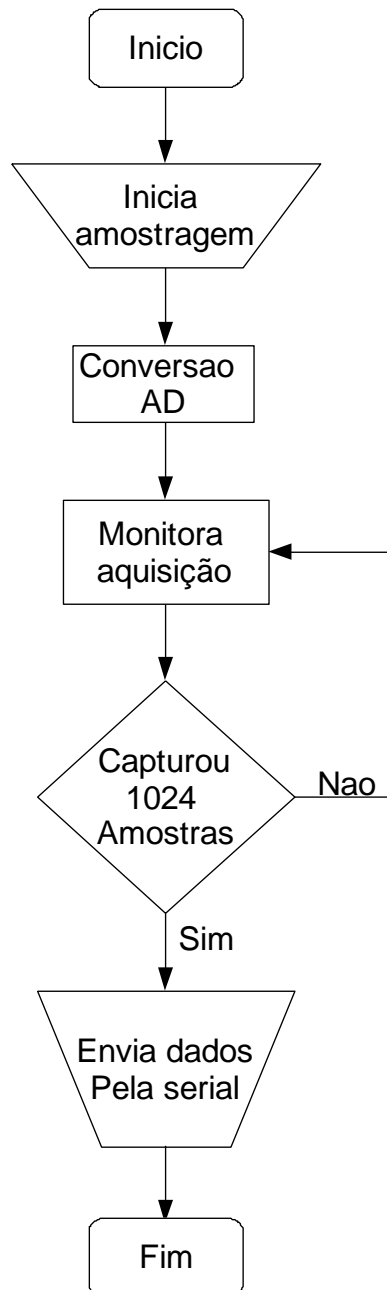


Figura 12 - Fluxograma do firmware.

5.2.2 - Projeto do Software - Interface Gráfica

O software do PC, a interface gráfica, trata o protocolo de comunicação serial (recebimento dos dados), possui a função FFT e possui a interface para a comunicação com o usuário. A figura 13 demonstra a tela para interface com o usuário.

