

Henrique Uzuelli Bacellar
Sérgio Ricardo Calderini Rosa

PILOTO AUTOMÁTICO PARA AUTOMÓVEIS
(Cruise Control)

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Engenharia Mecânica - Habilitação em Automação e Sistemas
Orientador: prof. Dr. José Roberto Simões Moreira

São Paulo - SP
1997

Agradecimentos

***Agradecemos ao prof. Dr. José Roberto Moreira Simões
por ter sido nosso orientador nesse trabalho.
Agradecemos também as muitas recomendações
e ajudas práticas e teóricas dadas pelo prof. Dr. Jun Okamoto Jr.
Gostaríamos também de agradecer pessoas que novamente muito nos
auxiliaram como Fernando Brito Santos, Rafael Higa e Carlos de Souza Lima,
além dos técnicos dos laboratórios da área térmica Wilson e Ademir.***

ÍNDICE

RESUMO	1
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	2
1.1 - <i>Motivação da Necessidade</i>	3
1.2 - <i>Parâmetros de Projeto</i>	4
CAPÍTULO 2. DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO	
2.1 - <i>Ativação e Desativação</i>	6
2.2 - <i>Componentes do Sistema</i>	7
2.3 - <i>Malha de Controle</i>	9
CAPÍTULO 3. CONDIÇÕES DE PROJETO	10
3.1 - <i>Motor</i>	11
3.2 - <i>Câmbio</i>	12
3.3 - <i>Bomba Hidráulica</i>	13
CAPÍTULO 4. METODOLOGIA DE PROJETO	14
4.1 - <i>Parâmetros de Projeto</i>	15
4.2 - <i>Determinação da Sensibilidade</i>	16
4.3 - <i>Determinação dos Componentes do Sistema</i>	20
CAPÍTULO 5. ESPECIFICAÇÃO DOS COMPONENTES	21
5.1 - <i>Sensores</i>	
5.1.1) <i>Sensor de Rotação</i>	22
5.1.2) <i>Sensores dos Pedais e da Alavanca do Freio de Mão</i>	25
5.2 - <i>Chaves de Comando</i>	26

5.3 - ECU (Electronic Control Unit)	28
5.3.1) O Microcontrolador	29
5.3.2) O Hardware Básico	30
5.3.3.) A EPROM	32
5.3.4) A RAM	33
5.3.5) O Latch	33
5.3.6) O Cristal Oscilador	35
5.3.7) Fonte e Capacitores	36
5.3.8) Terminais	37
5.4 - Motor de Passo	
5.4.1) Seleção do Atuador	39
5.4.2) Funcionamento do Motor de Passo	41
5.4.3) Montagem e Fixação	42
5.5 - Controlador do Motor de Passo	
5.5.1) Entradas e Saídas	46
5.5.2) Descrição do Funcionamento	47
 CAPÍTULO 6. SOFTWARE DE CONTROLE	 53
6.1 - Rotina Delay	54
6.2 - Rotina Rotação	55
6.3 - Rotina Limites	56
6.4 - Rotina Atuador	57
6.5 - Rotina Interrup	58
6.6 - Programa Principal	60
 CAPÍTULO 7. RESULTADOS	 72
7.1 - Deslocamento da Borboleta do Motor	72
7.2 - Sensibilidade do Conjunto Microcontrolador - Programa	72
7.3 Torque do Motor de Passo	73
7.4 - Medidas Elétricas	74
7.5 - Custo de Montagem do Protótipo	74

<i>CAPÍTULO 8. CONCLUSÃO</i>	<i>75</i>
<i>CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFIA</i>	<i>76</i>
<i>ANEXO 1: Sensor de Rotação</i>	<i>78</i>
<i>ANEXO 2: Esquema do Circuito Elétrico da ECU</i>	<i>79</i>
<i>ANEXO 3: Listagem Completa do Programa</i>	<i>81</i>

RESUMO

A proposta estabelecida para este trabalho resume-se ao projeto e implementação de um Piloto Automático para Automóveis (Cruise Control) para o motor de combustão interna do Laboratório de Máquinas Térmicas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. As instalações permitem que sejam realizadas, com fidelidade suficiente, simulações do caso real (automóvel).

