

Universidade de São Paulo  
Escola Politécnica  
Departamento de Engenharia Mecânica

*7,5 Marcelo Massarani  
sete e cinco* *[Signature]*

# SISTEMA DE METRIA PARA VEÍCULO MONOPOSTO

Trabalho de formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de São  
Paulo para a obtenção do título de  
graduação.

Elaborado por:  
Giancarlo Osvaldo Pellegrino  
Marco Antonio Archanjo

Orientador :  
Prof. Dr. Marcelo Massarani

Área de concentração:  
Engenharia Mecânica –  
Automação e Sistemas

São Paulo  
1999

“Nossa meta é simples: copiar para criar, criar para competir, competir para vencer. Já estamos na segunda fase.”

Takeo Fukuda, primeiro ministro japonês (1969).

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho de formatura não teria chegado ao fim ou seria muito mais penosa sua realização se eu não contasse com a ajuda de alguns amigos, ajuda esta dada tanto sob a forma de contribuições positivas para o nosso trabalho quanto sob a forma de carinho, paciência e incentivos.

Posto isto, inicio meus agradecimentos por Deus, Aquele que sempre esteve a meu lado, dando forças para que eu prosseguisse meu caminho e superasse os obstáculos que a vida nos confronta.

A meus pais, meu irmão e à Karen, minha namorada, pelo apoio incondicional a tudo o que venho almejando e realizando ao longo dos anos. Com certeza, sem a presença deles à minha volta, meu mundo seria esmaecido e sem brilho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Massarani por acreditar e incentivar nosso trabalho ao longo deste ano que passou e ao Prof. Dr. Jun Okamoto por suas importantes colaborações ao nosso projeto.

Aos amigos João Alcino Martins, Antonio Fernando Maiorquim e Frederico Augusto de Mello Prado, cujo apoio e interesse pelo nosso trabalho de formatura tornaram nossos caminhos menos árduos ao longo deste ano.

Ao amigo Archanjo, com quem pude compartilhar os bons e maus momentos e cujo empenho e dedicação levo como um exemplo para mim.

Giancarlo Osvaldo Pellegrino

## AGRADECIMENTOS

A concretização deste trabalho não seria possível sem a valiosa contribuição e apoio de diversas pessoas, as quais sou eternamente grato.

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me dado forças e vontade nos momentos de dificuldade que enfrentei não só durante o desenvolvimento deste trabalho, mas durante toda a minha vida.

A toda minha família (inclusive meu cachorro Bo) que me apoiou e incentivou ao longo destes cinco anos de luta. Sem dúvida alguma, ela foi, é e sempre será o ponto de equilíbrio do meu sucesso.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Massarani pelo incentivo e pela liberdade que nos deu para o desenvolvimento do projeto.

A meu amigo Giancarlo, companheiro que me auxiliou no desenvolvimento deste. A João Alcino Martins, Antonio Fernando Maiorquim e a Frederico Augusto de Mello Prado, amigos que com suas dicas valiosas permitiram que finalizássemos com êxito este trabalho.

A todos que direta ou indiretamente corroboraram na execução deste projeto.

Marco Antonio Archanjo

# SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. APRESENTAÇÃO .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>2. ESTUDO DE VIABILIDADE .....</b>   | <b>5</b>  |
| 2.1. MOTIVAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DA NECESSIDADE .....   | 5         |
| <b>3. FORMULAÇÃO DO PROJETO.....</b>  | <b>7</b>  |
| 3.1. FORMULAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS .....                                      | 9         |
| 3.1.1. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE SENSORIAMENTO .....                                    | 9         |
| 3.1.2. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO, PROCESSAMENTO E ARMAZENAGEM DE DADOS: ..... | 13        |
| 3.1.3. CARACTERÍSTICAS DO MICROCOMPUTADOR: .....  | 15        |
| <b>4. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PROJETO:.....</b>  | <b>16</b> |
| 4.1. HARDWARE .....   | 16        |
| 4.1.1. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS .....   | 16        |
| 4.1.2. CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS .....   | 17        |
| 4.1.3. CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS (EXCLUINDO-SE SENsoRES).....                            | 18        |
| 4.2. SOFTWARE DE AQUISIÇÃO DE DADOS, SUPERVISÃO E CONTROLE (SASC) .....                     | 18        |
| 4.3. SENsoRES.....  | 18        |
| 4.4. SOFTWARE DE APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS (SAR) .....                                     | 20        |
| <b>5. SÍNTese DE SOLUÇÕES: .....</b>  | <b>22</b> |
| <b>6. POSSÍVEIS SOLUÇÕES.....</b>   | <b>25</b> |
| 6.1. SOLUÇÃO A.....   | 27        |
| 6.2. SOLUÇÃO B .....  | 30        |
| 6.3. SOLUÇÃO C .....  | 33        |
| 6.4. SOLUÇÃO D .....  | 35        |
| <b>7. ESCOLHA DA MELHOR SOLUÇÃO (MATRIZ DE DECISÃO).....</b>                                | <b>38</b> |
| <b>8. PROjETO BÁSICO OU ANTEPROjETO .....</b>   | <b>40</b> |
| 8.1. UMA DECISÃO PRELIMINAR .....   | 41        |
| 8.2. SISTEMA DE SENSORIAMENTO .....   | 42        |
| 8.2.1. SUBSISTEMA DE ACELERAÇÕES.....   | 43        |
| 8.2.1.1. ESTUDO, MODELAGEM E PROjETO DO SUBSISTEMA DE ACELERAÇÕES:.....                     | 44        |
| 8.2.1.2. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE .....   | 50        |
| 8.2.1.3. ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE .....   | 50        |
| 8.2.2. SUBSISTEMA DE POSIÇÕES ANGULARES.....  | 52        |

|   |           |
|---|-----------|
| 8.2.2.1. ESTUDO, MODELAGEM E PROJETO DO SUBSISTEMA DE POSIÇÕES ANGULARES .....              | 52        |
| 8.2.2.2. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE .....   | 55        |
| 8.2.2.3. ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE .....   | 55        |
| 8.2.3. SUBSISTEMAS DE VELOCIDADE E ROTAÇÃO DO MOTOR .....                                   | 56        |
| 8.2.3.1. ESTUDO, MODELAGEM E PROJETO DOS SUBSISTEMAS DE VELOCIDADE E ROTAÇÃO DO MOTOR ..... | 56        |
| 8.2.3.2. ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE .....   | 57        |
| 8.3. SISTEMA DE AQUISIÇÃO, PROCESSAMENTO E ARMAZENAGEM DE DADOS .....                       | 57        |
| 8.3.1. SUBSISTEMA DE AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO .....  | 58        |
| 8.3.1.1. ESTUDO DO MC68HC11A1 .....   | 59        |
| 8.3.2. SUBSISTEMA DE MEMÓRIA .....  | 64        |
| 8.3.2.1. DEFINIÇÃO DOS ENDEREÇOS PARA A EPROM E PARA A SRAM .....                           | 65        |
| 8.3.2.2. SELEÇÃO DA EPROM .....   | 66        |
| 8.3.2.3. SELEÇÃO DA SRAM .....  | 67        |
| 8.3.2.3. PROJETO DO DECODIFICADOR DE ENDEREÇOS .....  | 69        |
| 8.3.3. SUBSISTEMA DE TRANSMISSÃO SERIAL .....   | 70        |
| 8.4. ESQUEMÁTICOS DAS PLACAS .....  | 71        |
| <b>9. SAR (SOFTWARE DE APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS) .....</b>                                | <b>73</b> |
| 9.1. ARQUITETURA DO SOFTWARE .....  | 74        |
| <b>10. SOFTWARE DE AQUISIÇÃO DE DADOS, SUPERVISÃO E CONTROLE (SASC) .....</b>               | <b>77</b> |
| 10.1. DESCRIÇÃO DO SASC .....   | 77        |
| 10.2. O SASC E A PLACA DE AVALIAÇÃO EVM .....   | 80        |
| <b>11. CONCLUSÕES .....</b>   | <b>81</b> |
| <b>12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>82</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 : Representação esquemática do sistema de aquisição de dados | 7  |
| Figura 2 : Sistemas constituintes do produto                          | 40 |
| Figura 3: Diagrama de blocos do MCU                                   | 42 |
| Figura 4: Esquema representativo do sistema de sensoriamento          | 43 |
| Figura 5: Esquema do circuito do acelerômetro                         | 45 |
| Figura 6: Circuito amplificador não- inversor                         | 46 |
| Figura 7: Esquema do circuito do filtro Butterworth                   | 48 |
| Figura 8: Diagrama de blocos do subsistema de acelerações             | 51 |
| Figura 9: Esquema de montagem do potenciômetro                        | 53 |
| Figura 10: Filtro Butterworth para o subsistema de posições angulares | 55 |
| Figura 11: Diagrama de Blocos   | 58 |
| Figura 12: Diagrama de blocos do MCU                                  | 60 |
| Figura 13: Montagem para a multiplexação da via de dados/endereços    | 61 |
| Figura 14: Mapa de Memória  | 63 |
| Figura 15: Diagrama de tempos do MC68HC11A1                           | 64 |
| Figura 16: Carta de Tempo da EPROM                                    | 67 |
| Figura 17: Carta de Tempo da SRAM – Leitura                           | 68 |
| Figura 18: Carta de Tempo da SRAM – Escrita                           | 68 |
| Figura 19: Arquitetura do Software de Apresentação de Resultados      | 75 |
| Figura 20: Diagrama de Blocos do SASC                                 | 78 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 : Possíveis soluções para as funções do sistema de aquisição de dados | 23 |
| Tabela 2 : Resolução dos conversores A/D                                       | 25 |
| Tabela 3: Precisão numérica do sistema   | 25 |
| Tabela 4: Valor econômico da Solução A   | 29 |
| Tabela 5: Valor econômico da Solução B   | 32 |
| Tabela 6: Valor econômico da Solução C   | 34 |
| Tabela 7: Valor econômico da Solução D   | 37 |
| Tabela 8: Matriz de Decisão  | 38 |

## RESUMO

O projeto a ser desenvolvido é o estudo e a concepção de um sistema de aquisição de dados capaz de registrar algumas variáveis relacionadas ao movimento e funcionamento de um veículo automotor movido por um motor a explosão para uma posterior análise.

Em uma primeira etapa, será desenvolvido um sistema de sensoriamento o qual será responsável pela medição de seis grandezas físicas básicas para o estudo do desempenho de um veículo, a saber: acelerações longitudinal e lateral do veículo, rotação do motor, velocidade do veículo, ângulo de esterçamento do volante do carro e posição angular do pedal do acelerador. Com estas seis canais aquisitados, é possível obter um diagnóstico básico das características do veículo e do motorista, podendo-se proceder algumas análises fundamentais.

Em uma segunda etapa, serão concebidos um sistema eletrônico de aquisição de dados e um software para amostragem, supervisão e controle dos dados aquisitados. O sistema eletrônico de aquisição de dados consistirá de uma placa que será embarcada no veículo. Ela terá a função de receber os dados vindos do sistema de sensoriamento, amostrar estes dados, processá-los e armazená-los de tal forma que estas informações sejam analisadas em uma etapa seguinte. O software supracitado será responsável pelo gerenciamento e controle de todas as informações.

A última etapa do projeto consiste na apresentação dos dados coletados. Os dados dos seis canais serão carregados em um microcomputador e serão apresentados ao usuário na forma de gráficos. Para tanto será desenvolvido um programa para apresentação dos dados. Cada um dos seis canais poderá ser visualizado em

função do tempo ou da distância percorrida, bem como serão apresentadas plotagens de combinações das grandezas amostradas, por exemplo, gráfico da aceleração longitudinal pela aceleração lateral. Com os dados no micro, será feita a reconstrução da trajetória percorrida pelo veículo.

## 1. APRESENTAÇÃO

O projeto a ser desenvolvido é o estudo e a concepção de um sistema de aquisição de dados capaz de registrar algumas variáveis relacionadas ao movimento e funcionamento de um veículo automotor movido por um motor a explosão para uma posterior análise.

Em uma primeira etapa, será desenvolvido um sistema de sensoriamento o qual será responsável pela medição de seis grandezas físicas básicas para o estudo do desempenho de um veículo, a saber: acelerações longitudinal e lateral do veículo, rotação do motor, velocidade do veículo, ângulo de esterçamento do volante do carro e posição angular do pedal do acelerador. Com estas seis canais aquisitados, é possível obter um diagnóstico básico das características do veículo e do motorista, podendo-se proceder algumas análises fundamentais.

Em uma segunda etapa, serão concebidos um sistema eletrônico de aquisição de dados e um software para amostragem, supervisão e controle dos dados aquisitados. O sistema eletrônico de aquisição de dados consistirá de uma placa que será embarcada no veículo. Ela terá a função de receber os dados vindos do sistema de sensoriamento, amostrar estes dados, processá-los e armazená-los de tal forma que estas informações sejam analisadas em uma etapa seguinte. O software supracitado será responsável pelo gerenciamento e controle de todas as informações.

A última etapa do projeto consiste na apresentação dos dados coletados. Os dados dos seis canais serão carregados em um microcomputador e serão apresentados ao usuário na forma de gráficos. Para tanto será desenvolvido um programa para apresentação dos dados. Cada um dos seis canais poderá ser visualizado em função do

tempo ou da distância percorrida, bem como serão apresentadas plotagens de combinações das grandezas amostradas, por exemplo, gráfico da aceleração longitudinal pela aceleração lateral. Com os dados no micro, será feita a reconstrução da trajetória percorrida pelo veículo.

Neste projeto não será feito o pós –processamento destes dados. Isto significa que a análise dos gráficos será de responsabilidade de um engenheiro, cabendo a este usuário a identificação de padrões de pilotagem e/ou de algumas características peculiares do veículo em questão.

O estudo de viabilidade apresentado a seguir visa identificar a necessidade do projeto, formular e quantificar as especificações do mesmo e gerar algumas alternativas de solução que satisfaçam a proposta inicial deste projeto.

## 2. ESTUDO DE VIABILIDADE

### 2.1. MOTIVAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DA NECESSIDADE

Competições acadêmicas desenvolvidas entre alunos constituem um modo interessante e efetivo de estimular a utilização dos conceitos aprendidos dentro das salas de aula em aplicações práticas. Dentro do horizonte abrangido pela engenharia mecânica, as competições organizadas pela SAE apresentam um grande destaque no exterior e versões brasileiras destas competições também já são organizadas localmente com bastante sucesso, como é o caso da Competição de MiniBajas.

Seguindo os moldes desta competição, onde os alunos são responsáveis pela construção de um veículo *off-road*, a SAE realiza a 18 anos nos Estados Unidos uma competição chamada Formula SAE, onde o objetivo é conceber, projetar e fabricar um pequeno veículo monoposto de corrida. O ano de 1999 marca a primeira vez que esta competição será realizada fora dos Estados Unidos (Inglaterra) e a SAE já estuda a sua realização em outros países, como o Brasil.

Dentro deste enfoque e já prevendo a possibilidade do desenvolvimento deste veículo pelos alunos da Escola Politécnica, este projeto visa desenvolver um sistema de aquisição de dados relacionados ao desempenho de um veículo. A aquisição de dados e sua posterior análise é de fundamental importância quando se deseja estudar e melhorar o desempenho de um veículo de corrida. Com este projeto, deseja-se disponibilizar aos alunos que estarão envolvidos no futuro na construção deste veículo monoposto um instrumento para que eles consigam mensurar de maneira mais precisa o desempenho do veículo.

Um fator motivante que também pode ser citado aqui é a possibilidade de construção de um sistema de aquisição de dados de baixo custo voltado para o mercado automotivo. Uma pesquisa entre os desenvolvedores de sistemas semelhantes revelou o alto custo destas soluções.

Outro fator importante que levou a escolha deste projeto foi a possibilidade de reunir e aprofundar um grande número de conceitos apresentados ao longo do curso, aplicando-os na prática e sentindo as dificuldades naturais de sua implementação.

Como o assunto abordado neste projeto é bastante complexo, não se espera que este projeto esgote por completo o assunto e sim que sirva como uma base para um aperfeiçoamento futuro através de outros projetos a serem desenvolvidos por outros alunos.

### 3. FORMULAÇÃO DO PROJETO

Identificada e estabelecida a necessidade de um sistema de aquisição de dados, parte-se agora para a definição das especificações técnicas que serão as diretrizes para o projeto. Estando o problema de engenharia totalmente identificado, formulado e quantificado, passa-se à geração de possíveis soluções.