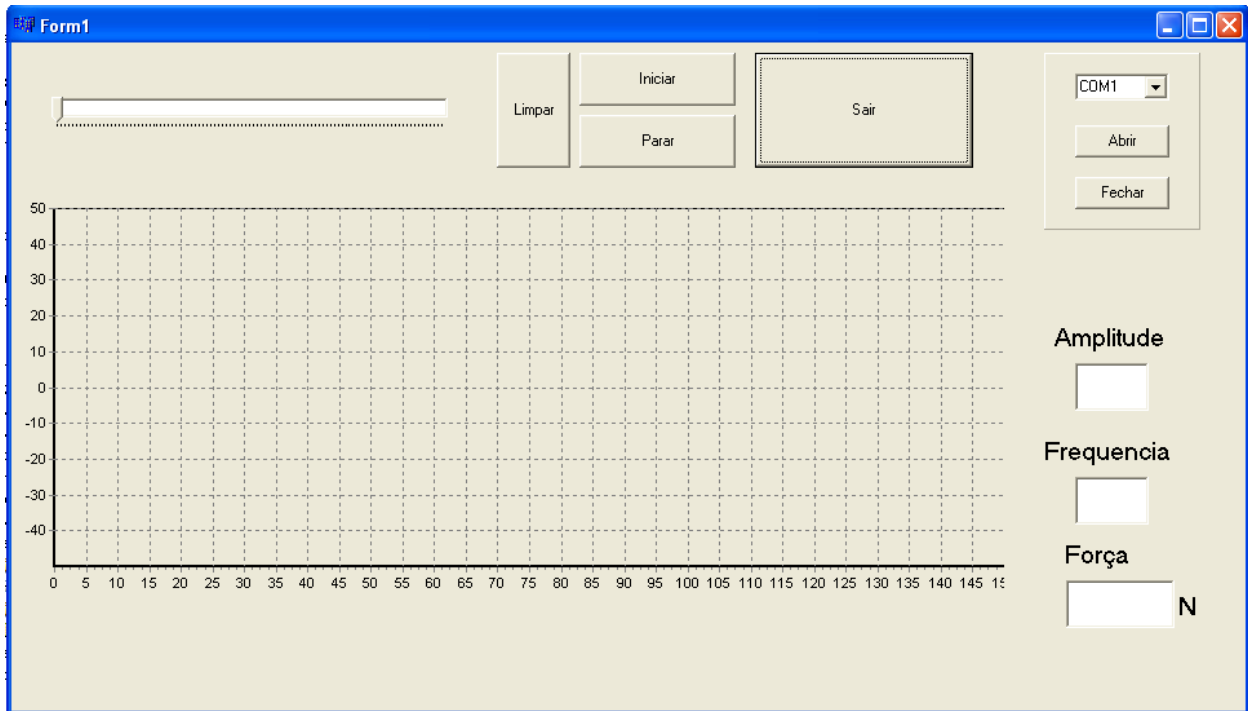


Figura 13 - Tela para interface com o usuário.

O Software do PC possui duas classes, uma para a comunicação serial com as configurações de controle da porta e garantia de entrega dos dados e a outra para a tela que amostra os resultados.

O software também possui uma função muito importante para análise do sinal, a FFT que nos permite ter uma visão do sinal a ser analisado no domínio da frequência.

Na figura 14 pode-se verificar o diagrama de fluxo do software de interface com o usuário.

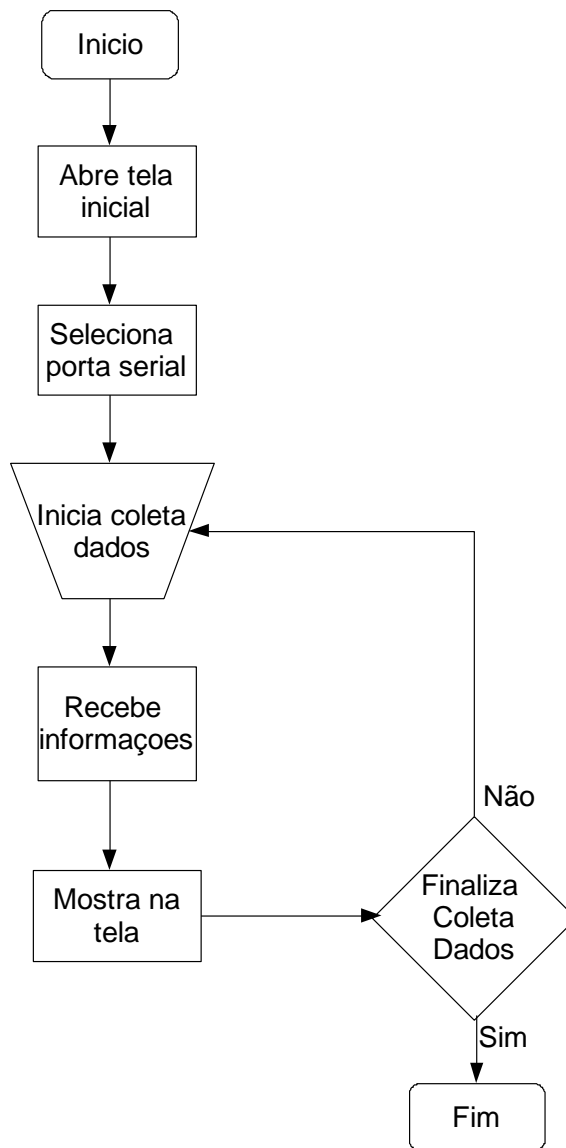


Figura 14 - Fluxograma do software.