O projeto consiste, em sua essência, de um controlador capaz de manter constante a rotação do motor mesmo que este seja submetido a variações de torque.

O sistema é constituído por um sensor que lê a rotação do motor, uma unidade responsável pelo processamento de dados, um atuador que realiza a movimentação adequada da borboleta de aceleração do motor e ainda de sensores para verificação do acionamento dos pedais de freio e de embreagem e para a verificação do acionamento da alavanca do freio de mão.

O usuário tem a opção de ligar e desligar o sistema e de acelerar o automóvel sem pressionar o pedal do acelerador. O sistema é desligado automaticamente quando o usuário pressiona o pedal do freio ou o da embreagem ou quando o freio de mão é acionado.

O objetivo deste trabalho foi construir um protótipo de um Piloto Automático para o motor do Laboratório, um exemplar General Motors 2.0L OHC E.F.I.. Desta forma, as instalações e parâmetros do programa foram projetadas em caráter específico para a bancada de testes, sendo necessárias adaptações para que o sistema opere em um outro tipo de motor.

Todavia, visto que a grande maioria dos motores utilizados nos automóveis apresentam funcionamento e sistemas equivalentes, as adaptações citadas acima são simples, referentes apenas a mudança do posicionamento e fixação do sistema e da mudança de alguns valores utilizados no processamento de dados.

1. INTRODUÇÃO

O projeto a ser desenvolvido neste trabalho é o de um Piloto Automático para Automóveis (Cruise Control). O piloto automático é um dispositivo que tem como função manter a velocidade do automóvel constante, independente do perfil da estrada e de suas imposições de torque.

Deste modo, o dispositivo aumenta a rotação do motor quando o carro depara-se com um aclive e diminui a rotação quando o carro percorre um declive, a fim de manter constante a velocidade preestabelecida.

Em se tratando este de um trabalho acadêmico, foram determinados certos objetivos principais, relativos ao enfoque do projeto. Estabeleceu-se deste modo que seria dada prioridade ao estudo das formas de sensoriamento, controle, e atuação do sistema e dos métodos de elaboração de um projeto, não sendo portanto alvo principal o desenvolvimento e a implementação de um produto com aspirações comerciais ou ainda de um produto com necessidades embasadas em pesquisa com consumidores. Não foram descartadas entretanto a viabilidade do ponto de vista prático e financeiro pertinentes a todo e qualquer projeto.

1.1 - Motivação da Necessidade

A idéia do desenvolvimento do Piloto Automático surgiu da constatação das vantagens que um sistema controlador de velocidade proporciona ao motorista. Verificou-se ainda que a frota nacional apresenta baixíssimo índice de veículos dotados com o controlador de velocidade.

A vantagem principal para o motorista que dirige um automóvel equipado com o Piloto Automático é que evita-se o cansaço excessivo em longas viagens, já que o usuário não tem a necessidade de manter pressionado o pedal do acelerador. Esta consideração é feita, logicamente, imaginando-se que a estrada possibilita a manutenção da velocidade de cruzeiro constante.

O sistema de controle de velocidade, conhecido no mercado nacional como Piloto Automático, é bastante utilizado no exterior onde é denominado Cruise Control. No Brasil, este sistema só se encontra disponível em dois modelos nacionais (Vectra e Omega). Nos dois casos, a opção por este dispositivo só está disponível em conjunto com a transmissão automática e o sistema (comum para ambas as plataformas) é importado da Alemanha.

O objetivo é desenvolver um sistema que não tenha sua utilização limitada a veículos equipados com transmissão automática, portanto capaz de ser utilizado também em carros com transmissão manual. Apesar de funcionar em qualquer marcha, o dispositivo é desligado no momento em que o pedal de embreagem é pressionado.