As características do produto são formuladas considerando-o como um sistema que recebe entradas e saídas. Assim, é possível considerar as entradas desejáveis e indesejáveis, as saídas desejáveis e indesejáveis e quantificá-las de tal forma que seja possível gerar as especificações técnicas do projeto.

O sistema de aquisição de dados que será projetado é dividido em três sistemas:

- 1) Sistema de sensoriamento;
- 2) Sistema de aquisição, processamento e armazenagem de dados;
- 3) Microcomputador.

Uma representação esquemática do sistema é mostrado abaixo:

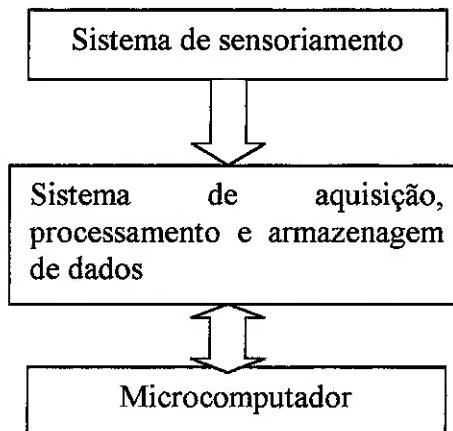


Figura 1 : Representação esquemática do sistema de aquisição de dados

O Sistema de sensoriamento, como o próprio nome diz, é responsável pelas medições das grandezas físicas de interesse. Neste projeto, implementar-se-á um contador de voltas e serão seis as grandezas a serem medidas, a saber:

- 1) Aceleração lateral;
- 2) Aceleração longitudinal;
- 3) Velocidade;
- 4) Rotação do motor;
- 5) Ângulo de esterçamento do volante;
- 6) Posição angular do pedal do acelerador.

O Sistema de aquisição, processamento e armazenagem de dados será responsável pela amostragem dos sinais provenientes do subsistema de sensoriamento, processamento e manipulação dos dados bem como a armazenagem destes dados para posterior análise. É também função deste subsistema a transmissão dos dados armazenados para o microcomputador. Este sistema também será encarregado de mostrar em tempo real uma das variáveis que estão sendo mensuradas através de um mostrador de cristal líquido (LCD).

O microcomputador será utilizado como ferramenta para a apresentação dos dados coletados. As informações serão recebidas do subsistema de aquisição, processamento e armazenagem de dados. A apresentação se dará na forma de gráficos das grandezas medidas ou de combinações delas.

### 3.1. FORMULAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS

Esta etapa consiste na análise de cada subsistema, considerando-o como uma “caixa preta” onde são aplicadas entradas e possíveis saídas são geradas como resposta do sistema a determinada entrada. A função primordial deste procedimento é a geração das especificações do projeto.

#### 3.1.1. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE SENSORIAMENTO

##### a) Acelerações (lateral e longitudinal):

###### 1) Entradas desejáveis:

- Alimentação regulada;
- Acelerações lateral e longitudinal do veículo, com amplitude máxima de 2G.

###### 2) Saídas Desejáveis:

- Sinal analógico (tensão) condicionado (amplificado e filtrado).

###### 3) Entradas Indesejáveis

- Sinal de alta frequência;
- Vibrações;
- Impacto;
- Choque físico;
- Alta temperatura.

**4) Saídas Indesejáveis**

- Ruído;
- Sinal de saída não condicionado.

**b) Velocidade:**

**1) Entradas Desejáveis:**

- Alimentação regulada;
- Sinal (tensão) de rotação da roda.

**2) Saídas Desejáveis:**

- Sinal digital do contador de rotações da roda.

**3) Entradas Indesejáveis:**

- Escorregamento da roda;
- Sujeira (lama, poeira, pedras, etc);
- Baixa rotação da roda;
- Choque físico e térmico;
- Contato com a roda.

**4) Saídas Indesejáveis:**

- Contagem errada da rotação da roda;
- Estouro do contador digital de rotações da roda;
- Não detecção do sinal de disparo

**c) Rotação do Motor****1) Entradas Desejáveis:**

- Sinal de rotação do motor.

**2) Saídas Desejáveis:**

- Sinal digital da rotação do motor.

**3) Entradas Indesejáveis:**

- Baixa rotação do motor;
- Alta temperatura;
- Líquidos (água, óleos lubrificantes, lama, etc);
- Choque físico;
- Impacto.

**4) Saídas Indesejáveis:**

- Contagem errada da rotação do motor;
- Estouro do contador de rotações;
- Não detecção do sinal à baixa rotação.

**c) Ângulo de esterçamento do volante:****1) Entradas Desejáveis:**

- Alimentação regulada;
- Ângulo de esterçamento do volante ( $\pm 720^\circ$ ).

2) Saídas Desejáveis:

- Sinal analógico condicionado (tensão).

3) Entradas Indesejáveis:

- Alta temperatura;
- Ângulo de esterçamento maior que  $720^\circ$ ;
- Escorregamento do volante.

4) Saídas Indesejáveis:

- Sinal não condicionado;

**d) Posição angular do pedal do acelerador:**

1) Entradas Desejáveis:

- Alimentação regulada;
- Deslocamento angular do pedal inferior a  $90^\circ$ ;

2) Saídas Desejáveis:

- sinal analógico condicionado (tensão).

3) Entradas Indesejáveis:

- Alta temperatura;
- Deslocamento angular maior que  $90^\circ$  ;
- Escorregamento do volante.

**4) Saídas Indesejáveis:**

- Sinal não condicionado;

**e) Contador de voltas:**

**1) Entradas Desejáveis:**

- Sinal de contagem de volta.

**2) Saídas Desejáveis:**

- Incremento no contador de voltas.

**3) Entradas Indesejáveis;**

- Não contar a volta;
- Contar mais de uma volta simultaneamente.

**4) Saídas Indesejáveis;**

- Não incremento do contador de voltas;
- Incremento errôneo do contador de voltas;
- Estouro da capacidade do contador de voltas.

**3.1.2. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO, PROCESSAMENTO E ARMAZENAGEM  
DE DADOS:**

1) Entradas Desejáveis:

- Alimentação regulada de energia;
- Sinais condicionados provenientes dos sensores;
- Sinais de comunicação enviados pelo computador.

2) Saídas Desejáveis:

- Correto armazenamento dos dados na memória;
- Transmissão correta das informações para o computador;
- Correta demonstração de uma variável no LCD.

3) Entradas Indesejáveis:

- Alimentação não- regulada de energia;
- Sinais não- condicionados vindos dos sensores;
- Sinais de comandos incorretos enviados pelo computador;
- Sinais de alta freqüência;
- Alta temperatura;
- Choque físico;
- Impacto;
- Vibrações;
- Contato com líquidos (água, óleos, lama, etc).

4) Saídas Indesejáveis:

- Perda de informações ao transmitir dados;
- Erro na comunicação com o computador.

### 3.1.3. CARACTERÍSTICAS DO MICROCOMPUTADOR:

#### 1) Entradas Desejáveis:

- Sinais de comunicação enviados pelo sistema de aquisição, processamento e armazenagem de dados;
- Recebimento dos dados coletados.

#### 2) Saídas Desejáveis:

- Armazenamento dos dados em um arquivo de dados;
- Sinais de comunicação enviados pelo computador;
- Demonstração dos resultados de uma sessão através de gráficos.

#### 3) Entradas Indesejáveis:

- Alta voltagem;
- Sinais de comunicação incorretos recebidos pelo sistema de aquisição;
- Perda de dados durante a transmissão de dados;

#### 4) Saídas Indesejáveis:

- Incorreto armazenamento dos dados em um arquivo;
- Sinais de comunicação incorretos enviados ao sistema de aquisição;
- Incorreta demonstração dos dados.

#### **4. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PROJETO:**

Com base na formulação feita no item anterior, pôde-se identificar e quantificar as grandezas relevantes e os principais parâmetros relacionados no projeto. Assim, gerou-se as especificações técnicas que serão as linhas mestres a serem seguidas no desenvolvimento do projeto.

O projeto será dividido em quatro partes:

- 1) Sistema de sensoriamento;
- 2) Hardware do sistema de aquisição, processamento e armazenagem de dados;
- 3) Software de Aquisição de Dados, Supervisão e Controle (SASC) instalado em 2);
- 4) Software de Apresentação de Resultados (SAR) instalado no computador.

##### **4.1. HARDWARE**

O hardware utilizado para a aquisição de dados deve apresentar as seguintes características:

###### **4.1.1. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS**

- 1) Sete canais de entrada de sinais, sendo que serão medidas as seguintes grandezas:
  - Aceleração lateral;
  - Aceleração longitudinal;

- Rotação do motor;
  - Velocidade do veículo;
  - Ângulo de esterçamento do volante;
  - Posição angular do pedal do acelerador;
  - Contador de voltas;
- 2) Microcontrolador para processamento dos dados;
  - 3) Memória RAM com capacidade de armazenamento superior a 512KBytes para a gravação e armazenagem de dados;
  - 4) Memória ROM com capacidade de 64KBytes para armazenamento do SASC;
  - 5) Conversor Analógico/Digital para amostragem dos sinais;
  - 6) Porta de comunicação com o microcomputador para transmissão de dados, envio e recebimento de sinais de controle;
  - 7) Autonomia de Uso: 30 minutos.

#### 4.1.2. CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS

- 1) Confiabilidade: garantia de funcionamento sob condições normais de uso do carro: vibração, contato com água e óleos, seguindo a recomendação dada pela norma SAE J1938.
- 2) Durabilidade : Resistência a impacto igual a dos componentes básicos do automóvel.

#### 4.1.3. CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS (EXCLUINDO-SE SENSORES)

- 1) Dimensões físicas máxima: 100 x 50 x 30 mm (sistema principal; exclui-se sensores)
- 2) Massa máxima: 300g

#### 4.2. SOFTWARE DE AQUISIÇÃO DE DADOS, SUPERVISÃO E CONTROLE (SASC)

Este software será responsável pelas seguintes operações:

- 1) Calibração dos sensores;
- 2) Setup do sistema;
- 3) Reset do sistema;
- 4) Busca, leitura e gravação dos dados na memória RAM;
- 5) Gerenciamento da transmissão dos dados para o computador;
- 6) Demonstração das variáveis através de um LCD.

#### 4.3. SENSORES

Os sensores devem apresentar as seguintes características, de acordo com as grandezas a serem mensuradas:

##### **Acelerações Lateral e Longitudinal**

Alimentação regulada de 5VDC

Fundo de escala:  $\pm 2$  G.

Largura da banda: de 0 a 10Hz.

Resolução :  $0.2\text{m/s}^2$

Saída do sensor : saída analógica amplificada e filtrada com níveis de tensão situados 0 e + 5V.

### **Rotação do Motor**

Alimentação regulada

Fundo de escala: 15.000 RPM

Resolução : 100 RPM

Saída do sensor: sinal digital, proveniente de um contador com nível de tensão 0 ou 5V, lido em períodos de 1s.

### **Velocidade do Carro**

Alimentação regulada de 5VDC

Fundo de escala: 300 Km/h

Resolução: 5 Km/h

Saída do sensor: sinal digital proveniente de um contador com nível de tensão entre 0 e 5 V, lido em períodos de 1s.

### **Ângulo de Esterçamento do Volante**

Alimentação regulada: 10VDC

Fundo de escala:  $720^\circ$

Largura de banda : 0 a 10Hz

Resolução : 5°

Saída do sensor: Saída analógica amplificada e filtrada com nível de tensão entre 0V e +5V.

#### **Posição Angular do Pedal do Acelerador**

Alimentação regulada: 10VDC

Fundo de escala: 90°

Largura de banda: 0 a 10Hz

Resolução : 10°

Saída do sensor: Saída analógica amplificada e filtrada com nível de tensão entre 0 e 5V.

#### **4.4. SOFTWARE DE APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS (SAR)**

Este programa tem por função apresentar ao usuário, em forma de gráficos, os dados coletados. Ele apresentará os seguintes gráficos:

- 1) Aceleração Lateral x Tempo;
- 2) Aceleração Lateral x Distância;
- 3) Aceleração Longitudinal x Tempo;
- 4) Aceleração Longitudinal x Distância;
- 5) Velocidade x Tempo;
- 6) Velocidade x Distância;

- 7) Rotação do Motor x Tempo;
- 8) Rotação do Motor x Distância;
- 9) Posição do Volante x Tempo;
- 10) Posição do Volante x Distância;
- 11) Posição do Acelerador x Tempo;
- 12) Posição do Acelerador x Distância;

Além dos gráficos supracitados, serão apresentados ao usuário alguns gráficos combinados de grandezas. São eles:

- 1) Aceleração Lateral x Aceleração Longitudinal;
- 2) Aceleração Resultante x Tempo;
- 3) Rotação do Motor e Velocidade x Tempo;
- 4) Rotação do Motor e Velocidade x Distância;
- 5) Rotação do Motor e Aceleração Lateral x Tempo;
- 6) Rotação do Motor e Aceleração Longitudinal x Distância;

## **5. SÍNTESI DE SOLUÇÕES:**

Finalizada a etapa de especificação técnica do projeto, passa-se a geração de soluções que preencham os requisitos de projeto. Nesta fase, a metodologia usada será a construção de uma tabela contendo nas linhas horizontais as funções a serem realizadas pelo sistema. Elas serão identificadas pelas letras minúsculas a, b, c, etc. As colunas da tabela serão preenchidas com as possíveis métodos que cumprem cada função indicada, as quais serão identificadas pelas letras maiúsculas A, B, C, etc.

Tabela 1 : Possíveis soluções para as funções do sistema de aquisição de dados

| Soluções<br>Funções                       | A   | B  | C  | D  |
|---|---|--|--|--|
| a) Alimentar sistema                      | Bateria de 9V                                       | Bateria do carro com tensão regulada                   |  |  |
| b) Medir acelerações                      | Acelerômetro uniaxial com condicionamento de sinais | Acelerômetro uniaxial sem condicionamento de sinais    | Acelerômetro bi- axial com condicionamento de sinais | Acelerômetro bi- axial sem condicionamento de sinais |
| c) Medir posição angular                  | RVDT  | LVDT   | Potenciômetro rotativo                               | Potenciômetro linear                                 |
| d) Medir rotação do motor                 | Enrolamento no cabo da bobina                       | Pick – up magnético no eixo de saída do câmbio         |  |  |
| e) Medir velocidade                       | Efeito Doppler                                      | Pick-up magnético na roda                              | Pick-up óptico                                       |  |
| f) Contar voltas                          | Sistema de rádio                                    | Acionamento de botão pelo operador                     | Cálculo pela distância percorrida                    |  |
| g) Condicionar sinais                     | Condicionamento encapsulado com sensor              | Condicionamento por placas projetadas para cada sensor |  |  |
| h) Amostrar sinais                        | Conversor A/D de 8 bits                             | Conversor A/D de 10 bits                               | Conversor A/D de 12 bits                             |  |
| i) Processar dados coletados e amostrados | Microprocessador de 8 bits                          | Microprocessador de 16 bits                            |  |  |
| j) Armazenar dados processados            | Hard Disk   | SRAM   | DRAM   |  |
| k) Armazenar SASC                         | EPROM   | EEPROM   |  |  |
| l) Transmitir dados                       | Porta Serial  | Porta Paralela   |  |  |
| m) Demonstrar dados em tempo real         | Display de Cristal Líquido (LCD)                    |  |  |  |

A tabela anterior auxiliará na geração de possíveis soluções para o sistema, uma vez que cada particular solução pode ser formada como uma combinação da função indicada e do método que realiza tal função. Com isso, as soluções podem ser representadas de uma maneira compacta do tipo  $aA+bB+\dots+lA$ .

## 6. POSSÍVEIS SOLUÇÕES

Antes de dar início a geração de soluções para o sistema, algumas considerações devem ser levantadas. Dada a quantidade de soluções possíveis, deve-se analisar alguns parâmetros com a finalidade de limitar o número de soluções que atendem as especificações.