5.2.2.1 - Diagrama de Casos de Uso

O diagrama caso de uso, figura 15, é utilizado para mostrar os requisitos funcionais de um sistema. Ele utiliza atores que representam o papel de uma entidade externa ao sistema como um usuário, ou outro sistema que interage com o sistema modelado. Os atores iniciam a comunicação com o sistema através do *use-cases*. Atores e casos de uso são classes. Um ator é conectado a um ou mais casos de uso através de associações, e tanto atores quanto casos de uso podem possuir relacionamentos de generalização que definem um comportamento comum de herança em subclasses especializadas em subclasses (COSTA, 2003).

A criação do diagrama de casos de uso no projeto se mostrou simples pelo fato que a interação do usuário com o software será pequena, somente solicitando o início da monitoração e sua avaliação sem necessidade de interagir novamente com o programa.

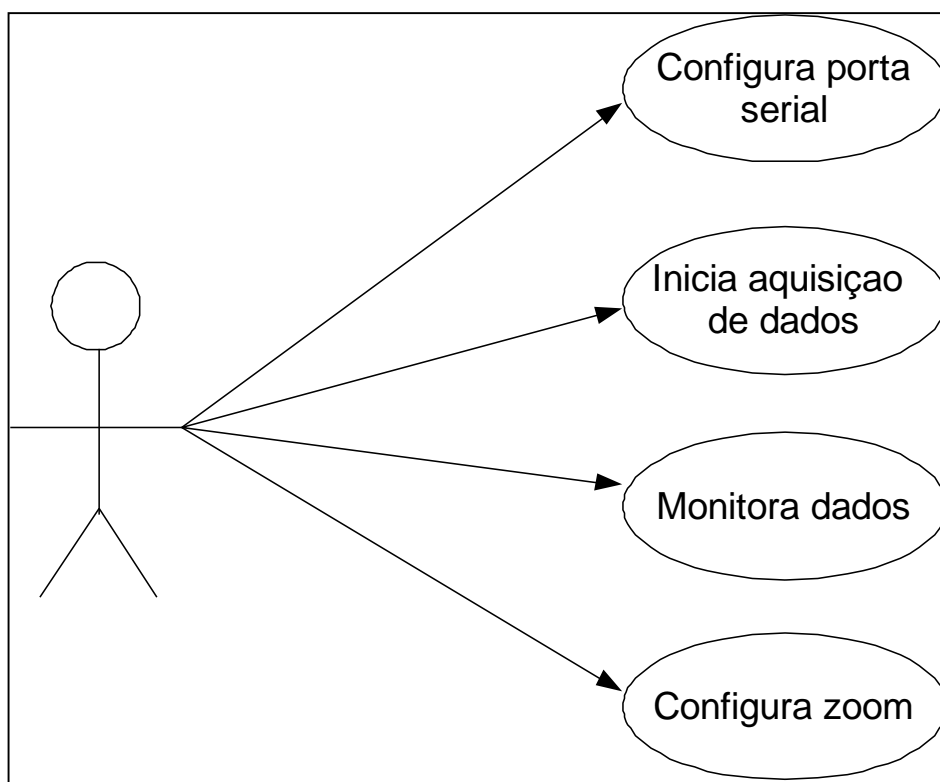


Figura 15 – Diagrama de casos de uso.

5.2.2.2 - Diagrama de Seqüência

Um diagrama de seqüência, figura 16, demonstra a ordem das interações dos atores (usuário) externos com o sistema e os eventos que eles geram.