1.2 - Parâmetros de Projeto

Com o intuito de cumprir os objetivos definidos estabeleceram-se alguns pontos que devem ser atendidos pelo projeto proposto:

a) o dispositivo deve responder a comandos do usuário;

O usuário deve ter como opção aumentar a velocidade do automóvel sem precisar pressionar o pedal do acelerador. Deve ter ainda a possibilidade de acionar o sistema quando desejar (desde que o dispositivo encontre-se dentro da sua faixa de operação), bem como a possibilidade de desligá-lo. O dispositivo deve ser desativado quando o usuário pressionar o pedal do freio ou o pedal da embreagem (no caso de câmbio manual).

b) o dispositivo deve funcionar independentemente do tipo de transmissão;

Visto que a frota brasileira é constituída quase que exclusivamente por automóveis equipados com transmissão manual, o sistema deve ser capaz de equipar também carros com este tipo de câmbio. A título ilustrativo, a produção da General Motors do Brasil (GMB) de automóveis modelo Vectra, considerado um dos carros de luxo do país, é de aproximadamente 7440 unidades por mês. Deste total, apenas 180 são equipados com transmissão automática, enquanto

que a produção deste modelo com transmissão manual é de 7260 unidades (97,6%)¹.

c) o dispositivo deve funcionar independentemente do sistema de injeção de combustível;

Ainda com relação à frota nacional, grande parte dos automóveis são equipados com carburador, pois a injeção eletrônica passou a ser item de série para toda produção nacional a apenas alguns anos.

Desta forma, o projeto proposto deve ser capaz de atuar tanto em carros dotados com injeção eletrônica de combustível como em carros que utilizam o carburador.

O objetivo do presente trabalho foi construir um protótipo do sistema, montá-lo na bancada e realizar testes deste dispositivo no Laboratório de Máquinas Térmicas da Escola Politécnica, que possui em uma de suas bancadas um motor General Motor 2.0 E.F.I. OHC, dotado portanto de 8 válvulas e injeção eletrônica de combustível do tipo Single-Point (um bico injetor para todos os cilindros).

¹ Dados de março/97.

2. DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO

2.1 - Ativação e Desativação

Os controles disponíveis do Piloto Automático do projeto visam a simplicidade e facilidade de operação para o motorista. Através do acionamento de um *push-button* denominado **S** (do inglês *Set*) localizado na extremidade de uma das alavancas dispostas na coluna de direção (que pode ser a mesma alavanca das luzes sinalizadoras de direção), o controlador entra em ação, mantendo constante a velocidade que o automóvel desenvolve no momento da ativação.

A partir de então, o motorista pode aumentar a velocidade do veículo ou desativar o sistema de controle. Caso a opção seja a primeira, o usuário deve mover a chave de três posições (esquerda, centro, direita), disposta na alavanca, para a direita, no sentido da letra **I** (do inglês *Increase*). A velocidade seria então elevada até que o motorista soltasse a chave (fazendo-a voltar à posição central) ou até que seja atingido o certo limite operacional preestabelecido.

Caso a opção seja desativar o sistema, para que o condutor do veículo retome o controle sobre a aceleração do mesmo, o motorista pode deslizar a chave de três posições da alavanca para a esquerda, no sentido da letra **O** (do

inglês *Off*), ou então pressiona o pedal do freio ou da embreagem (quando este existir).

A figura abaixo mostra o desenho da alavanca com a disposição das chaves. No projeto a ser desenvolvido não será construída uma alavanca mas uma representação desta estrutura, sendo que todas as opções de comando estarão disponíveis através de um sistema de acionamento equivalente.

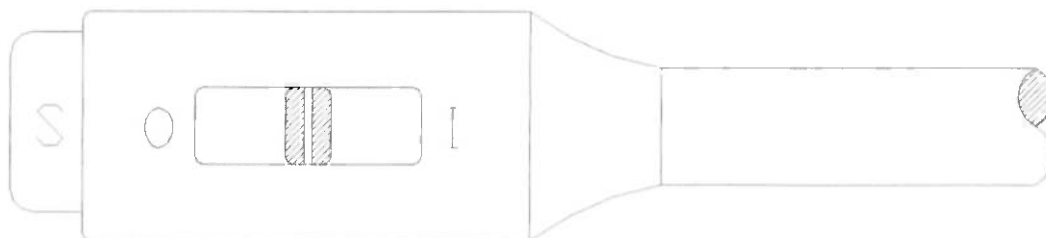


Fig. 2.1: alavanca de acionamento.