Os parâmetros a serem analisados são o microprocessador e o conversor A/D. Ambos os componentes relacionam-se com a precisão numérica do sistema. Para tanto, levantaram-se as tabelas abaixo:

Tabela 2 : Resolução dos conversores A/D

| Conversor A/D |      |                 |             |          |                     |                   |       |
|---------------|------|-----------------|-------------|----------|---------------------|-------------------|-------|
| RESOLUÇÃO     | BITS | Ac. Lateral (G) | Ac. Long(G) | Vel(m/s) | Esterçamento(graus) | Pos. Ang. (graus) | RPM   |
|               | 8    | 0,0156          | 0,0156      | 0,3320   | 0,7031              | 0,2734            | 58,59 |
|               | 10   | 0,0039          | 0,0039      | 0,0830   | 0,1758              | 0,0684            | 14,65 |
|               | 12   | 0,0010          | 0,0010      | 0,0208   | 0,0439              | 0,0171            | 3,662 |

Tabela 3: Precisão numérica do sistema

| Microprocessador |      |                 |              |          |                     |                  |      |
|------------------|------|-----------------|--------------|----------|---------------------|------------------|------|
| PRECISÃO         | BITS | Ac. Lateral (G) | Ac. Long (G) | Vel(m/s) | Esterçamento(graus) | Pos. Ang.(graus) | RPM  |
|                  | 8    | 0,0156          | 0,0156       | 0,3320   | 0,7031              | 0,2734           | 58,6 |
|                  | 16   | 0,0001          | 0,0001       | 0,0013   | 0,0027              | 0,0011           | 0,2  |

A tabela do conversor A/D foi construída dividindo-se o fundo de escala de cada grandeza a ser medida por  $2^{\text{BITS}}$ , onde BITS indica a resolução do conversor A/D. Confrontando as resoluções obtidas pela divisão com as da especificação do projeto, percebe-se que um conversor A/D de 8 bits de resolução cumpre os requisitos de projeto com segurança, sendo por este motivo o escolhido para o sistema.

Metodologia análoga foi empregada ao microprocessador. Dividiu-se o fundo de escala da grandeza a ser medida por  $2^{\text{BITS}}$ , onde BITS é a precisão numérica do microprocessador. Conclui-se da tabela que um microprocessador de 8 bits preenche as especificações do projeto, uma vez que a precisão numérica é superior a dos requisitos necessários para o funcionamento adequado do sistema.

Feitas as considerações supracitadas, parte-se para a geração das possíveis soluções do projeto. Estas serão apresentadas de maneira compacta, conforme explicado no item 4.

## 6.1. SOLUÇÃO A

A solução A é formada pela seguinte configuração:

$$aB + bC + cC + dA + eB + fB + gB + hA + iA + jB + kB + lA + mA$$

Nesta solução, a alimentação do sistema será feita utilizando a bateria do carro devidamente regulada por um conversor DC/DC que reduzirá a tensão de 12V para 5V. A vantagem desta alternativa consiste no fato de se minimizar o risco de falta de energia de alimentação do sistema. A principal desvantagem deste sistema consiste na dificuldade de manuseio. Para se carregar os dados para o computador, é preciso acoplar um notebook ao sistema, sem retirá-lo do carro e sem desligá-lo da bateria.

As acelerações serão medidas utilizando-se um acelerômetro bi- axial que tem com saída um sinal digital para cada eixo de medição da aceleração (longitudinal e lateral). As vantagens deste tipo de acelerômetro são as suas pequenas dimensões físicas e sua precisão.

As medidas angulares (ângulo de esterçamento do volante do carro e posição angular do pedal do acelerador) serão realizadas por potenciômetros híbridos sendo que para o ângulo de esterçamento do volante será um potenciômetro de 5 voltas para a posição angular do pedal do acelerador será um de 1 volta .

A rotação do motor será levantada utilizando-se um circuito composto por um enrolamento no cabo da bobina de ignição do carro e um circuito para condicionamento deste sinal. Este circuito será ligado a um contador que medirá a rotação em RPM.

A velocidade do veículo será medida através de um pickup magnético instalado na roda do carro. Este pickup gera pulsos a cada passagem de um gatilho feito de

material ferroso instalado na roda do veículo, determinando a rotação desta em RPM. Com isso, é possível medir a velocidade do carro sabendo a rotação por minuto da roda e o perímetro do pneu.

Para contar as voltas, será utilizado um botão acoplado ao volante do carro, acionado pelo operador do sistema a cada passagem pelo ponto inicial do circuito.

A amostragem dos sinais será realizada pelo conversor A/D de 8 bits e o processamento dos dados amostrados será feito por um microcontrolador de 8 bits. A armazenagem dos dados será feita em uma Static RAM (SRAM) de capacidade de 1Mbyte enquanto a armazenagem do SASC será feita em uma EEPROM de 64Kbytes. A comunicação com o microcomputador será feita por uma porta serial.

O valor econômico desta solução encontra-se abaixo. Os valores apresentados estão em dólares, uma vez que alguns dos componentes utilizados nesta solução são importados.

Tabela 4: Valor econômico da Solução A

| Componentes   | Quantidade | Preço (US\$)  |
|---|------------|---------------|
| Conversor DC-DC   | 1          | 20,00         |
| Acelerômetro  | 1          | 70,00         |
| Potenciômetros  | 2          | 30,00         |
| Rotação do motor (Circuito da Bobina + circuito de condicionamento do sinal)                            | 1          | 15,00         |
| Pick –up Magnético  | 1          | 40,00         |
| Botão para contagem de voltas   | 1          | 2,00          |
| Microcontrolador de 8 bits  | 1          | 20,00         |
| Memória SRAM  | 1          | 15,00         |
| Memória EEPROM  | 1          | 10,00         |
| Display de Cristal Líquido (LCD)  | 1          | 30,00         |
| Componentes para montagem de circuitos (resistores, capacitores, diodos, cabos, soldas de estanho, etc) |            | 70,00         |
| Placas impressas para montagem de circuitos   | 3          | 150,00        |
| Mão de obra   |            | 100,00        |
| <b>TOTAL</b>  | <b>12</b>  | <b>572,00</b> |

## 6.2. SOLUÇÃO B

A solução B é dada pela seguinte combinação:

$$aA + bD + cD + dB + eC + fC + gA + hA + iA + jC + kA + lA + mA$$

A alimentação do sistema é feita por baterias portáteis de 9V, eliminando-se a necessidade de um conversor DC-DC. A vantagem desta alternativa consiste na sua facilidade de manuseio, já que a alimentação feita desta forma é independente da alimentação da bateria do veículo, permitindo que o sistema seja retirado do carro e levado até um computador para que os dados coletados sejam descarregados.

As acelerações são medidas por dois acelerômetros uniaxiais com condicionamento de sinal. Apesar de apresentar precisão equivalente ao acelerômetro da Solução A, esta alternativa para medir as acelerações apresenta as desvantagens de ser dimensionalmente maior que a da Solução A e apresentar um número de componentes e acessórios maior, aumentando o custo do sistema e o risco de falha e quebra.

As medidas angulares são feitas por potenciômetros lineares. Eles apresentam o mesmo princípio de funcionamento dos potenciômetros rotativos e mesma precisão. A diferença básica entre os sistemas de potenciômetros rotativos para o de potenciômetros lineares consiste que para este último, é necessário uma calibração diferente da que é feita para o primeiro.

A rotação do motor é medida por um pickup magnético instalado na caixa de câmbio. A rotação é determinada pela passagem dos dentes da engrenagem pelo sensor. Com isso, é possível determinar a rotação do motor com grande precisão. As

desvantagens desta opção são a dificuldade de montagem e de manutenção devido o difícil acesso a caixa de câmbio.

A velocidade é medida de forma análoga a Solução A, porém utilizando um pickup óptico. A precisão desta opção é a mesma quando comparada a citada na solução anterior, mas desvantagem se dá pela região do carro onde se dá a montagem do sensor óptico: a roda. Esta região está sujeita a diferentes tipos de impactos como pedras e buracos e em contato direto com lama. Quando comparado com um sensor magnético, o sensor óptico apresenta-se muito menos resistente a impactos sendo mais facilmente danificado se porventura algum objeto se choque contra ele. Além disso, o sensor óptico gera um sinal elétrico quando é excitado por um alvo. O contato com a lama pode ocultar este alvo, evitando assim que o sensor gere sinais para a contagem da rotação da roda.

A contagem de voltas é feita através de cálculos simples. Sabendo o comprimento do circuito e o perímetro da roda do carro, é possível calcular a distância total percorrida pelo veículo, e com isso calcular o número de voltas.

A amostragem dos sinais será realizada pelo conversor A/D de 8 bits e o processamento dos dados amostrados será feito por um microcontrolador de 8 bits. O armazenamento de dados é realizado em uma DRAM (Dynamic RAM) e a armazenagem do SASC é feita em uma EPROM. A comunicação do sistema de aquisição, processamento e armazenagem de dados com o computador é feita por meio de porta serial.

O valor econômico desta solução é apresentada na tabela abaixo:

Tabela 5: Valor econômico da Solução B

| Componentes   | Quantidade | Preço (US\$)  |
|---|------------|---------------|
| Bateria recarregável de 9V  | 2          | 10,00         |
| Acelerômetro  | 2          | 120,00        |
| Potenciômetro   | 2          | 40,00         |
| Pick – up magnético para rotação do motor   | 1          | 30,00         |
| Pick –up óptico   | 1          | 50,00         |
| Microcontrolador de 8 bits  | 1          | 20,00         |
| Memória DRAM  | 1          | 20,00         |
| Display de Cristal Líquido (LCD)  | 1          | 30,00         |
| Memória EEPROM  | 1          | 10,00         |
| Componentes para montagem de circuitos (resistores, capacitores, diodos, cabos, soldas de estanho, etc) |            | 70,00         |
| Placas impressas para montagem de circuitos   | 3          | 150,00        |
| Mão de obra   |            | 100,00        |
| <b>TOTAL</b>  | <b>14</b>  | <b>650,00</b> |

### 6.3. SOLUÇÃO C

A solução C é a seguinte:

$$aB + bB + cC + dB + eC + fC + gA + hA + iA + jB + kA + lB + mA$$

Conforme pode ser notado, a alimentação do sistema é feita regulando a tensão da bateria com um conversor DC-DC que reduz a tensão da bateria de 12V para 5V. Este sistema apesar de eficiente, apresenta a dificuldade de manuseio, conforme descrito na Solução A.

As acelerações são medidas por acelerômetros uniaxiais cuja saída deve ser condicionada por circuitos externos aos equipamentos. Apesar do menor custo deste tipo de acelerômetro, esta alternativa de medição de acelerações apresenta as desvantagens utilizar muitos componentes eletrônicos para os circuitos de condicionamento de sinais, menor exatidão, menor resistência mecânica, maior dificuldade na montagem e calibração e maior probabilidade de quebra devido ao maior número de partes envolvidas.

As medições angulares são feitas por potenciômetros rotativos, sendo o potenciômetro responsável pela medição do ângulo de esterçamento do volante é um potenciômetro híbrido de 5 voltas e o potenciômetro que medirá a posição angular do pedal do acelerador é um potenciômetro de fio de 1 volta.

A rotação do motor é medida utilizando um sensor magnético de funcionamento análogo ao descrito na Solução B, sendo disparado por um alvo acoplado ao eixo de saída da caixa de câmbio do carro e um circuito auxiliar na barra de troca de marchas. Conhecendo-se a marcha a cada instante, a relação das marchas e o número de rotações na saída da caixa de marchas, é possível determinar com precisão a rotação do motor.

A velocidade será medida por um sensor óptico instalado na roda do carro, de modo análogo ao descrito na Solução B.

O cálculo do número de voltas é feito de maneira similar a da Solução B, através do cálculo da distância total percorrida pelo carro.

A amostragem dos sinais será realizada pelo conversor A/D de 8 bits e o processamento dos dados amostrados será feito por um microcontrolador de 8 bits. A armazenagem dos dados amostrados é feita em uma SRAM de 1 Mbyte de capacidade enquanto o armazenamento do SASC é feito em uma EPROM. A comunicação do sistema de aquisição de dados com o computador é feita por meio de uma porta paralela.

O valor econômico desta solução é apresentada na tabela a seguir:

Tabela 6: Valor econômico da Solução C

| Componentes   | Quantidade | Preço (US\$)  |
|---|------------|---------------|
| Conversor DC-DC   | 1          | 10,00         |
| Acelerômetro  | 2          | 100,00        |
| Potenciômetro   | 2          | 40,00         |
| Pick – up magnético para rotação do motor   | 1          | 30,00         |
| Pick – up óptico  | 1          | 50,00         |
| Microcontrolador de 8 bits  | 1          | 20,00         |
| Memória SRAM  | 1          | 15,00         |
| Memória EPROM   | 1          | 10,00         |
| Display de Cristal Líquido (LCD)  | 1          | 30,00         |
| Componentes para montagem de circuitos (resistores, capacitores, diodos, cabos, soldas de estanho, etc) |            | 90,00         |
| Placas impressas para montagem de circuitos   | 3          | 150,00        |
| Mão de obra   |            | 100,00        |
| <b>TOTAL</b>  | <b>14</b>  | <b>745,00</b> |

#### 6.4. SOLUÇÃO D

A solução D caracteriza-se pela combinação de mais de um método para realizar uma determinada função. A combinação abaixo representa esta solução:

$$a(A+B) + bC + cC + dA + eB + f(B+C) + gB + hA + iA + jB + kB + lA + mA$$

A alimentação do sistema nesta solução se dá de forma híbrida. Quando o sistema está gravando dados, a alimentação é feita pela bateria do carro, sendo esta tensão regulada por um conversor DC-DC que reduz a tensão de 12V para 5V. Ao fazer o “upload” dos dados gravados para o computador a fim de serem apresentados em forma de gráficos, o sistema é alimentada por uma bateria recarregável de 9V. Este sistema apresenta a facilidade de manuseio e a minimização de perda de dados por corte do fornecimento de energia para o sistema.

As acelerações longitudinal e lateral são medidas por um acelerômetro bi-axial que apresenta uma saída digital para cada direção de aceleração medida, análoga a Solução A.

As medidas angulares serão feitas por potenciômetros. Um potenciômetro híbrido de 5 voltas será o responsável pela medição do ângulo de esterçamento do volante e um potenciômetro de fio de 1 volta medirá a posição angular do pedal do acelerador.

A determinação da rotação do motor será feita de forma similar a da Solução A. Um circuito composto por um enrolamento no cabo da bobina de ignição do carro e um circuito para condicionamento deste sinal realizará esta função.

A velocidade do veículo será aferida através de um pickup magnético instalado na roda do carro. Este pickup gera pulsos elétricos como saída que são condicionados

para que possam ser processados pelo microcontrolador e gravados na memória do sistema.

Para contar as voltas será utilizado um botão acoplado ao volante do carro, acionado pelo operador do sistema. A cada acionamento, é gravado um pulso em um contador, incrementando-o. Esta contagem total será posteriormente passada para o computador para a determinação do número total de voltas dada pelo carro. Para verificar o número total de voltas, usar-se-á o sistema adotado nas soluções B e C, onde o número de voltas é calculado pela distância percorrida total dividida pela distância do circuito. Comparando estes dois valores, é possível saber se o operador acionou corretamente o botão de contagem de voltas.

A amostragem dos sinais será realizada pelo conversor A/D de 8 bits e o processamento dos dados amostrados será feito por um microcontrolador de 8 bits. A armazenagem dos dados será feita em uma Static RAM (SRAM) de capacidade de 1Mbyte enquanto a armazenagem do SASC será feita em uma EEPROM de 64Kbytes. A comunicação com o microcomputador será feita por uma porta serial.

O valor econômico desta solução é apresentado a seguir:

Tabela 7: Valor econômico da Solução D

| Componentes   | Quantidade | Preço (US\$)  |
|---|------------|---------------|
| Conversor DC-DC   | 1          | 20,00         |
| Bateria recarregável de 9V  | 1          | 5,00          |
| Acelerômetro biaxial  | 1          | 70,00         |
| Potenciômetros  | 2          | 30,00         |
| Rotação do motor (Circuito da Bobina + circuito de condicionamento do sinal)                            | 1          | 15,00         |
| Pick ~up Magnético  | 1          | 40,00         |
| Botão para contagem de voltas   | 1          | 2,00          |
| Microcontrolador de 8 bits  | 1          | 20,00         |
| Memória SRAM  | 1          | 15,00         |
| Memória EEPROM  | 1          | 10,00         |
| Display de Cristal Líquido (LCD)  | 1          | 30,00         |
| Componentes para montagem de circuitos (resistores, capacitores, diodos, cabos, soldas de estanho, etc) |            | 70,00         |
| Placas impressas para montagem de circuitos   | 3          | 150,00        |
| Mão de obra   |            | 100,00        |
| <b>TOTAL</b>  | <b>12</b>  | <b>577,00</b> |

## 7. ESCOLHA DA MELHOR SOLUÇÃO (MATRIZ DE DECISÃO)

Com as soluções apresentadas no item 5, deve-se escolher a melhor solução para a necessidade. Esta escolha é feita com base em critérios de projeto estabelecidos pelos membros da equipe com base nos dados adquiridos nas fases anteriores do projeto, pelo bom senso e julgamento quando se tratar de atributos que não possam ser quantificadas.