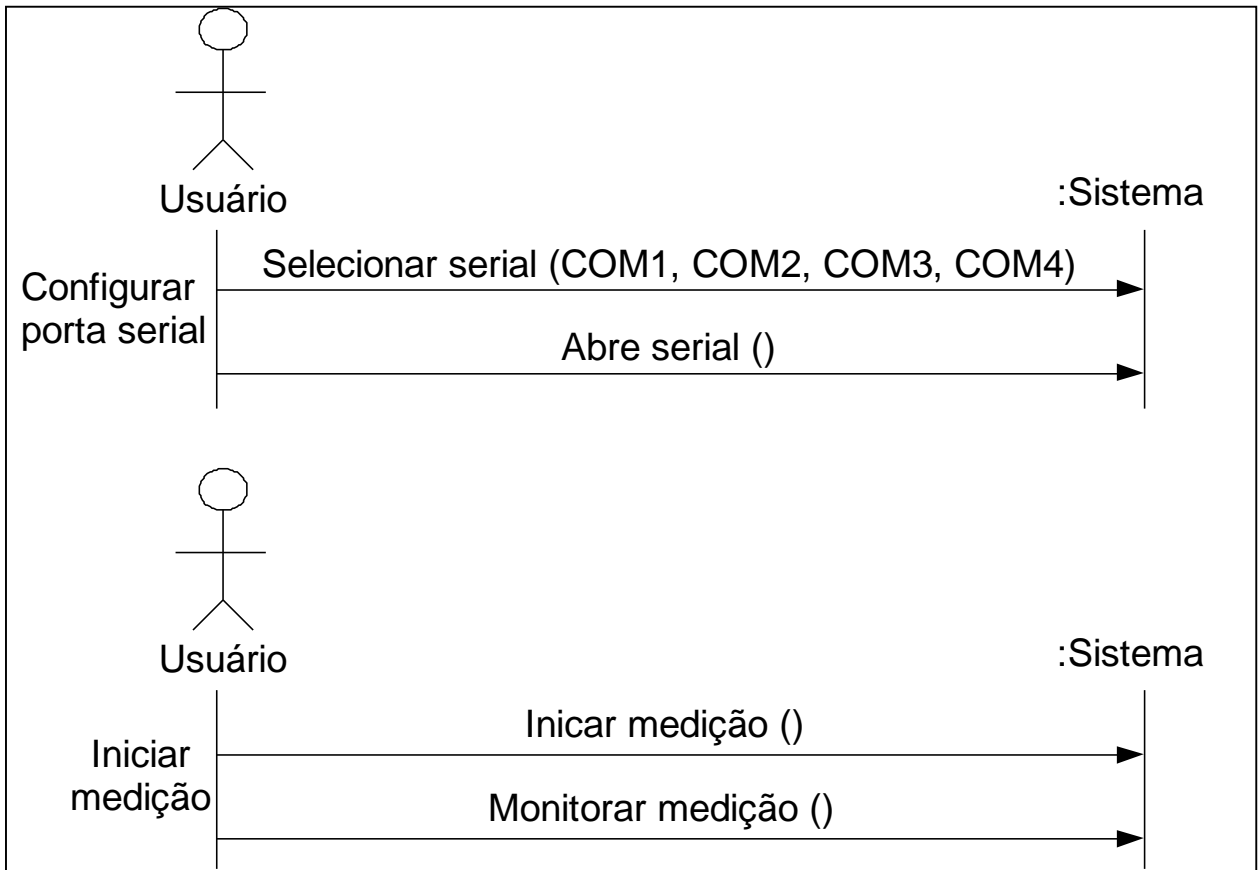


Figura 16 - Diagrama de seqüência.

5.2.2.3 - Diagrama de Classes

Um diagrama de classe, figura 17, ilustra as especificações de software para as classes e interfaces do sistema incluindo atributos e métodos das classes representadas, para o sistema foram utilizadas somente 2 classes:

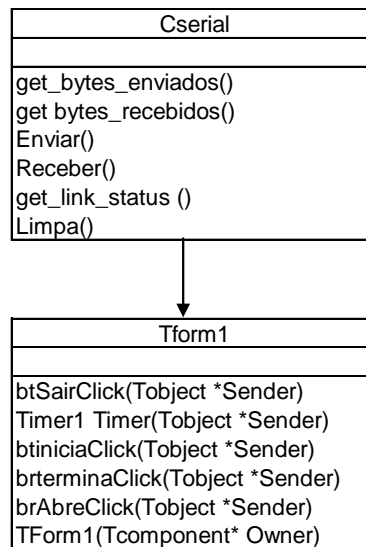


Figura 17 - Diagrama de classes.