2.2 - Componentes do Sistema

Para realizar o acionamento do dispositivo, o motorista conta com a alavanca mostrada acima, que contém as *chaves de controle*. O sistema possui ainda dois *sensores* para os pedais, um para o de embreagem e outro para o de freio. Além disso, existe um sensor para verificar o acionamento do freio de mão. Quando for verificado o acionamento de um destes pedais ou da alavanca de freio, o respectivo sensor envia sinal de desativação à *ECU* (*Electronic Control Unit*), a unidade de controle, que realiza a monitoração do sistema.

De acordo com os sinais de desativação dos sensores, o sinal enviado pelas chaves de controle e o sinal enviado pelo sensor de rotação do motor, a ECU determina de acordo com o programa o funcionamento do atuador, que movimenta o eixo da borboleta do acelerador. Os sinais de controle gerados pela ECU são transmitidos ao o *Controlador do Motor de Passo*, que então envia os sinais adequados para o *Motor de Passo*.

A figura abaixo mostra o esquema da configuração do sistema:

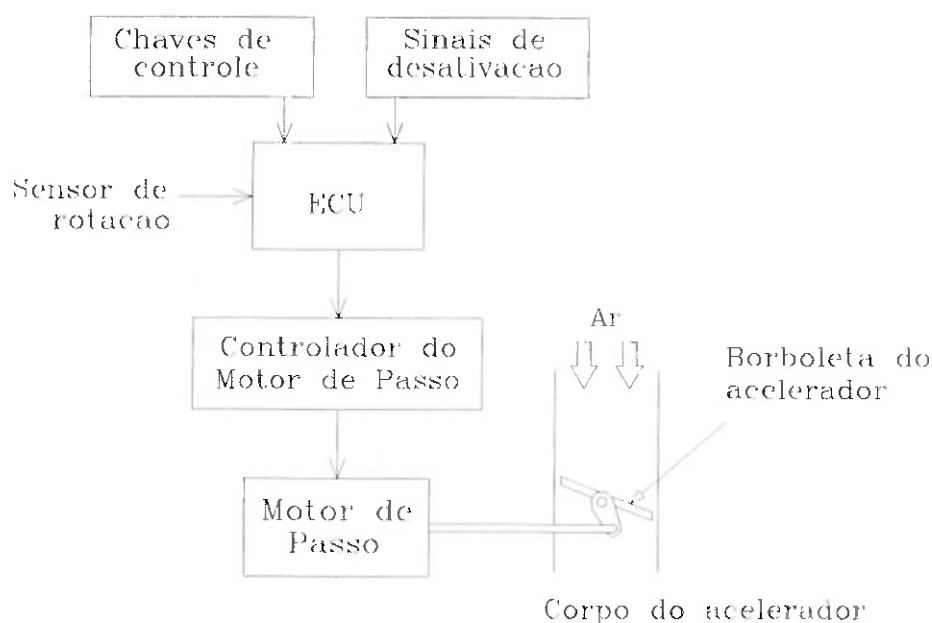


Fig. 2.2: elementos do sistema.

O Motor de Passo é ligado à borboleta do acelerador por um cabo. Ao ser acionado, o motor puxa ou libera este cabo, movimentando a borboleta e proporcionando o controle da entrada de ar e combustível no coletor de admissão, o que altera a rotação do motor do automóvel.

2.3 - Malha de Controle

A figura abaixo representa a malha de controle que será implementada. As chaves de comando estabelecem parâmetros que determinam a velocidade desejada. A unidade controladora ECU recebe o sinal do sensor de rotação do motor e compara com o valor desejado. Envia com base nestas informações um sinal para o atuador, que realiza o movimento do eixo da borboleta alterando o ângulo de abertura θ e mudando as condições de operação do motor, que aumenta ou diminui de rotação até que se chegue ao valor desejado. O controle utiliza malha fechada.