Para uma melhor classificação das alternativas de solução segundo os critérios de projeto lança-se mão da matriz de decisão. A matriz de decisão tem como principal característica explicitar e quantificar os critérios de projeto, promovendo a uniformização dos atributos para todas as alternativas (possíveis soluções). Os critérios de projeto são dispostos nas linhas sendo as entradas da matriz, ao passo que nas colunas são colocadas as várias soluções desenvolvidas (alternativas). Atribuindo-se pesos a cada atributo (critério de projeto) tem-se a importância relativa entre os mesmos. Atribuindo-se notas a cada alternativa proposta tem-se a avaliação relativa entre elas para aquele atributo. A soma destes graus multiplicados pelos seus respectivos pesos fornece valores globais que permitem a classificação e seleção da melhor alternativa que passarão aos próximos ciclos da espiral de projeto.

Utilizando a metodologia descrita, desenvolveu-se a matriz de decisão abaixo:

Tabela 8: Matriz de Decisão

| ATRIBUTOS                           | PESO | SOLUÇÃO A |       | SOLUÇÃO B |       | SOLUÇÃO C |       | SOLUÇÃO D |       |
|-------------------------------------|------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|                                     |      | NOTA      | VALOR | NOTA      | VALOR | NOTA      | VALOR | NOTA      | VALOR |
| Disponibilidade no mercado nacional | 0,15 | 8         | 1,2   | 7         | 1,05  | 7         | 1,05  | 8         | 1,2   |
| Custo                               | 0,25 | 9         | 2,25  | 7         | 1,75  | 7         | 1,75  | 8,5       | 2,125 |
| Precisão                            | 0,2  | 8         | 1,6   | 8         | 1,6   | 8         | 1,6   | 8         | 1,6   |
| Facilidade de implementação         | 0,1  | 7,5       | 0,75  | 6,5       | 0,65  | 6         | 0,6   | 8,5       | 0,85  |
| Facilidade de Manutenção/Uso        | 0,15 | 6         | 0,9   | 6         | 0,9   | 5         | 0,75  | 8         | 1,2   |
| Estabilidade Mecânica               | 0,15 | 7         | 1,05  | 6,5       | 0,975 | 6,5       | 0,975 | 7         | 1,05  |
| TOTAL                               | 1    | 45,5      | 7,75  | 41        | 6,925 | 39,5      | 6,725 | 48        | 8,025 |

Como base nas análises feitas para cada possível solução e na matriz de decisão, conclui-se que a melhor solução para o sistema dentre todas as estudadas é a Solução D.

Estando a Solução D definida como sendo a melhor, parte-se para a próxima fase do projeto, denominada Projeto Básico, onde as principais características desta solução serão completamente definidas.

## 8. PROJETO BÁSICO OU ANTEPROJETO

O Projeto Básico ou Anteprojeto tem por objetivo estabelecer uma concepção geral para o produto a ser desenvolvido, que servirá de diretriz para o projeto executivo e para os últimos ciclos da espiral de projeto. Durante esta etapa do projeto, o produto é representado por modelos que idealizam o produto real e que tem a função de auxiliar na análise de determinado fenômeno ou processo. Serão ainda realizadas análises de sensibilidade, compatibilidade e estabilidade para o produto. Estes conceitos serão definidos oportunamente.

Para facilitar a modelagem do produto como um todo, este foi dividido em sistemas conforme mostrado abaixo:

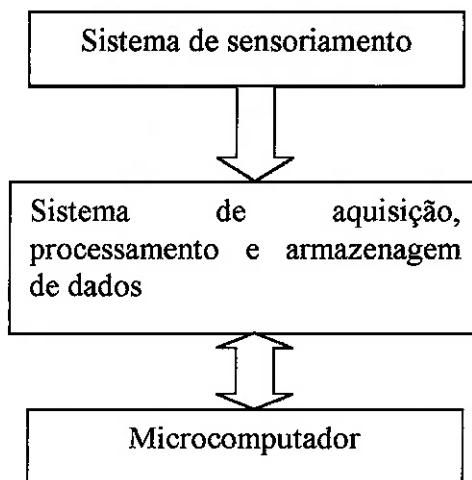


Figura 2 : Sistemas constituintes do produto

Cada sistema pode ainda ser subdividido em subsistemas menores, permitindo a modelagem completa e detalhada de cada sistema que compõe o produto. A adoção

deste procedimento facilitará o trabalho quando forem feitas as análises de sensibilidade, compatibilidade e estabilidade.

### 8.1. UMA DECISÃO PRELIMINAR

Neste ponto do projeto torna-se necessária a seleção do microcontrolador que será utilizado para fazer a aquisição e processamento dos dados coletados. Esta decisão deve-se ao fator de ter- se que conhecer quais serão as interfaces de aquisição de dados para a correta seleção dos sensores, quais os modos de processamento, os circuitos auxiliares necessários, o número de canais disponíveis para a aquisição dos dados e níveis de tensão de operação do sistema, bem como os modos de transmissão de dados via porta serial.

Tomando os fatores supracitados como parâmetros a serem considerados na seleção e sabendo que o microcontrolador deve ser de oito bits com um conversor analógico- digital de oito bits de resolução, conforme análise feita no item 6, o microcontrolador selecionado foi o MC68HC11A1 da Motorola. Este microcontrolador apresenta todas as características de hardware necessárias para cumprir os requisitos de projeto. É um microcontrolador (MCU) de 8 bits fabricado com tecnologia HCMOS que combina dimensões geométricas reduzidas e alta velocidade de processamento com baixo consumo de potência e alta imunidade a ruído. Apresenta as principais funções de interfaceamento com periféricos em um mesmo chip, melhorando a integração do sistema. Apresenta um conversor A/D com oito canais cuja resolução é de oito bits, interface para comunicação serial (SCI) e interfaceamento serial síncrono (SPI) com outros periféricos. Tem ainda um acumulador de pulsos de 8 bits que pode contar

eventos externos e medir períodos entre eventos. O diagrama de blocos do MCU é apresentado abaixo:

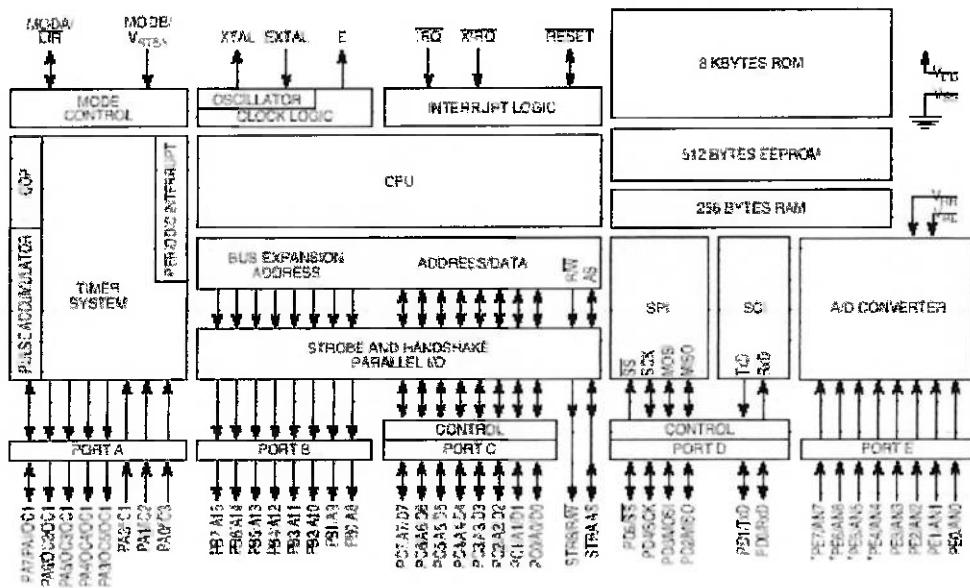


Figura 3: Diagrama de blocos do MCU

Selecionado o MCU, parte-se para o detalhamento dos sistemas que compõem o produto. Será aqui explicado o projeto do hardware necessário para a realização das funções especificadas para o projeto. O projeto dos softwares será documentado no próprio corpo dos programas para facilitar a manutenção e compreensão.

## 8.2. SISTEMA DE SENSORIAMENTO

Este sistema pode ser particionado em seis subsistemas que são constituídos pelos sensores que farão as medições das grandezas físicas de interesse para o projeto e

pelos circuitos auxiliares que se façam necessários. Um modelo representativo do Sistema de Sensoriamento é mostrado:

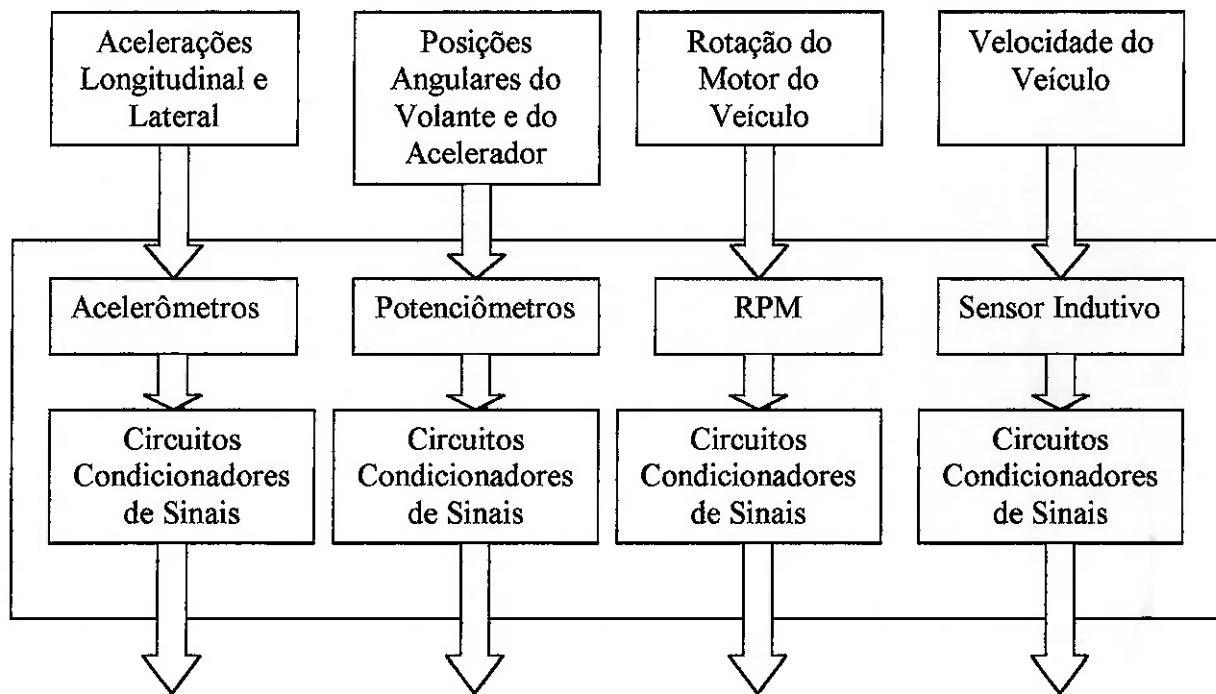


Figura 4: Esquema representativo do sistema de sensoriamento

Com base nas especificações técnicas do projeto, nas características da melhor alternativa escolhida através da matriz de decisão e no esquema acima, parte-se para o detalhamento de cada subsistema de sensores.

#### 8.2.1. SUBSISTEMA DE ACELERAÇÕES

O subsistema de acelerações, como o próprio nome sugere, é responsável pela medição das acelerações longitudinal e lateral do veículo. O primeiro passo para o

projeto deste subsistema é a seleção de um acelerômetro adequado que preencha as especificações técnicas do projeto.

#### 8.2.1.1. ESTUDO, MODELAGEM E PROJETO DO SUBSISTEMA DE ACELERAÇÕES:

Após analisar as características de diversos acelerômetros de vários fabricantes, a disponibilidade do componente no mercado nacional e os custos relacionados a aquisição do mesmo, foi selecionado o acelerômetro ADXL202 da ANALOG DEVICES. Este é um acelerômetro biaxial que apresenta três propriedades importantes além das que preenchem os requisitos de projeto: o baixo custo, as dimensões geométricas reduzidas e operação usando fonte de alimentação simples. Demais características técnicas estão disponíveis no data sheet do componente em anexo.

Utilizar-se-ão as saídas analógicas do acelerômetro (pinos  $X_{FILT}$  e  $Y_{FILT}$ ), apesar deste componente ter sido inicialmente projetado para utilização com suas saídas digitais. Esta decisão deve-se ao fato da limitação do número de contadores de pulsos do microcontrolador MC68HC11A1, que apresenta apenas um contador. Porém, o uso das saídas analógicas do acelerômetro não causam prejuízo para a precisão do sistema, sendo apenas necessária a montagem de um circuito eletrônico auxiliar (circuito amplificador não inversor) nas saídas do componente. A saída quando as acelerações são nulas é de 2,5V em cada canal.

A alimentação do sistema será feita pela fonte externa de +12V, sendo a tensão reduzida para +5V (tensão de operação do acelerômetro) por um regulador de tensão LM340-5.

O esquema do circuito do acelerômetro é mostrado a seguir:

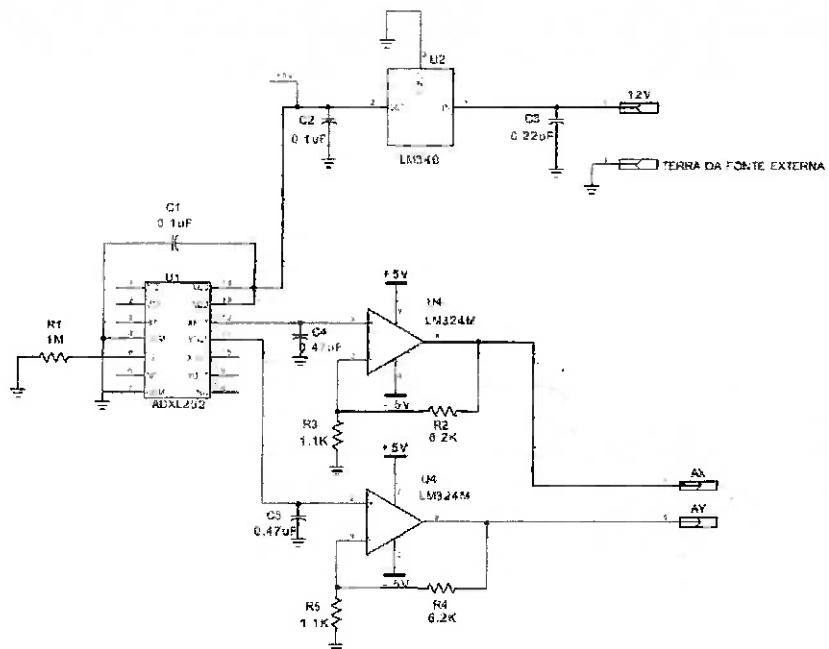


Figura 5: Esquema do circuito do acelerômetro

A pinagem do acelerômetro e as conexões feitas são detalhadamente descritas nos data - sheets dos componentes. Porém, são necessárias algumas explicações sobre a escolha de determinados componentes: a primeira explicaçāo refere-se à escolha do resistor  $R_{SET}$  e a segunda é relativa aos circuitos amplificadores conectados às saídas analógicas (pino  $X_{FILT}$  para a aceleração longitudinal e pino  $Y_{FILT}$  para a aceleração lateral).

A seleção do resistor  $R_{SET} = 1M\Omega$  deve-se ao fato que este componente deve cumprir os seguintes requisitos ao se utilizar as saídas analógicas:

$$500K\Omega < R_{SET} < 2M\Omega$$

$$\text{Largura de Banda (BW)} = 0.1/T_2$$

onde  $T_2 = R_{SET}/125M\Omega$ .