CAPÍTULO 6 - VALIDAÇÃO E RESULTADOS

De forma geral o sistema para medição da tração em cabos de aço teve uma boa performance e seu funcionamento ocorreu de acordo com o planejamento inicial. Os resultados obtidos mostraram que o protótipo possui coerência nas medições em relação a real observada. Porém para uma melhor performance, tendo como objetivo uma reposta exata faz-se necessária uma nova análise no intuito de refinar tanto os dispositivos eletrônicos quanto os algoritmos utilizados no projeto devido ao mesmo ter sido desenvolvido apenas no protótipo criado para o sistema desenvolvido.

A validação da funcionalidade do sistema desenvolvido ocorreu em 2 fases:

- Aferição utilizando um dinamômetro para criação das tabelas e equações de regressão.
- Aferição da interface gráfica em comunicação serial com o módulo principal.

6.1 - Aferição utilizando um dinamômetro para criação das tabelas e equações de regressão.

Para a construção de tabelas com intuito de criar uma relação entre a frequência com sua resposta em força, foi necessária uma aferição do sinal de entrada passando pela FFT e submetendo a variação de 50 a 82 Newtons conforme demonstrado na figura 18.

A aferição ocorreu conforme o esperado possibilitando a criação das tabelas e gráficos necessários.

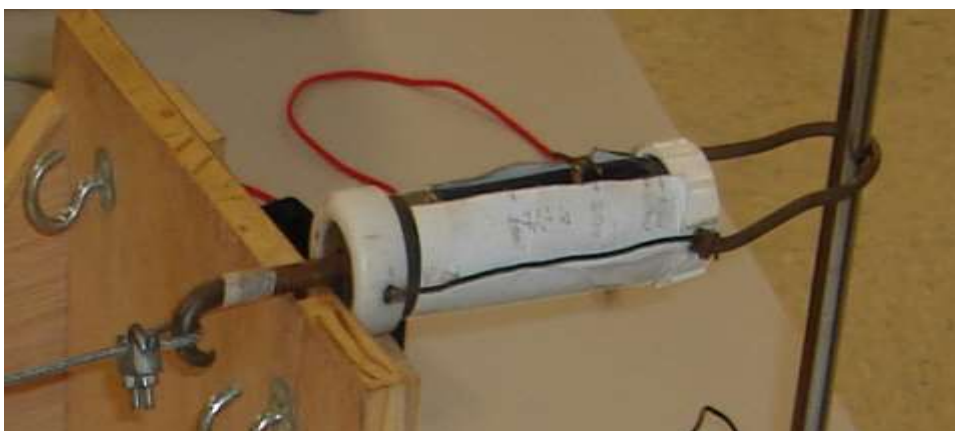


Figura 18 – Dinamômetro conectado ao cabo para aferição.

6.2 – Resultados

Após a criação do protótipo utilizado, a construção do circuito e da elaboração do software foi possível começar a trabalhar os resultados.

Com a verificação da correlação possível para as duas grandezas utilizadas, força e frequência, foi possível criar a equação de regressão que nos dá o resultado em força (Newtons) de acordo com a frequência medida em hertz. Com a equação de regressão foi possível poupar no software relações a serem feitas com as tabelas medidas, diminuindo o seu custo computacional. Na figura 19 pode-se observar a tela do software com os respectivos resultados.

De posse da equação os resultados foram baseados no protótipo e no cabo utilizado. Para uma melhor relação, deve-se criar outros protótipos com cabos e comprimentos de cabos diferentes.