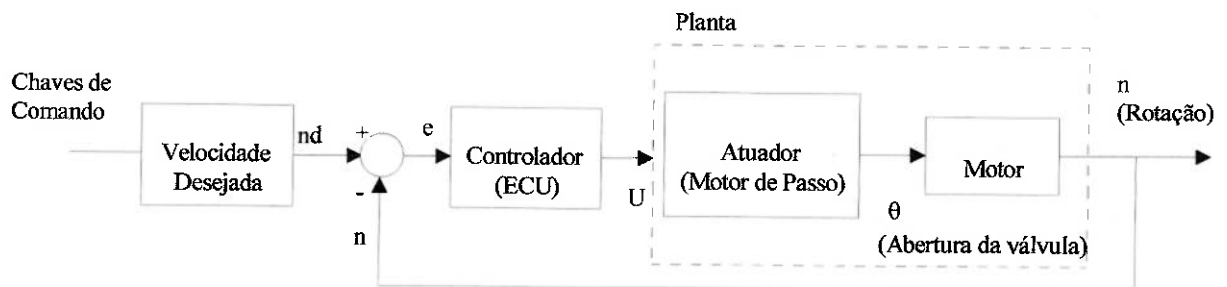


Fig. 2.3: malha de controle.

3. CONDIÇÕES DE PROJETO

Os elementos disponíveis no laboratório e as condições de montagem do motor na bancada não são capazes de reproduzir todas as possíveis situações de operação do sistema real devido aos fatores mencionados a seguir. Entretanto pode-se realizar a simulação de seu comportamento com grau de confiabilidade suficiente para o objetivo proposto.

A figura abaixo mostra as instalações do laboratório. Os elementos básicos são: o motor (a direita), o câmbio (ao centro) e uma bomba hidráulica (a esquerda, em vermelho) que, presa ao eixo cardã, permite a variação de torque aplicado ao motor.

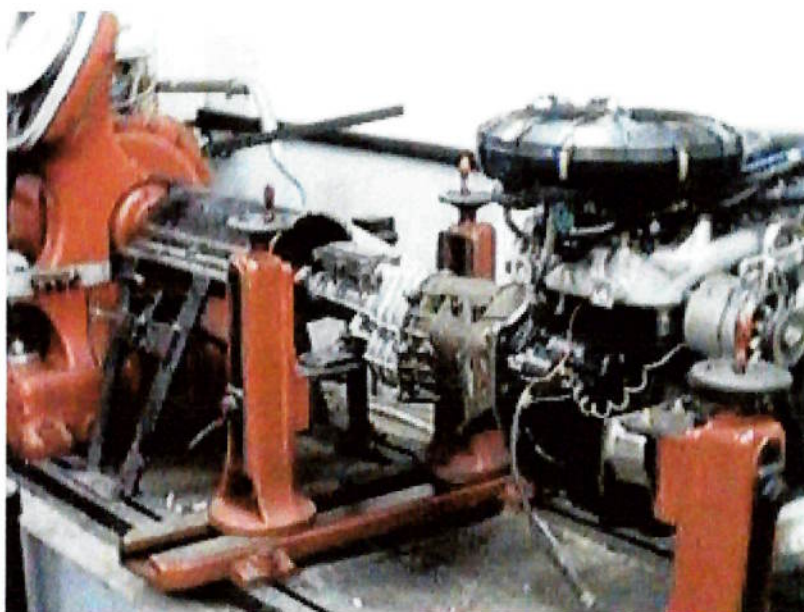


Fig. 3.1: bancada de testes.

Descrevem-se à seguir as características dos elementos da bancada de testes e a validade da analogia com o sistema real (automóvel).

3.1 - Motor

O motor disponível na bancada é alimentado por injeção eletrônica. Existe uma borboleta que controla a entrada da mistura ar/combustível no coletor de admissão do motor (vide figura 2.2, no item 2.2 - *Componentes do Sistema*).

O motorista, ao acionar o pedal do acelerador, realiza um movimento que é transmitido ao eixo da borboleta por um cabo de aço. A borboleta sofre então um deslocamento angular tendo seu ângulo de abertura alterado. Este ângulo determina a velocidade do automóvel.

Nos veículos equipados com carburador o processo é o mesmo, varia-se a velocidade de acordo com o ângulo de abertura da borboleta. Como o dispositivo construído neste trabalho atua sobre esta borboleta, da mesma forma que o faz o cabo do acelerador (vide figura 3.2 abaixo), o sistema pode ser adaptado aos dois tipos de injeção de combustível.