Os circuitos amplificadores não inversores ligados às saídas analógicas são necessários para elevar a tensão de saída, uma vez que a sensibilidade do acelerômetro cai de 1V/g para 300mV/g neste modo de operação. O projeto destes circuitos é igual tanto para a aceleração lateral quanto para a longitudinal, sendo o modelo e os detalhes de projeto descritos a seguir.

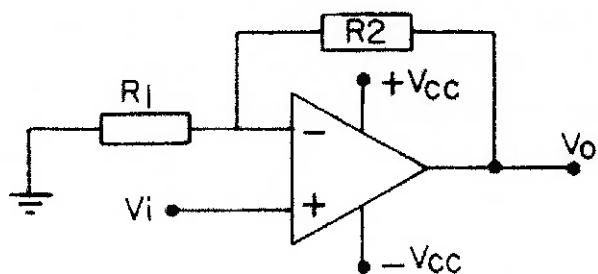


Figura 6: Circuito amplificador não- inversor

O ganho de tensão neste tipo de circuito é dado por:

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (\text{Equação 1})$$

A tensão de saída do acelerômetro neste modo de operação varia de 1,9V a 3,1V, uma vez que a sensibilidade é de 300mV/g, o fundo de escala é de  $\pm 2g$  e o “offset” quando as acelerações são nulas é 2,5V. Logo,  $V_{IN, MAX} = 3,1V$ . Quer-se que a máxima tensão de saída do circuito não- inversor seja de  $V_{OUT, MAX} = \pm 4V$ . Sabe-se que o ganho de um amplificador operacional é dado por  $A = V_{OUT}/V_{IN}$ . Assim,

$$A = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \Rightarrow A = \frac{4}{3,1} = 1,3$$

Substituindo  $A = 1,3$  na equação 1, determina-se a seguinte relação entre os resistores:

$$\frac{R_2}{R_1} = 0,3$$

Assim, seleciona-se  $R_1 = 10\text{K}\Omega$  e  $R_2 = 3\text{K}\Omega$ . Para terminar o projeto deste circuito, basta selecionar o amplificador operacional a ser aplicado. Diversos tipos de AMP-OP são passíveis de utilização, mas o selecionado foi o LM324. A escolha por este componente deveu-se a sua ampla utilização nos mais diversos circuitos eletrônicos, a operação utilizando apenas uma fonte de tensão simples, a variedade de tensões de alimentação e uso típico em aplicações com bateria.

A alimentação dos circuitos amplificadores não-inversores é feita pela fonte de tensão externa de  $+12\text{V}$  reguladas para  $+5\text{V}$  pelo LM340-5.

Segundo as especificações técnicas do projeto, a largura de banda de interesse para as acelerações encontra-se entre 0 e  $10\text{Hz}$ . Outro fator relevante são os ruídos de alta freqüência, que devem ser desconsiderados na abordagem atual. Para preencher os requisitos citados, torna-se necessário o condicionamento dos sinais provenientes do acelerômetro lançado-se mão de circuitos eletrônicos que filtram os sinais. Filtros Butterworth Passa-Baixas de 4 pólos são filtros eletrônicos de projeto simples e que realizam a tarefa de filtragem de sinais. Este filtro elimina sinais cujas freqüências são maiores que a freqüência de corte para a qual foi projetado, condicionando o sinal. O fato do filtro apresentar 4 pólos implica na rejeição de sinais com freqüência maior que a de corte a uma taxa de  $80\text{dB/década}$ . O esquema do circuito do filtro Butterworth é apresentado a seguir:

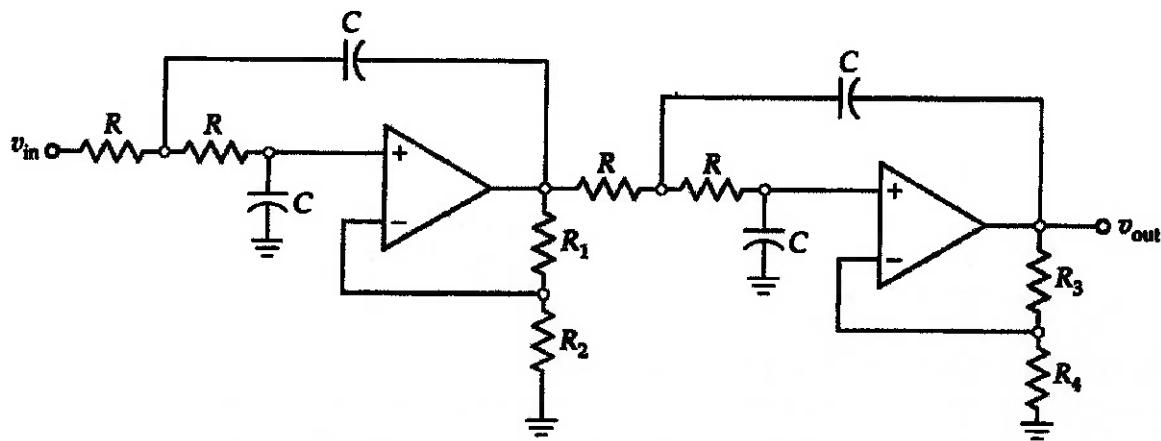


Figura 7: Esquema do circuito do filtro Butterworth

O projeto deste tipo de filtro segue uma tabela onde os ganhos de tensão são padronizados dependendo no número de pólos e estágios do filtro. Para um filtro de 4 pólos, o primeiro estágio do filtro deve apresentar ganho de  $A_1=1,152$  e o segundo estágio,  $A_2=2,235$ . O primeiro e segundo estágios foram representados na figura 6.

O primeiro passo no projeto deste tipo de filtro é a definição da freqüência de corte. A largura de banda (BW - bandwidth) de interesse para as acelerações é de 0 a 10Hz. Consequentemente, a freqüência de corte do filtro será  $f_C=10\text{Hz}$ . No primeiro estágio tem-se:

$$A_1 = 1,152$$

$$A_1 = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

Com as duas informações acima, determina-se uma relação entre  $R_1$  e  $R_2$ .

Assim:

$$R_1 = 0,152R_2$$

$$R_1 = 3\text{K}\Omega$$

$$R_2 = 20\text{K}\Omega$$

O segundo estágio é determinado de forma análoga:

$$A_2 = 2,235$$

$$A_2 = 1 + \frac{R_3}{R_4}$$

onde

$$R_3 = 1,235R_4$$

$$R_3 = 2,7K\Omega$$

$$R_4 = 2,2K\Omega$$

Para o funcionamento eficiente do filtro, é necessário o uso de resistores de 1% de variação no valor da resistência. Os capacitores são determinados pela seguinte relação:

$$f_C = \frac{1}{2\pi RC} \Rightarrow 10 = \frac{1}{2\pi RC} \Rightarrow RC = 1,59 \cdot 10^{-2}$$

Adotando o valor de  $C = 0,1\mu\text{F}$ , tem-se que  $R = 159K\Omega$  (1%). Como o valor de resistência comercialmente disponível mais próximo é de  $R = 160K\Omega$  (1%), a freqüência de corte é  $f_C = 9,95\text{Hz}$ .

Deve-se notar que a alimentação do filtro é de +12V, diferente da alimentação do circuito do acelerômetro. Este fato será justificado mais adiante.

Assim, finaliza-se a primeira etapa do projeto básico do subsistema de acelerações. Com o circuito dos acelerômetros e com o filtro projetados, é possível iniciar as análises de sensibilidade e compatibilidade para o subsistema.

### 8.2.1.2. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A principais funções da análise de sensibilidade são propiciar um conhecimento mais aprofundado do produto ou de um sistema que compõe o produto, verificar a adequabilidade das especificações adotadas e avaliar quantitativamente o desempenho do produto.

No caso do subsistema de acelerações , a análise de sensibilidade pode ser feita para cada componente dos circuitos analisando os data- sheets. Estes documentos contém todas as informações necessárias sobre os CIs, as faixas de valores de operação recomendadas para cada parâmetro e a influência que as entradas tem nas saídas.

### 8.2.1.3. ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE

Qualquer produto é composto por sistemas que, em conjunto, trabalham e interagem entre si para a realização de uma determinada tarefa. A compatibilidade tanto funcional como geométrica é fundamental para o sucesso da operação.

O objetivo da análise de compatibilidade é definir faixas de valores para determinados parâmetros de forma que assegurar a compatibilidade funcional e dimensional dos diversos sistemas. A compatibilidade funcional consiste em analisar qual será a saída de um sistema dependo da entrada proveniente de outro sistema e garantir que os valores dos parâmetros de entrada e saída interajam corretamente. Já a compatibilidade física deve garantir que os diversos sistemas do produto sejam montados em um arranjo físico otimizado.

O subsistema de acelerações pode ser representado pelo diagrama de blocos da figura 7. Ele auxiliará na análise de compatibilidade deste subsistema.

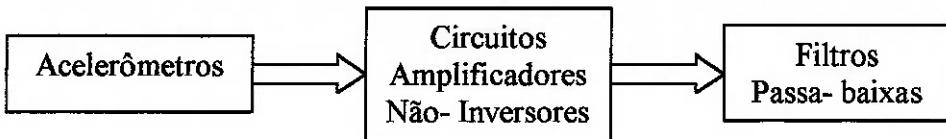


Figura 8: Diagrama de blocos do subsistema de acelerações

Pelo diagrama da figura 8, vê-se que a saída dos acelerômetros são entradas para os circuitos amplificadores. Conforme citado no item 8.2.1.1, a máxima tensão de saída do acelerômetro, ou seja, entrada do circuito amplificador, é de  $V_{IN,MAX} = 3,1V$  e a saída do circuito amplificador é de  $V_{OUT,MAX} = 4V$ . Este fato é importante para a escolha da tensão de alimentação dos circuitos amplificadores, sendo que esta deve ser maior que 4V para evitar a saturação dos amp-op. A utilização de 5V de alimentação evita este problema e coloca ainda uma margem de segurança para a operação. A definição que a máxima tensão de saída será de 4V também tem influência sobre o projeto dos filtros, como será explicado adiante.

Analogamente, as saídas dos circuitos amplificadores servem de entrada para os filtros. A máxima tensão de entrada nos filtros é, portanto, de 4V. Sabendo que no primeiro estágio do filtro (ver figura 7) o ganho de tensão é  $A_1 = 1,152$ , a saída máxima do primeiro estágio será de  $V_{OUT,1} = 4,6V$ . Esta saída do primeiro estágio alimenta o segundo estágio que apresenta ganho  $A_2 = 2,235$  e máxima saída  $V_{OUT,2} = 10,3V$ . Novamente deve-se observar a tensão de alimentação, sendo que neste caso ela deve ser maior que 10,3 V para evitar a saturação dos filtros. A adoção de uma alimentação de 12V para os filtros resolve este problema.

A definição que a máxima tensão de entrada dos filtros seria de 4V não foi feita de modo aleatório. Sabendo que a fonte externa é de 12V, era necessária que a tensão de saída do filtro não excedesse os 11V, para evitar a saturação dos amp-ops. Conhecendo

os ganhos dos dois estágios dos filtros, foi possível determinar que a máxima tensão de entrada, e consequentemente a máxima tensão de saída dos acelerômetros, deveria ser de 4V. Quaisquer valores de tensão que ultrapassassem este valor saturariam os filtros o que acarretaria em medições erradas.

Uma ressalva quanto as correntes que circulam nos circuitos deve ser feita neste ponto: a intensidade das correntes elétricas que percorrem os componentes é baixa, da ordem de miliamperes. Portanto, somente em casos que se façam necessárias análises mais cuidadosas quanto a potência requerida pelo sistema, é que deve-se preocupar com a intensidade das correntes.

### 8.2.2. SUBSISTEMA DE POSIÇÕES ANGULARES

Este subsistema é responsável pela medição da posição angular do pedal do acelerador e do ângulo de esterçamento do volante do veículo. Conforme definido na escolha da melhor solução, os transdutores a serem usados para medir estas duas grandezas são potenciômetros rotativos lineares de  $50\text{K}\Omega$  e 1 volta.

#### 8.2.2.1. ESTUDO, MODELAGEM E PROJETO DO SUBSISTEMA DE POSIÇÕES ANGULARES

Primeiramente, será feita a seleção dos potenciômetros a serem utilizados para realizar as medições. Além das características definidas anteriormente, duas outras são importantes na escolha: a blindagem e o tipo de potenciômetro quanto ao material condutor. Devido ao baixo custo e a disponibilidade no mercado, o escolhido foi um

potenciômetro rotativo linear blindado de  $50\text{K}\Omega \pm 2\%$  feito de fio metálico e 1 volta. A escolha por potenciômetros blindados se fez devido às condições onde estes transdutores irão operar: constante contato com terra, poeira e fluidos. A blindagem minimiza a oxidação da pista condutora do potenciômetro, evitando perdas de sinais. Poder-se-ia utilizar potenciômetros de plásticos condutivos que apresentam resolução infinita, porém o alto custo face a resolução definida para o projeto inviabilizam seu uso.

A alimentação do subsistema será feita com a fonte externa de +12V. Porém, é necessária a utilização de um resistor para reduzir a queda de tensão sobre o potenciômetro para no máximo 4V para evitar a saturação dos filtros, conforme explicado no item 8.2.1.3. O modelo do circuito descrito é mostrado a seguir:

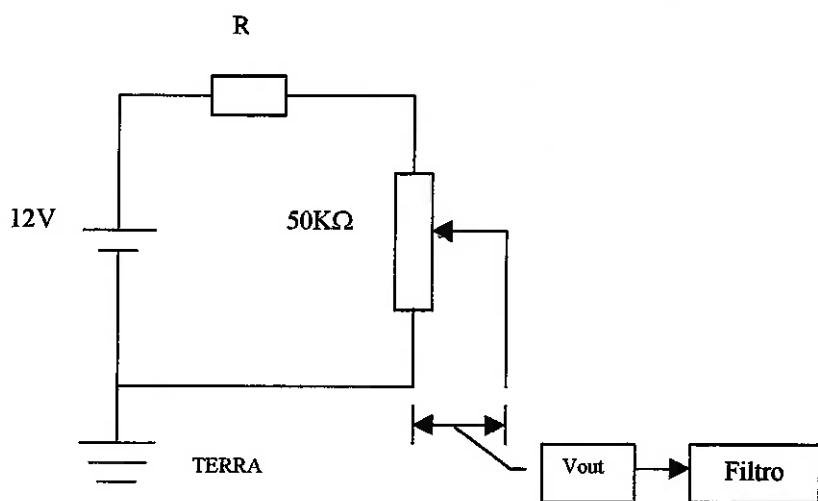


Figura 9: Esquema de montagem do potenciômetro

O cálculo do resistor R para que se tenha a queda de tensão de 4V sobre o potenciômetro é feita usando a Lei de Ohm para circuitos DC aplicada primeiramente sobre o potenciômetro:

$$V = Ri \Rightarrow 4 = 50000 \cdot i \Rightarrow i = 80 \mu A$$

Como o resistor R encontra-se em série com o potenciômetro, a mesma corrente passa pelos dois componentes. A queda de tensão sobre o resistor R é dada pela Segunda Lei de Kirchoff:

$$E = V_{POT} + V_R \Rightarrow 12 = 4 + V_R \Rightarrow V_R = 8V$$

Pela Lei do Ohm, determina-se a resistência R:

$$V = Ri \Rightarrow 8 = R \cdot 80 \mu A \Rightarrow R = 100000 \Omega$$

Com isso, tem-se o circuito auxiliar para o subsistema de posições angulares.

Os filtros utilizados neste subsistema são os mesmos do subsistema de aceleração, sendo que a largura de banda de interesse para as posições angulares é a mesma que a das acelerações.