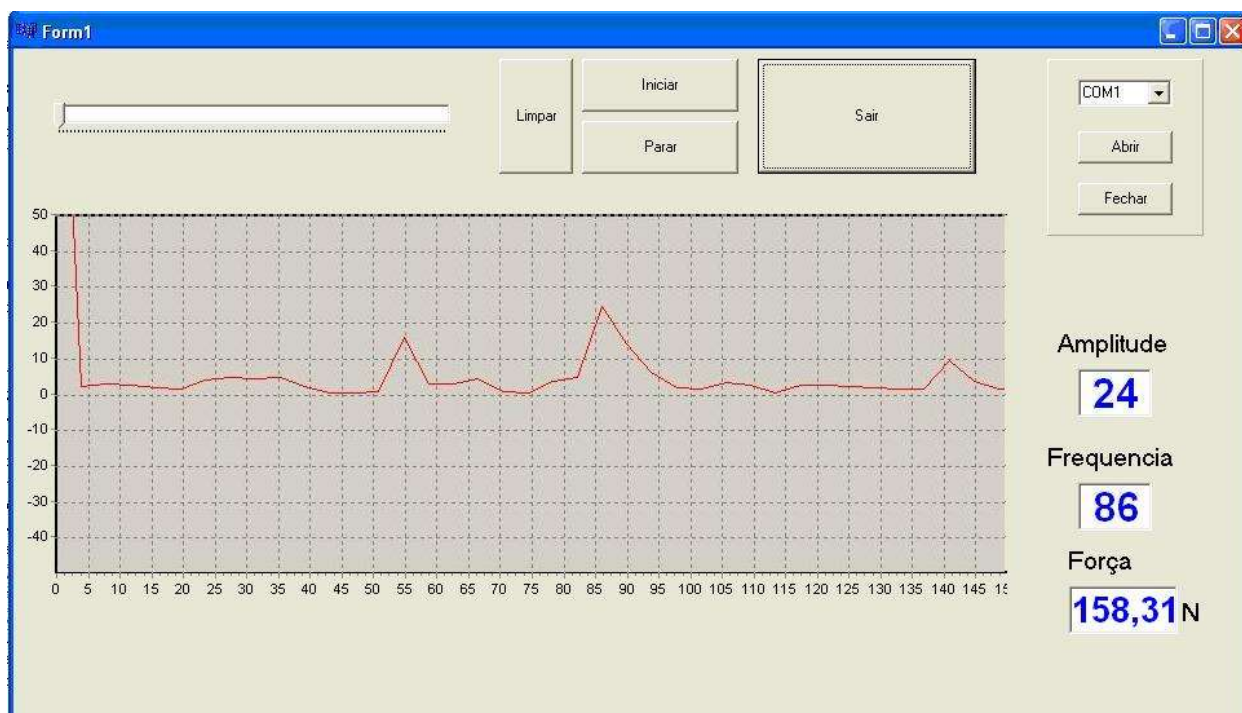


Figura 19 – Tela do software com os resultados.

CAPÍTULO 7 - CRONOGRAMA

- **Fevereiro/07** : Aquisição e instalação das ferramentas necessárias ao desenvolvimento do projeto. Documentação do projeto.
- **Março/07** : Estudo do sistema de tensão de fios. Implementação de protótipo. Documentação do projeto.
- **Abril/07** : Implementação do sistema de aquisição da tensão do fio. Documentação do projeto.
- **Mai/07** : Implementação da tabela de conversão e testes iniciais. Documentação do projeto.
- **Junho/07** : Implementação da comunicação entre o microcomputador e o microcontrolador Documentação do projeto.
- **Julho/07** : Melhorias no projeto. Documentação do projeto.
- **Agosto/07** : Testes finais. Documentação do projeto.
- **Setembro/07** : Documentação das conclusões, resultados finais e artigo.
- **Outubro/07** : Elaboração do manual do usuário. Relacionar os componentes utilizados para a realização da experiência e a quantidade de cada um, citando o seu nome comercial.

CAPÍTULO 8 – CONCLUSÃO

Por meio do protótipo desenvolvido para a medição da tração aplicada a um cabo de aço, encontrando o valor da força ao qual o protótipo é submetido em estruturas tais como postes, torres e pontes, chega-se a conclusão que o protótipo atendeu os objetivos iniciais do projeto, cumprindo os testes e encontrando os valores de força com uma boa taxa de acerto. Mostrando ser um protótipo confiável para um trabalho em obras de engenharia civil.