Legenda:

- 1: cabo do acelerador
- 2: alavanca da borboleta
- 3: ponta do cabo do acelerador (elemento de conexão)
- 4: cabo do motor de passo

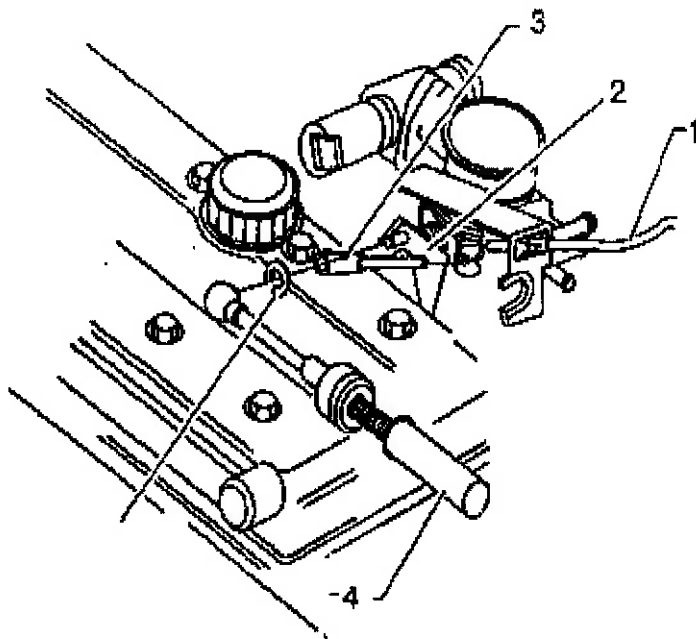


Fig. 3.2: acionamento da borboleta.

3.2 - Câmbio

O câmbio acoplado ao motor do laboratório é o do antigo Opala. A 4ª marcha é a única disponível já que as engrenagens das outras marchas foram retiradas, e portanto foi nesta marcha em que se realizou o trabalho. Como o sistema considera apenas a rotação do motor para realizar o controle da velocidade, o dispositivo funciona independentemente da marcha utilizada.

No automóvel existe, acoplado à caixa de câmbio, um sensor (vide figura 3.3, elemento preto com os fios) que emite sinais elétricos de acordo com a rotação da árvore secundária. A rotação desta árvore é transmitida ao diferencial e então, depois de uma última redução, às rodas motrizes.

No laboratório não há diferencial e rodas. O projeto baseou-se portanto em controlar a rotação do motor a partir das informações enviadas pelo sensor de rotação do câmbio, que relaciona-se diretamente com a rotação das rodas através da relação de transmissão do diferencial. As considerações daqui para frente foram feitas tomando-se como base a rotação do câmbio e não a velocidade do automóvel propriamente dita, apesar de serem as duas grandezas diretamente dependentes.

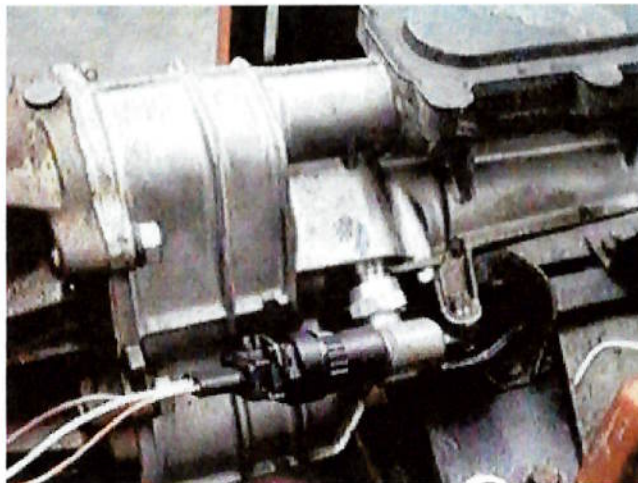


Fig. 3.3: câmbio e localização original do sensor.

3.3 - Bomba Hidráulica

A bomba hidráulica é o elemento que determina a carga no eixo cardã (e por consequência no motor) dependendo da vazão de água. Com o auxílio deste componente realizou-se a simulação das condições do meio externo, como avarias e declive.

4. METODOLOGIA DE PROJETO

O primeiro passo para a especificação da estrutura do sistema foi determinar qual a variável a ser controlada. Já foi exposto no capítulo *Introdução* que o projeto deve atuar de forma a manter constante a velocidade do automóvel, frente às variações de torque impostas pelo meio externo. Como a velocidade do automóvel depende diretamente do ângulo de abertura, este será o objeto de controle do sistema implementado.