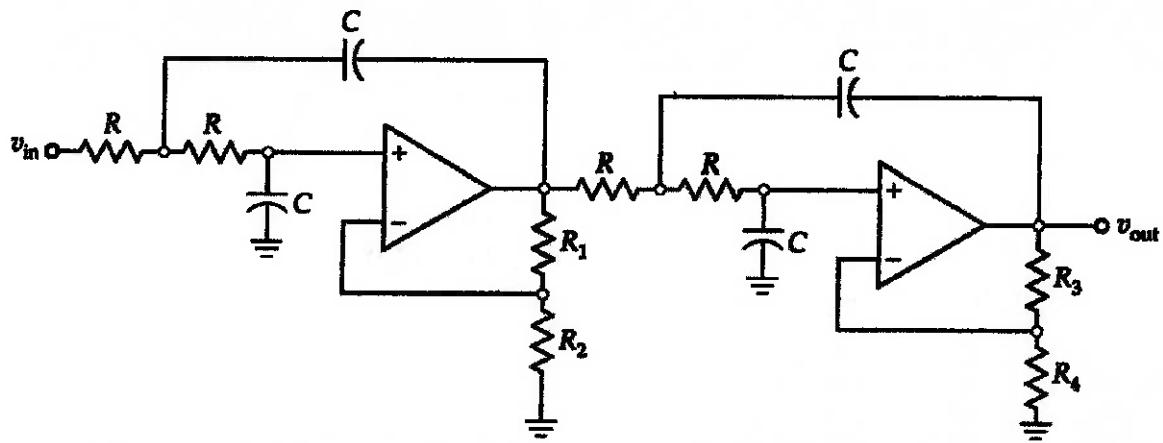


Figura 10: Filtro Butterworth para o subsistema de posições angulares

#### 8.2.2.2. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade para os diversos componentes é feita analisando os catálogos técnicos. Estes informativos trazem as faixas de operação dos parâmetros de cada componente, permitindo ter-se uma avaliação criteriosa das faixas de operação do subsistema como um todo.

#### 8.2.2.3. ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE

De forma análoga ao que ocorreu com os acelerômetros, a máxima tensão de entrada que pode ser fornecida aos filtros é de 4V, a fim de se evitar a saturação dos amp-ops do circuito. Por isso, foi necessária a instalação do resistor  $R=100\text{K}\Omega$  em série com o potenciômetro para reduzir a máxima tensão de entrada. É recomendável que este resistor seja de variação 1% para que a precisão do subsistema não seja comprometida.

A tensão de saída dos filtros é de 10,5V no máximo e a alimentação é de 12V, apresentando uma margem de segurança em caso de variações bruscas na operação.

Vale ressaltar que a potência consumida pelo sistema é na maior parte dissipada em forma de calor no resistor R e no potenciômetro. A potência consumida pelas filtros é mínima, já que os amplificadores operacionais utilizados apresentam alta impedância de entrada, “puxando” corrente da ordem de miliamperes.

### 8.2.3. SUBSISTEMAS DE VELOCIDADE E ROTAÇÃO DO MOTOR

O uso de um sensor indutivo instalado no eixo de saída de um veículo sem caixa de marchas permite a medição destas duas grandezas simultaneamente.

#### 8.2.3.1. ESTUDO, MODELAGEM E PROJETO DOS SUBSISTEMAS DE VELOCIDADE E ROTAÇÃO DO MOTOR

O data sheet do componente apresenta todos os dados necessários para a montagem do sistema, incluindo distância de atuação, faixa de tensão de alimentação e cuidados a se tomar na utilização do dispositivo.

A saída do sensor é uma tensão DC proporcional à alimentação aplicada, sendo que o sinal de saída vai para 0 Volts quando o trigger é detectado.

### 8.3.3.2. ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE

A alimentação do sensor indutivo selecionado, modelo SICK IM-12, deve estar entre 10V e 30 V e a sua saída é proporcional à alimentação aplicada. Devido as fontes utilizadas no projeto, este sensor será alimentado com 12V e consequentemente a saída será de 12V. Isto será um problema para o Sistema de Aquisição, Processamento e Armazenagem de Dados uma vez que este trabalha com tensões em níveis TTL, ou seja, 0 ou 5V idealmente. Para a redução da tensão de saída do sensor indutivo, coloca-se na saída do sensor um divisor de tensão, resolvendo de forma simples o problema de incompatibilidade de tensões.

## 8.3. SISTEMA DE AQUISIÇÃO, PROCESSAMENTO E ARMAZENAGEM DE DADOS

O Sistema de Aquisição, Processamento e Armazenagem de Dados é o segundo sistema componente a ser analisado neste projeto. Assim como o Sistema de Sensoriamento, ele é composto por subsistemas que são representados no diagrama de blocos a seguir:

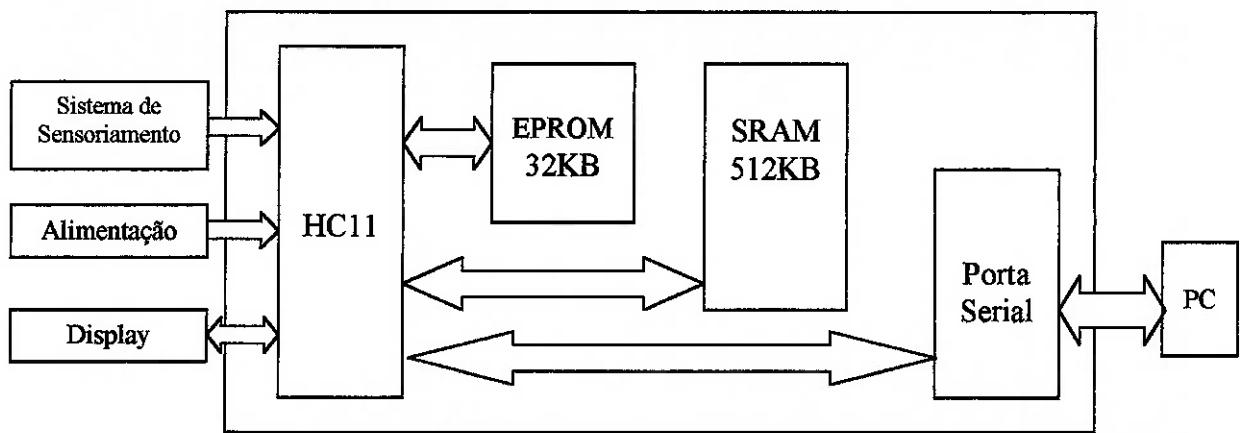


Figura 11: Diagrama de Blocos

Dentro deste sistema podemos identificar alguns subsistemas, a saber:

- Subsistema de Aquisição e Processamento, composto pelo microcontrolador HC11;
- Subsistema de Memória, composto pela EPROM de 32KB e pela SRAM de 512KB;
- Subsistema de Transmissão Serial, constituído pela porta serial.

É interessante também observar as interfaces deste sistema. Ele recebe dados do sistema de sensoriamento e da alimentação. Além destas, o sistema é responsável pelo interfaceamento com o LCD (Display) e com o micro computador usando a porta serial SPI. Estas diversas interfaces e suas relações serão analisadas oportunamente.

### 8.3.1. SUBSISTEMA DE AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO

Este tópico tem por objetivo a familiarização com o microcontrolador MC68HC11A1, previamente escolhido para ser a CPU do Sistema de Aquisição, Processamento e Armazenagem de Dados.

### 8.3.1.1. ESTUDO DO MC68HC11A1

O estudo de todas as características e funções de um microcontrolador é um trabalho extenso e minucioso, que requer uma grande disponibilidade de tempo. Neste ponto do projeto, concentrar-se-á o estudo em alguns pontos fundamentais que auxiliaram na tomada de algumas decisões mais imediatas relativas aos subsistemas de Memória, de Sensoriamento e de Transmissão Serial. As demais informações técnicas estão detalhadamente explicadas no data- sheet do componente.

O primeiro passo para a caracterização dos pontos fundamentais supracitados consiste na identificação e estudo dos pinos do microprocessador e da definição dos modos de operação. O HC11 apresenta-se em 3 diferentes tipos de encapsulamento e pinagem, a saber: PLCC com 52 pinos, DIP com 48 pinos e QFP com 64 pinos. Para a utilização no Sistema de Metria foi escolhido o HC11 PLCC com 52 pinos devido a sua maior disponibilidade no mercado em relação ao QFL de 64 pinos e por apresentar 8 entradas para o conversor A/D. O HC11 DIP com 48 não é adequado para a aplicação porque apresenta apenas 4 entradas para o conversor A/D, o que não satisfaz as especificações de projeto. Abaixo é mostrado o diagrama de blocos representativa do MCU (microcontrolador) escolhido.

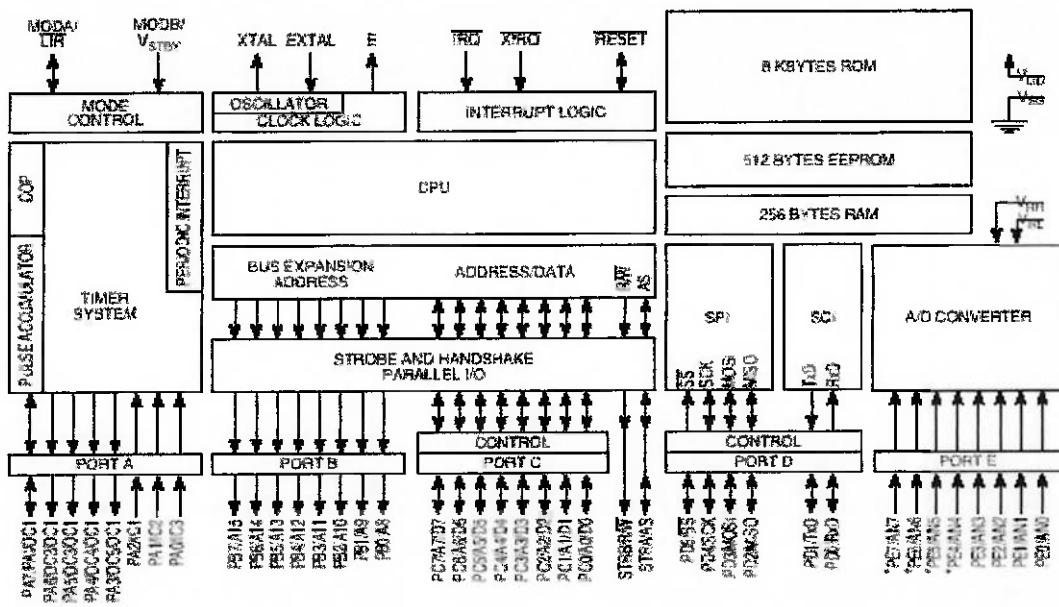


Figura 12: Diagrama de blocos do MCU

O HC11 apresenta quatro diferentes modos de operação: Single Chip, Expanded Multiplexed, Special Bootstrap e Special Test. O modo Expanded Multiplexed tem a capacidade de acessar até 64KB de memória, sendo o barramento composto pelos PORTS B (bits mais significativos) e C (bits menos significativos). Este será o modo de operação utilizado no Sistema de Metria, já que será necessário o endereçamento de 32KB de memória ROM (EPROM) e 512KB de memória SRAM. Cabe perguntar aqui como será feito o endereçamento de 544KB sendo que o MCU só endereça 64KB no máximo. Isso será resolvido utilizando um decodificador de endereços que será explicado com detalhes mais adiante. Além dessa questão, o data-sheet do HC11 recomenda o uso de uma montagem especial quando operando em Expanded Multiplexed Mode, incluindo um latch transparente no barramento de dados/endereços para a multiplexação. Esta montagem é necessária para que se faça o endereçamento de 64KB de forma correta.

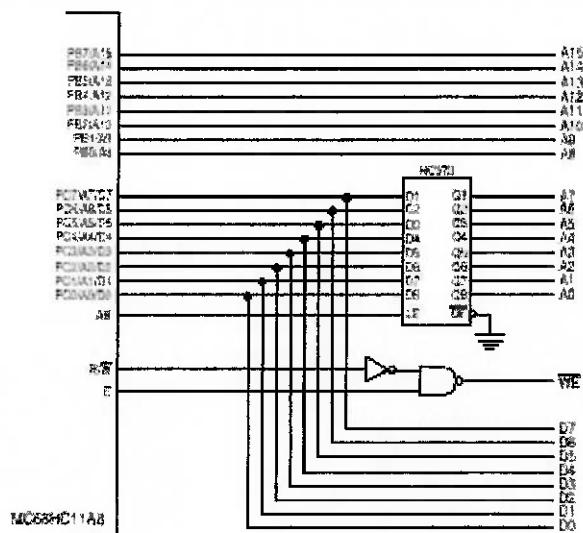


Figura 13: Montagem para a multiplexação da via de dados/endereços

Passa-se agora ao estudo dos pinos, não sendo estudados toda a pinagem. Neste ponto, a análise limitar-se-á os de maior interesse conforme explicado anteriormente sendo os dos ports A, B, C, D e E.

## PORT A

Os pinos que compõem o PORT A apresentam-se na seguinte estrutura: 3 input capture (IC1, IC2, IC3), 4 output compare (OC2, OC3, OC4, OC5) e um pulse accumulator (PAI). As definições de input capture, output compare e pulse accumulator encontram-se detalhadas no data- sheet.

Qualquer pino deste PORT que não esteja desenvolvendo sua função principal pode ser configurado para trabalhar com um pino de entrada (input) ou saída (output),

aumentado a flexibilidade do MCU. Esta propriedade será usada para criar a lógica de decodificação de endereços permitindo o endereçamento de 544KB.

### **PORT B**

No modo expandido, todos os oito pinos do PORT B atuam como sinais de saída, representando os bits mais significativos de endereçamento (MSB).

### **PORT C**

Em modo expandido, os oito pinos do PORT C são configurados de modo multiplexado, agindo como endereço ou dados. Durante o ciclo de endereçamento do MCU, os pinos representam os bits menos significativos do endereço (LSB) e durante o ciclo de dados, os pinos são vias bidirecionais para os sinais de dados. O sentido dos sinais de dados é indicado pelo nível do sinal R/W.

### **PORT D**

Este porte é composto por 5 pinos que podem ser usados para sinais de I/O gerais. Alternativamente, eles servem para a interface de comunicação serial (SCI) e interface serial com periféricos (SPI) quando estes subsistemas estão habilitados.

### **PORT E**

Os oito pinos do PORT E são usados como entradas para o conversor A/D.

Terminado o estudo da pinagem do HC11, parte-se para o estudo do mapa de memória deste MCU, sendo este passo importante para definição do decodificador de endereços a ser utilizado no projeto. Abaixo é mostrado os mapas de memória para os diversos modos de operação. As áreas hachuradas são explicadas à direita da figura e representam regiões que são reservadas pelo MCU, sendo que algumas dessas regiões podem ser realocadas para outras regiões do mapa de memória, usando para isso os registros apropriados. Maiores detalhes encontram-se no data sheet do HC11.