Os resultados forem de encontro com a teoria de vibração de cabos que varia de acordo com o comprimento, coeficiente do cabo e a força aplicada.

Existe um interesse em comercializar o protótipo, fazendo um estudo da viabilidade econômica para a criação de um produto e a comercialização do mesmo.

Durante o desenvolvimento do projeto foi possível observar a carência do mercado na área de equipamentos de instrumentação para engenharia civil que possam realizar medições de uma maneira simples e funcional, o sistema desenvolvido se mostrou uma ferramenta de instrumentação funcional, porém a versatilidade para a utilização do mesmo em vários casos de instrumentação não só na indústria de engenharia civil, mas também na indústria automotiva, naval entre outras, abre portas para o desenvolvimento de novos produtos e a exploração de um nicho de mercado tão pouco aproveitado.

CAPÍTULO 9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, William Pereira. **C++ Builder 6: Desenvolva Aplicações para Windows**. Editora Érica. edição 1. São Paulo. 2002.

BARROSO, Leônidas Conceição; BARROSO, Magali Maria de Araújo; CAMPOS, Frederico Ferreira Filho; CARVALHO, Márcio Luiz Bunte de; MAIA, Lourenço. Cálculo Numérico com Aplicações. Editora Harbra .Edição 2. São Paulo. 1987.

CORTELETTI, Daniel. Introdução à programação de microcontroladores. Microchip PIC. Disponível em: <http://sbrt.ibict.br/upload/dossies/sbrt-dossie51.pdf>. Acesso em: abril de 2008.

COSTA, Richard Douglas D. Latu sensu em sistemas de informação e aplicações web. Manaus: 2003. Monografia (graduação).

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WILKER, Jearl. Fundamentos de Física. Volume 3, Eletro-magnetismo. 4.ed. Volume 2, ed. Rio de Janeiro :Editora LTC, 1996. Ed. São Paulo: Editora Makron Books, 1999.

MICROSHIP, 2006. Microship Technology Incorporated. PIC16F877A Datasheet. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf>>.<[http://www. microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1335&dDocName=en010242](http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1335&dDocName=en010242)>.

Acesso em: maio de 2008.

MUNDO DA ELETRÔNICA, 2007. Mundo da eletrônica, site com informações e aplicações para o microcontrolador PIC. Disponível em: <<http://br.geocities.com/teixeiramg/mbhbjdm .htm>>. Acesso em: junho de 2008.

PEREIRA, Fábio. Microcontroladores PIC Técnicas Avançadas. 2. ed. São Paulo: Editora Érica.

PERTENCE, Antonio Júnior. Eletrônica Analógica Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos. Artmed Editora S.A. Edição 6. Porto Alegre. 2003.

ROGERCOM. Figura porta serial. Disponível em: <http://www.rogercom.com>. Acesso em: junho de 2008.

SCHAUM, Coleção, Hwei P. Hsu. Volume 1, Sinais e Sistemas, Ed. São Paulo: Editora Artmed Editora, 2004.

TRIOLA, Mario F. Introdução a Estatística, Editora LTC .edição7. Rio de Janeiro. 1999.

UCPEL. Transformada de Fourier. Disponível em <http://atlas.ucpel.tche.br/~tst/fourier.html> Acesso em: outubro de 2008.

UNB. Conceito de campo Magnético. Disponível em:

<http://www.unb.br/iq/kleber/EaD/Eletromagnetismo/CampoMagnetico/CampoMagnetico.html> . Acesso em: maio de 2008

USP. Conceito de eletromagnetismo. Disponível em:

http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/campo_corrente/. Acesso em: maio de 2008.

APÊNDICE A – ANEXOS

Placa circuito principal



Fonte simétrica usada no projeto