O dispositivo realiza a monitoração da velocidade do veículo constantemente e altera a abertura da borboleta do acelerador de acordo com a necessidade, de modo a aumentar ou diminuir o torque do motor visando a manutenção da rotação do mesmo.

O gráfico abaixo ilustra as curvas de funcionamento de um motor de combustão interna. Para que a rotação n do motor seja mantida constante, quando há solicitação de alteração no torque devido ao meio externo (como uma subida por exemplo), varia-se o ângulo de abertura θ da borboleta. Desta forma o motor passa a operar em uma de suas outras curvas. Seu torque é alterado, de acordo com a solicitação, e a rotação é mantida constante.

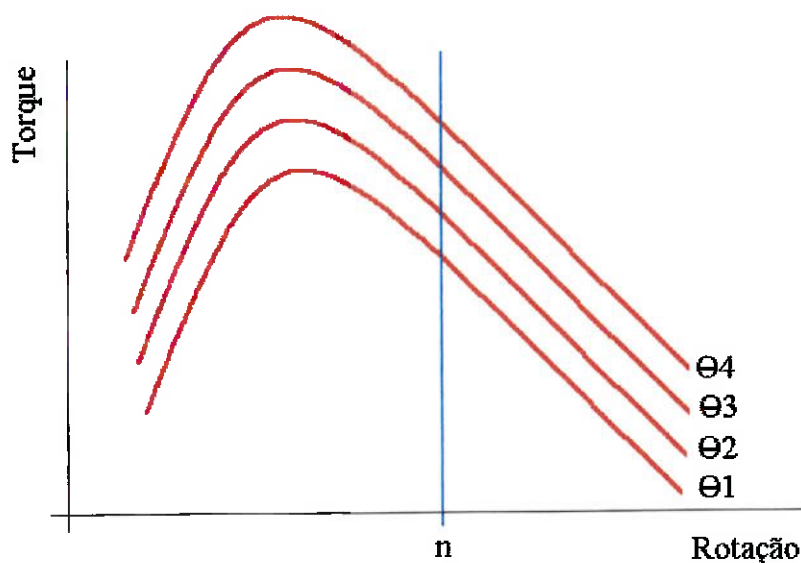


Fig. 4.1: gráfico Torque x Rotação.

Como mostra a figura 3.2, o cabo do acelerador é responsável pela movimentação do eixo da borboleta, o que causa alteração no seu ângulo de abertura. O atuador deve então ser posicionado e montado de forma a ser capaz de provocar a rotação do eixo.

4.1 - Parâmetros de Projeto

Para realizar o controle desejado certos parâmetros foram estabelecidos:

a) o dispositivo deve operar em uma faixa limite, ou seja, o sistema só entra em funcionamento se a velocidade do automóvel está dentro de uma faixa predeterminada (por exemplo, 60 e 120 km/h).

Devido às limitações da bancada de teste, que não possui diferencial, o protótipo terá sua faixa de operação limitada pela rotação da árvore secundária do câmbio. Os valores limites desta faixa foram arbitrariamente estabelecidos e valem 1440 e 4440 rpm. A determinação destes valores foi baseada apenas no funcionamento adequado do motor, considerando-se a rotação em marcha lenta e rotação máxima de operação sem risco de quebra. São parâmetros que podem ser facilmente ajustados de acordo com a necessidade e condições desejadas, alterando-se certos parâmetros no programa.

b) o dispositivo opera alterando a abertura da borboleta a uma velocidade constante, independentemente da solicitação exterior. Desta forma o eixo da borboleta gira segundo uma velocidade angular preestabelecida quando da necessidade de alteração do ângulo de abertura em função da alteração do torque.

4.2 - Determinação da Sensibilidade

O próximo passo foi verificar qual a precisão necessária para o movimento do eixo da borboleta. Como este movimento é provocado pelo cabo do acelerador (figura 4.2; a seta indica o sentido de movimentação do cabo no caso de aceleração), o problema passou a ser determinar qual o valor para o deslocamento do cabo que implicaria em uma alteração significativa na

rotação do motor. Para isso determinou-se a relação entre a rotação do motor e o deslocamento do cabo.