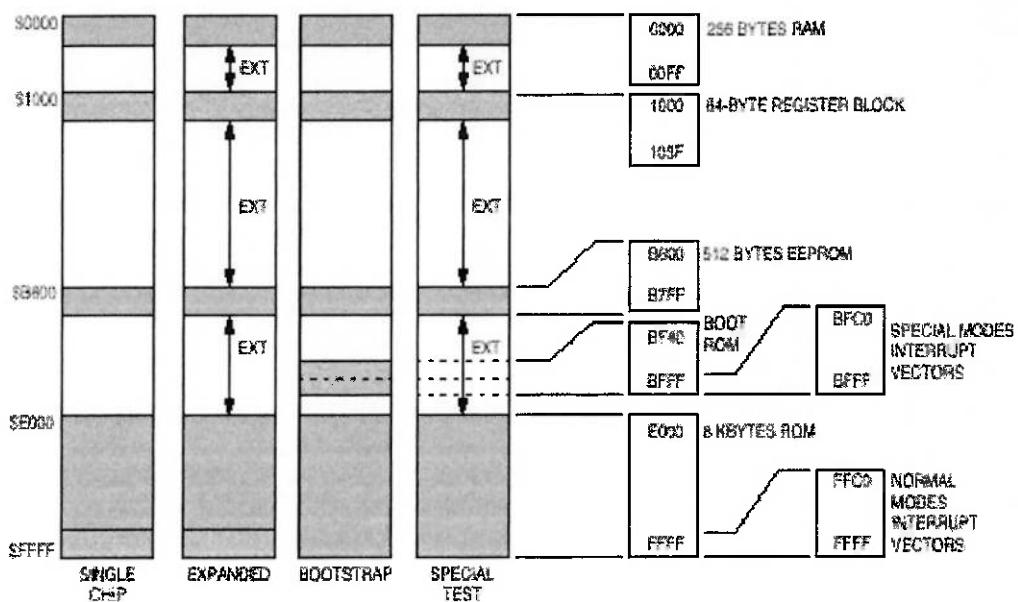
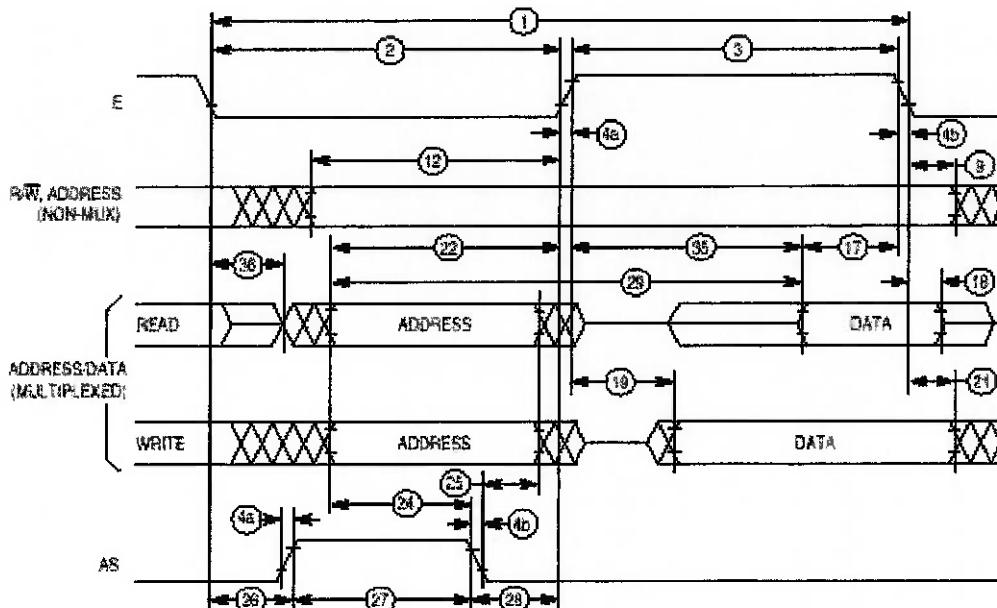


Figura 14: Mapa de Memória

Para o projeto, somente o mapa representativo do modo de operação EXPANDED é de interesse já que será este o modo utilizado no Sistema Aquisição, Processamento e Armazenagem de Dados.

Outro ponto importante a se destacar é o diagrama de tempos do MC68HC11 para o modo multiplexado, porque este será útil na seleção das memórias EPROM e

SRAM usadas, respectivamente, para a armazenagem do programa de controle do sistema e para a armazenagem dos dados. Abaixo é mostrado o supracitado diagrama:



NOTE: Measurement points shown are 20% and 70% of  $V_{DD}$ .

MC68HC11A1

Figura 15: Diagrama de tempos do MC68HC11A1

Com o estudo feito do HC11, é possível passar para a próxima etapa do projeto do Sistema de Aquisição, Processamento e Armazenagem de Dados que é a seleção da EPROM e da SRAM que armazenarão os dados e os programas.

### 8.3.2. SUBSISTEMA DE MEMÓRIA

O subsistema de memória é composto por duas partes: a EPROM de 32KB, responsável pela armazenagem do programa de controle do sistema (SASC) e a SRAM

de 512KB cuja função é armazenar os dados provenientes do Sistema de Sensoriamento.

O projeto deste subsistema segue as seguintes diretrizes:

- Definição dos endereços para a EPROM e para a SRAM;
- Projeto do decodificador de endereços;
- Verificação dos tempos de acesso para a EPROM e para a SRAM.

#### 8.3.2.1. DEFINIÇÃO DOS ENDEREÇOS PARA A EPROM E PARA A SRAM

A definição dos endereços para a EPROM e para a SRAM tem por função identificar a posição inicial onde será iniciada a leitura da EPROM e da SRAM e a escrita no caso da SRAM.

Tomando por base o mapa de memória do HC11 para o modo expandido, toma-se por endereço inicial, tanto para a EPROM quanto para a SRAM, 0000H. O aparente conflito de endereços é solucionado através da introdução de um sistema de decodificação, o qual atua nos pinos de ENABLE tanto da EPROM quanto da SRAM. Este sistema impede que haja conflito de endereços, selecionando o dispositivo adequadamente.

Segundo o mapa de memória do HC11 para o modo expandido, a posição 0000H é reservada para a RAM interna. Além deste problema, é necessária a liberação de 32KB consecutivos do mapa de memória para que se possa mapear os endereços tanto da EPROM quanto da SRAM corretamente e os registros impedem que isso ocorra. A solução para estes dois problemas encontra-se na setagem do registro INIT do HC11. Setando este registro conforme explicado no capítulo 3 do data sheet do HC11, realoca-

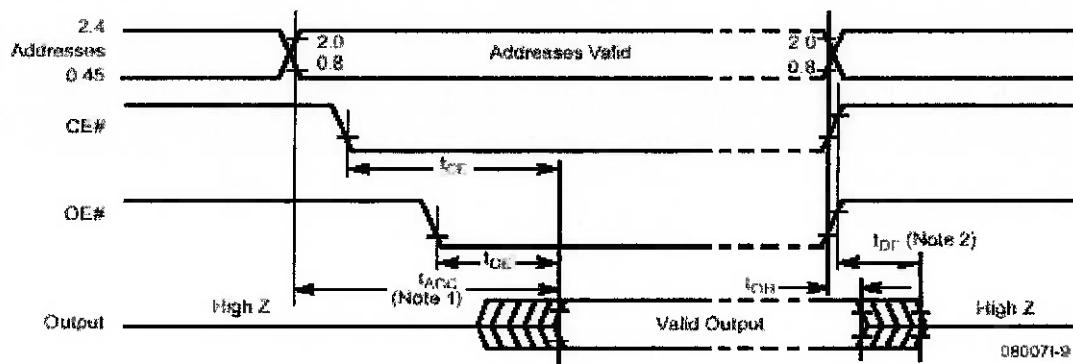
se os primeiros 4KB de memória para outra posição de tal forma a liberar os 32KB necessários para o correto mapeamento das memórias.

### 8.3.2.2. SELEÇÃO DA EPROM

Utilizando a carta de tempo para o modo multiplexado do HC11 e a carta de tempo da EPROM, é possível selecionar uma memória adequada para a aplicação. Os principais tópicos a serem observados para a seleção da EPROM, no ciclo de leitura, são:

- 1) Verificar curto circuito dos dados da memória e endereços na via multiplexada no próprio ciclo de leitura;
- 2) Os dados da memória devem satisfazer os tempos de SETUP e HOLD do MCU;
- 3) Verificação de curto circuito dos dados da memória e endereços na via multiplexada no próximo ciclo de leitura.

Com base nestes tópicos e após analisar EPROM diferentes, a EPROM selecionada foi a AMD27C256 de 32KB (data sheet em anexo). Ela preenche todos os requisitos necessários para o sistema de memória.



**Notes:**

1.  $OE\#$  may be delayed up to  $t_{AD} - t_{OE}$  after the falling edge of the addresses without impact on  $t_{AD}$ .
2.  $t_{OE}$  is specified from  $OE\#$  or 'CE#', whichever occurs first.

Figura 16: Carta de Tempo da EPROM

### 8.3.2.3. SELEÇÃO DA SRAM

A seleção da SRAM é mais complexa que a da EPROM, uma vez que é possível ler e escrever na SRAM. Porém, o procedimento utiliza as cartas de tempo do HC11 e as cartas de tempo, de escrita e leitura, da SRAM. Os tópicos a serem analisados para a verificação dos requisitos de leitura são os mesmos apresentados para a EPROM. Para a escrita na memória, deve-se ler em consideração os tempos de SETUP e HOLD apenas.

A análise das cartas de tempo de diversas SRAM's levou a seleção da SRAM da Hitachi HM628512B de 512KB (data sheet em anexo), cuja carta de tempo é apresentada a seguir:

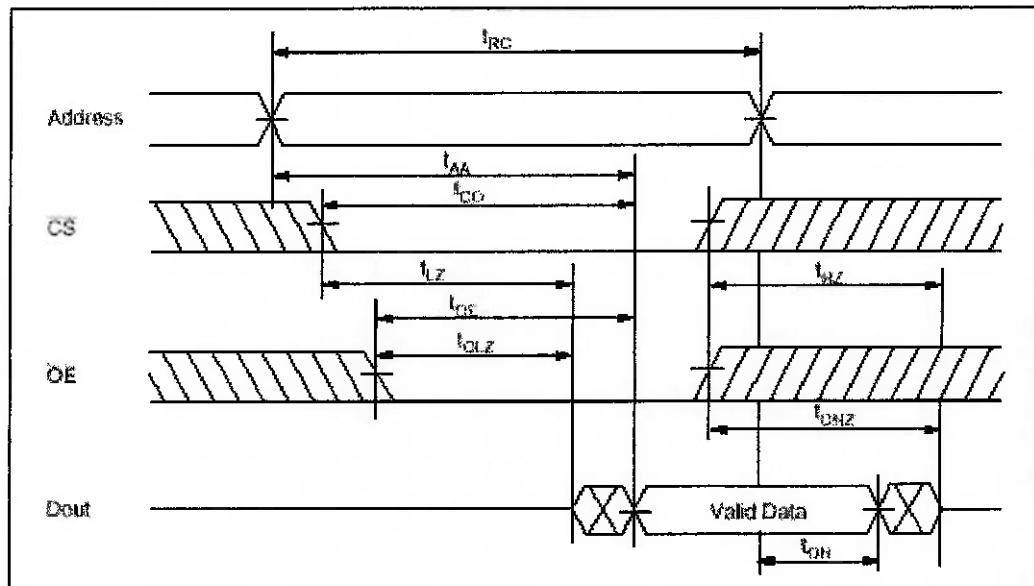
Read Timing Waveform ( $\overline{WE} = V_{DD}$ )

Figura 17: Carta de Tempo da SRAM – Leitura

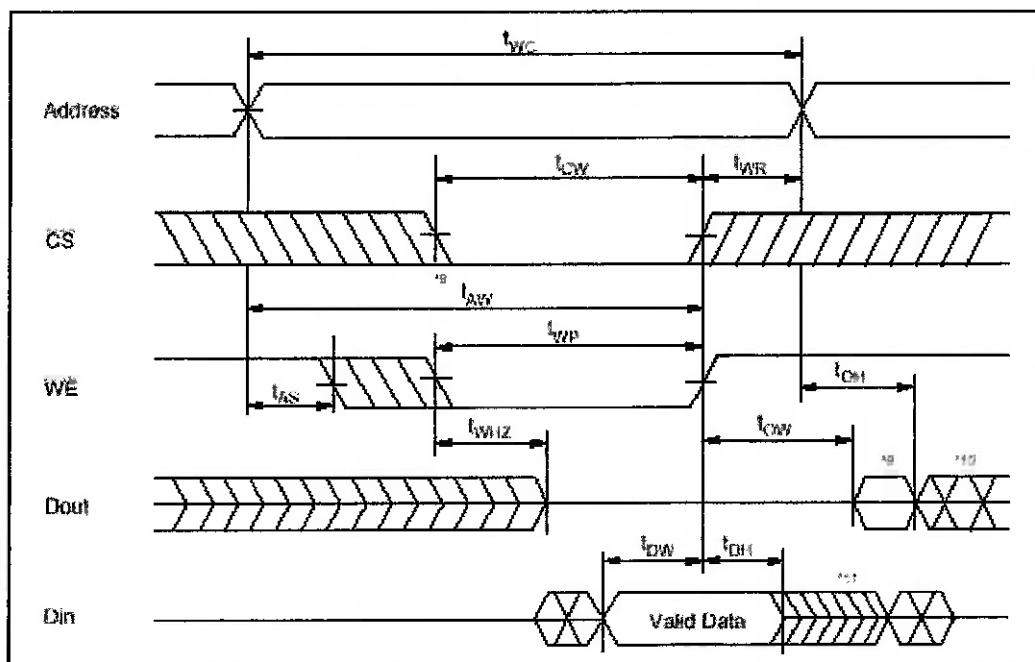
Write Timing Waveform ( $\Omega$ ) ( $\overline{OE}$  Low Fixed)

Figura 18: Carta de Tempo da SRAM – Escrita

### 8.3.2.3. PROJETO DO DECODIFICADOR DE ENDEREÇOS

O MC68HC11A1 é capaz de endereçar, no seu modo expandido de operação, 64KB de memória externa. Porém, para cumprir os requisitos de memória do projeto, é necessário o endereçamento de 512KB da SRAM mais 32KB da EPROM, ou seja, 544KB de memória externa total. Para a solução deste problema, lança-se mão do decodificador de endereços.

O decodificador de endereços tem a função de ampliar a capacidade de endereçamento do microcontrolador, flexibilizando ainda mais as aplicações nas quais este tipo de componente pode ser utilizado. O decodificador aumenta a complexidade tanto de hardware quanto de software do sistema, porém resolve o problema de limitação de endereçamento.

Para o primeiro protótipo do projeto, o decodificador de endereço desenvolvido baseou-se nos pinos do PORT A (PA3 – PA6) que não estavam sendo utilizados até então no projeto. Eles trabalharão em conjunto com os pinos de dados e endereços, promovendo a paginação de memória. O pino A15 do MCU será utilizado para selecionar a memória que será lida ou escrita. Quando o pino A15 estiver em nível lógico “HIGH” , a EPROM será a memória selecionada para leitura e quando o nível lógico for “LOW” , a SRAM de 512KB será a memória habilitada para leitura ou escrita. Devido a sua utilização para a seleção das memórias, a capacidade de endereçar 64KB do MCU cai para 32KB, pois:

$$2^{15} = 32768 = 32KB$$

Como a EPROM possui 32KB de tamanho, não existe problema no acesso deste componente. O problema surge no processo de escrita – leitura da SRAM a qual possui 512KB. Neste caso, usa- se o decodificador de endereços para paginar a memória. Cada página terá 32KB de tamanho e para a cobertura completa da SRAM são necessárias 16 “páginas” na memória ( $512KB \div 32KB = 16$ ). Os pinos A0 – A14 da memória serão ligados aos pinos A0 – A14 do MCU enquanto os pinos A15- A18 da memória serão ligados aos pinos do PORT A (PA3-PA6), responsáveis pela paginação da memória. Com isso, varre-se os 512KB da memória SRAM eliminando-se a limitação de memória para este projeto. A implementação do decodificador de endereços, bem como de todas as outras conexões dos componentes, será mostrada adiante quando o esquemático do circuito da placa de aquisição de dados for explicado.

### 8.3.3. SUBSISTEMA DE TRANSMISSÃO SERIAL

Este subsistema tem como função transmitir os dados aquisitados que estão armazenados na SRAM para o PC a fim de serem apresentados pelo software de apresentação de resultados (SAR).

Para a implementação deste subsistema, é necessário o projeto de hardware e a definição de um protocolo de transmissão. O protocolo a ser usado nesta aplicação é o RS-232 devido a sua aplicação difundida e fácil implantação. O projeto de hardware usa um chip padrão para a comunicação serial e é ligado aos pinos Rx e Tx do MCU responsáveis pela transmissão serial assíncrona. A taxa de transmissão dos dados é definida via software: no SASC (Software de Aquisição, Supervisão e Controle) que é instalado na placa principal e no SAR (Software de Apresentação de Resultados) que é

instalado no PC, sendo a taxa de 9200 bits/s, o que representa um tempo de upload de dados de aproximadamente 7,6 minutos no máximo (caso em que os 512KB de memória são preenchidos). A implementação do sistema de transmissão é mostrado detalhadamente no esquemático da placa principal.

#### 8.4. ESQUEMÁTICOS DAS PLACAS

Para a implementação do projeto de hardware, é necessário o desenvolvimento de documentos representando os componentes e as ligações entre estes componentes (esquemático) e posteriormente a geração do layout das placas para posterior confecção das mesmas. Tendo estes parâmetros como base, usou-se a programa TANGO como ferramenta para auxiliar no projeto das placas.

O TANGO é um programa CAD dedicado a engenharia eletrônica que possui bibliotecas de diversos componentes padrão de mercado e que auxiliam na geração tanto do esquemático da placa (que contém as ligações entre os componentes) e do layout (arquivo que contém a disposição dos componentes na placa), permitindo o roteamento e a geração do arquivo final para a fabricação das placas.

Com base no que foi desenvolvido até este ponto, gerou-se os esquemáticos das placas que compõem o projeto:

- 1) Placa principal
- 2) Placa de filtros
- 3) Placa do acelerômetro
- 4) Placa do display

Com os esquemáticos e os layouts, é possível fabricar os circuitos impressos e posteriormente soldar os componentes, finalizando o projeto das placas. O próximo passo é gravar o SASC na EPROM para testes de aquisição e gravação de dados na memória, leitura de comandos da EPROM e comunicação da placa como o computador via transmissão serial.

## **9. SAR (SOFTWARE DE APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS)**

O SAR é o software responsável pela apresentação, em forma de gráficos, dos dados aquistados pelo sub - sistema de sensoriamento e processados e armazenados pelo sub- sistema de aquisição de dados.

Os gráficos a serem apresentados pelo SAR são os seguintes:

1. Aceleração Lateral x Tempo;
2. Aceleração Lateral x Distância;
3. Aceleração Longitudinal x Tempo;
4. Aceleração Longitudinal x Distância;
5. Velocidade x Tempo;
6. Velocidade x Distância;
7. Rotação do Motor x Tempo;
8. Rotação do Motor x Distância;
9. Posição do Volante x Tempo;
10. Posição do Volante x Distância;
11. Posição do Acelerador x Tempo;
12. Posição do Acelerador x Distância;

Além dos gráficos supracitados, serão apresentados ao usuário alguns gráficos combinados de grandezas. São eles:

13. Aceleração Lateral x Aceleração Longitudinal;
14. Aceleração Resultante x Tempo;

15. Rotação do Motor e Velocidade x Tempo;
16. Rotação do Motor e Velocidade x Distância;
17. Rotação do Motor e Aceleração Lateral x Tempo;
18. Rotação do Motor e Aceleração Longitudinal x Distância;

Com estes gráficos, é possível analisar o desempenho do piloto e do automóvel numa proporção de 1:1 e melhorar tanto a performance do piloto quanto a do carro.

O Visual Basic foi o compilador utilizado para o desenvolvimento do SAR. A escolha pelo VB deu-se devido a suas características de desenvolver programas para o ambiente WINDOWS de interface agradável para o usuário, a seus diversos controles para a manipulação de arquivos texto e gráficos além do controle responsável pela comunicação serial.

#### 9.1. ARQUITETURA DO SOFTWARE

Abaixo é apresentada a arquitetura do SAR. Por se tratar da primeira versão do software, a maior parte da documentação encontra-se no disquete em anexo, constituindo-se de comentários do código.

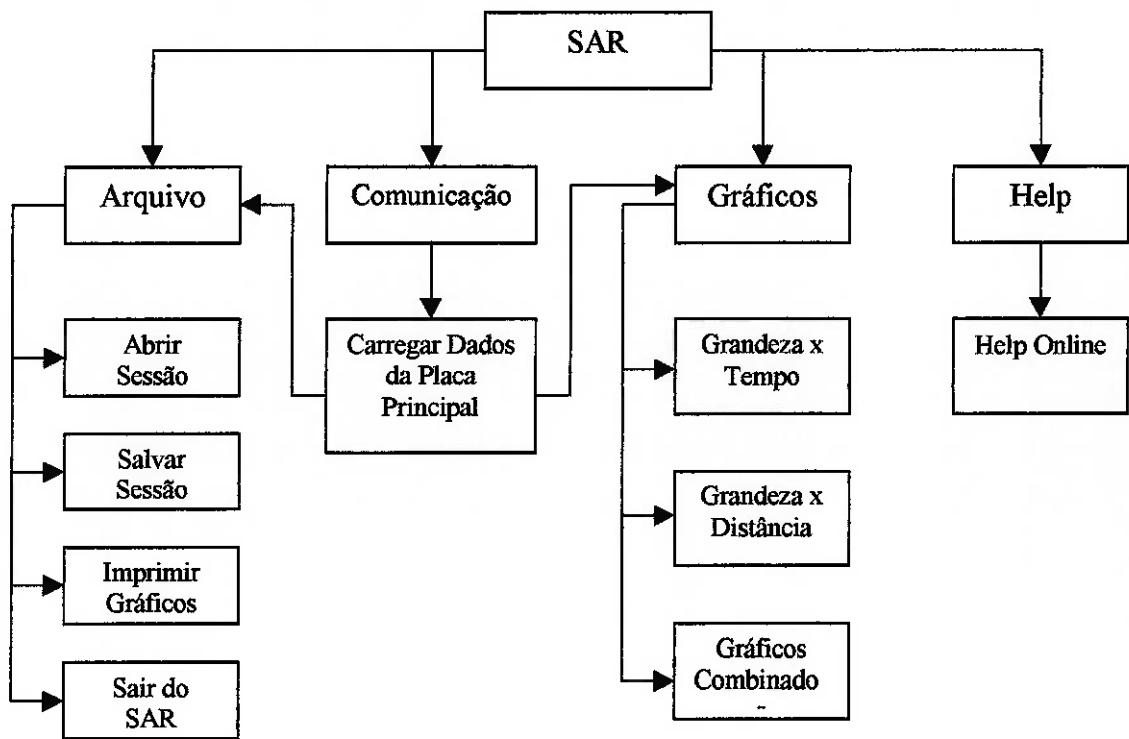


Figura 19: Arquitetura do Software de Apresentação de Resultados

Conforme pode ser visto pela arquitetura do software acima, os dados coletados e armazenados na placa principal são carregados para o PC e gravados em um arquivo texto cujo nome é dado pelo usuário. Este arquivo texto é tratado e seus dados são armazenados em uma matriz para posterior construção dos diversos gráficos disponíveis no software. Este arquivo texto também fica disponível para análise posterior dos dados e pode ser carregado diretamente via um comando de menu.

A grande vantagem de se usar arquivos texto para a manipulação dos dados é seu tamanho. Os arquivos são de tamanho pequeno, de fácil tratamento e podem ser facilmente gravados em disquetes, permitindo seu transporte, quando necessário, para outros computadores ou até para envio via e-mail.

A comunicação serial entre a placa principal e o microcomputador foi feita via software. O SAR utilizou o controle MSComm disponível na biblioteca do VB. Este controle é de utilização simples, podendo ser configurado pelo usuário de forma rápida.

Os gráficos são apresentados usando um outro controle do VB: o MSChart. Este controle possui algumas particularidades que são descritas no HELP do VB, porém sua utilização é simples. A entrada dos gráficos é a matriz de dados gerada a partir do arquivo texto que contém os dados aquistados. As colunas da matriz são carregadas para uma tabela do MSChart e a partir desta tabela os dados são usados para a construção dos gráficos de interesse. O fluxo dos dados é melhor explicado na documentação que segue no disquete em anexo.

## **10. SOFTWARE DE AQUISIÇÃO DE DADOS, SUPERVISÃO E CONTROLE (SASC)**

### **10.1. DESCRIÇÃO DO SASC**

Após a definição do hardware a ser utilizado, o próximo passo é a definição do software que será responsável controle do sistema durante o funcionamento e também será responsável pelo armazenamento dos dados coletados enquanto os mesmos não são transmitidos para um computador. Este mesmo software também será responsável pela comunicação com o computador durante a transmissão de dados. Visando todos este propósitos, foi idealizado o Software de Aquisição de Dados, Supervisão e Controle (SASC). Este programa é armazenado na memória EEPROM da placa principal e o seu desenvolvimento foi realizado em linguagem Assembler específico para o microcontrolador HC11.

Os diagramas de bloco mostrados a seguir relaciona todas as funções a serem exercidas pelo SASC e como as mesmas se relacionam. Em seguida, cada uma destas funções será melhor detalhada

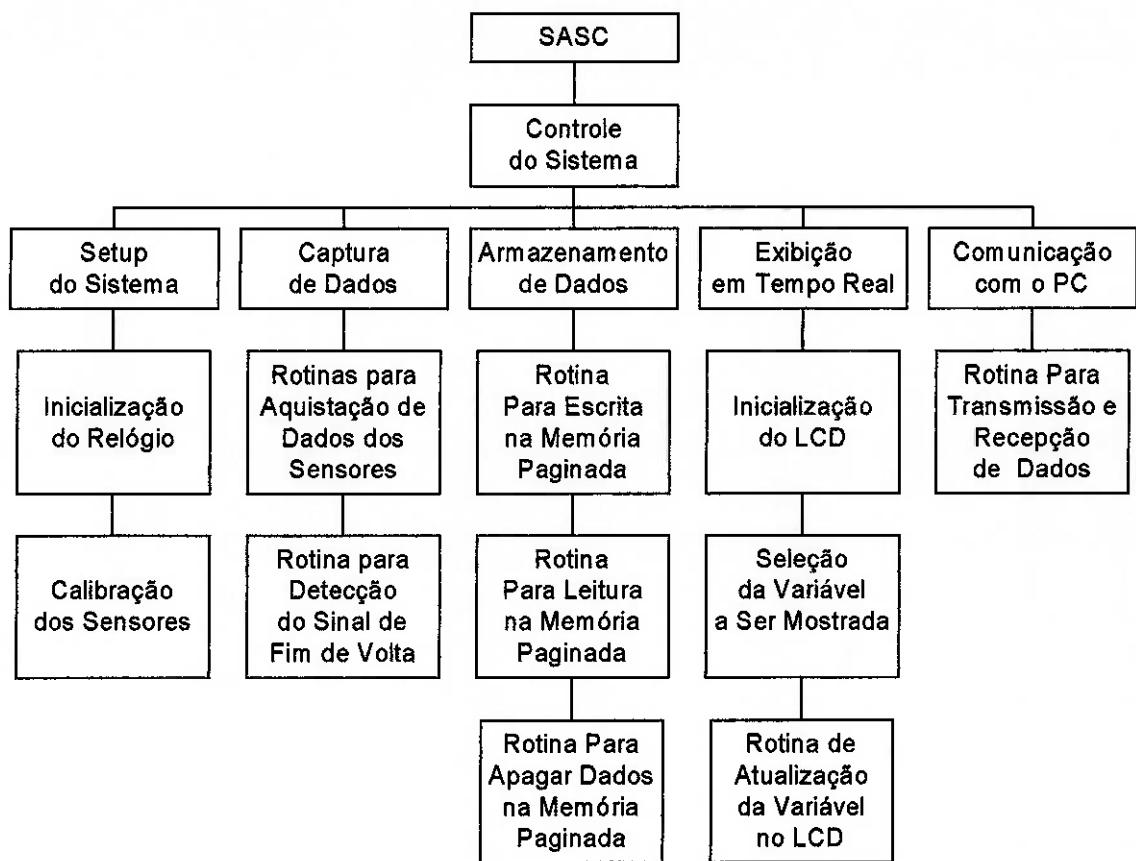


Figura 20: Diagrama de Blocos do SASC

A função *Controle do Sistema* é responsável pela interface entre o usuário e a placa de aquisição de dados. Esta função é que dará acesso a todas as demais funções que o SASC possui: *Setup do Sistema*, *Captura de Dados* e assim por diante. Este acesso será implementado através de botões que o usuário deverá utilizar para acessar os menus correspondentes a cada uma das outras funções.

A função *Setup do Sistema* é a função responsável pela calibração dos sensores. Esta calibração, na medida do possível, será simplificada, de forma a permitir um rápido ajuste do sistema. No caso dos sensores da posição do pedal do acelerador e posição angular do volante, serão guardados as posições correspondentes (na forma de nível de tensão) ao fim de curso: pedal nas posições inicial e final e volante com máximo esterçamento para a esquerda e para a direita. Além disso, o volante também terá sua

posição central guardada como referência. Da mesma forma, os acelerômetros terão seus valores anotados para acelerações nulas. A rotação do motor dispensará calibrações e a velocidade do carro deverá receber, por meio do usuário, o tamanho correto do comprimento de circunferência do pneu.

A função *Captura de Dados*, como o próprio nome diz, é responsável pela captura dos dados aquisitados. Como a frequência de amostragem não é demasiado alta, será possível aquisitar diversas vezes os valores de um dado sinal e utilizar-se um valor médio para o mesmo. Já a rotina para detecção do fim/início de uma volta será implementado através de interrupções de hardware.

As rotinas para uso da memória foram agrupadas dentro de uma função específica, *Armazenamento de Dados*, e são responsáveis pelo acesso e manipulação dos dados na memória. Além disso, para cada sessão gravada, será criado um cabeçalho contendo algumas informações importantes para análises posteriores, como a data e a hora da tomada de dados.

As rotinas da função *Exibição em Tempo Real* são responsáveis pela inicialização do LCD, escolha e atualização da variável a ser mostrada no LCD durante a fase de tomada de tempo.

A função *Comunicação com o PC* é responsável, como o próprio nome diz, pela comunicação e troca de dados com o computador. Esta comunicação é realizada através do protocolo RS-232, amplamente utilizado em comunicações seriais e de relativa facilidade de implantação. A taxa de transmissão, como já dito anteriormente, é de 9600bps.

## 10.2. O SASC E A PLACA DE AVALIAÇÃO EVM

O SASC tal como idealizado e descrito no item 8.5.1. foi inicialmente implementado de forma a poder ser utilizado em conjunto com a placa de avaliação EVM. Esta placa permite emular o uso de um processador HC11 e foi utilizado durante o desenvolvimento do SASC para verificar o comportamento do programa diante das situações a que ele seria submetido quando implementado na placa real. Desta forma, foi possível determinar modificações a serem realizadas nas placas sem que se necessitasse a construção de um protótipo, o que colaborou para a redução dos custos do projeto como um todo.

O programa desenvolvido para uso em conjunto com a placa EVM sofreu algumas modificações porque a placa EVM possuía algumas limitações de uso de seu hardware. Entre as limitações que podem ser citadas e que influíram no desenvolvimento do software é a impossibilidade de um programa sendo testado escrever na memória disponível na placa EVM.

O programa desenvolvido para uso na placa EVM pode ser portado para a placa desenvolvida e apresentada neste trabalho com um mínimo de modificações. O programa fonte apresenta, sob a forma de comentários, maiores explicações sobre o funcionamento do mesmo.

## 11. CONCLUSÕES

Após uma ano de árduo trabalho, conclui-se com êxito este projeto de Sistema de Metria para Veículo Monoposto. Algumas constatações devem ser ressaltadas tanto no subsistema de sensoriamento, no subsistema de aquisição e armazenamento e no interfaceamento com o micro computador.

A principal dificuldade na implementação do subsistema de sensoriamento foi a falta de componentes no mercado nacional bem como o alto custo para a importação. Outro aspecto relevante são os cuidados que se devem ter ao implementar o sistema de filtragem e na própria montagem do subsistema de sensoriamento.

A implementação do hardware da placa principal e do Software de Aquisição, Supervisão e Controle (SASC) foram as duas maiores dificuldades durante o projeto devido a falta de familiaridade tanto com os componentes que fazem parte da placa quanto da própria linguagem de programação usada para o SASC (Assembler).

O SAR (Software de Apresentação de Resultados) apresentou como principal dificuldade a implementação das rotinas para o interfaceamento entre a placa principal de aquisição de dados e o PC através da porta serial. Porém, ao final do projeto, as rotinas funcionavam perfeitamente integrando o sistema como um todo.

Apesar do êxito obtido, ainda há muito a ser melhorado neste projeto. Muitos detalhes, principalmente de hardware, que não foram considerados nesta etapa terão que ser analisados mais profundamente em uma segunda versão deste. Simplificações que não foram feitas devido a exiguidade do tempo para o desenvolvimento do sistema podem ser implementadas numa segunda etapa, facilitando ainda mais a implementação tanto do hardware quanto do software.

## **12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Fey, Buddy. **DATA POWER - Using Racecar Data Acquisition**, 1 .ed., Towery Pub, 1993.

Malvino, A. P. **Eletrônica vol. 1 e 2**, 4 .ed., Makron, São Paulo, 1995.

Motorola, **68HC11 Reference Manual**, Motorola, 1996.

Motorola, **68HC11A8 Technical Data**, Motorola, 1996.

### **Internet**

<http://www.mcu.motsps.com/hc11/index.html> – site oficial da Motorola para o microcontrolador HC11

<http://fn2.freenet.edmonton.ab.ca/~grantb/> - SmartKart - The Karting Data Acquisition Project

<http://home1.gte.net/tdickens/68hc11/68hc11.html> – Informações gerais