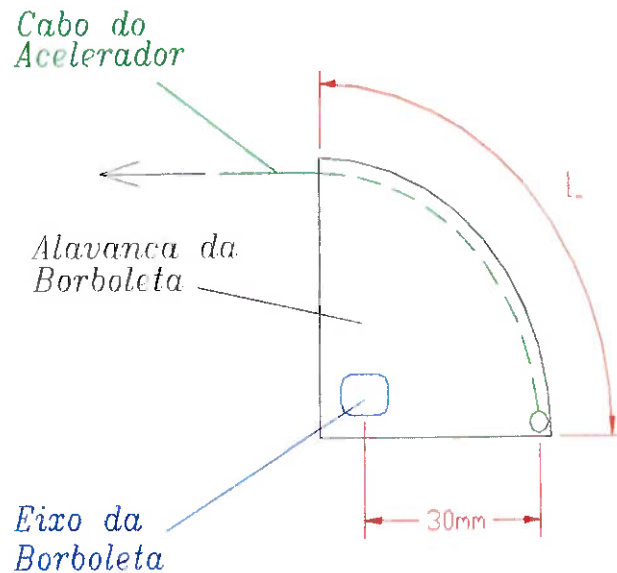


Fig. 4.2: montagem do cabo à alavanca.

O ângulo de abertura da borboleta pode variar de 0 a 90°, como mostra a figura 4.3, de acordo com a movimentação do cabo. O desenho à esquerda mostra a posição do borboleta no limite mínimo, 0° (cabo do acelerador sem tensão). Quando o cabo é tracionado, a alavanca movimenta-se em torno do centro do eixo da borboleta (intersecção das linhas de centro) até atingir o limite máximo, 90° (desenho à direita).

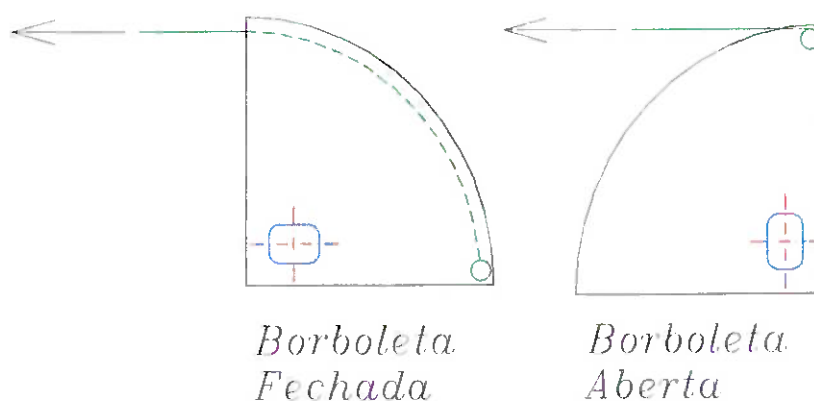


Fig. 4.3: posições da borboleta.

A condição extrema de operação do motor corresponde a aceleração máxima e é atingida com a abertura total da borboleta. O curso máximo L do acelerador foi determinado de acordo com a figura 4.2 acima.

$$L = \frac{\pi}{2} \times 30$$

$$L \approx 47\text{mm}$$

Realizou-se um ensaio aplicando-se, com o auxílio da bomba hidráulica, um torque arbitrário no motor. (Esta condição foi imposta para que a simulação se aproximasse das condições reais de utilização do motor, já que este sempre opera sob alguma solicitação externa de torque.)

Para obtenção do gráfico, portanto, aplicou-se $T=135\text{ Nm}$ no motor, com este funcionando inicialmente à aceleração máxima (borboleta totalmente aberta). Mediram-se então os valores da rotação do motor para várias posições do cabo. A posição 47mm corresponde ao curso máximo do cabo, desenho à direita da figura 4.2. A tabela obtida foi:

Tabela 4.1: relação curso x rotação.

Curso do Acelerador (mm)	Rotação do motor (rpm)
47	4330
46	4280
45	4260
44	4230
43	4200
42	4160
40	4030
38	3880
36	3820
35	3670
25	2660
23	2300
21	1900

com a qual se constrói o gráfico:

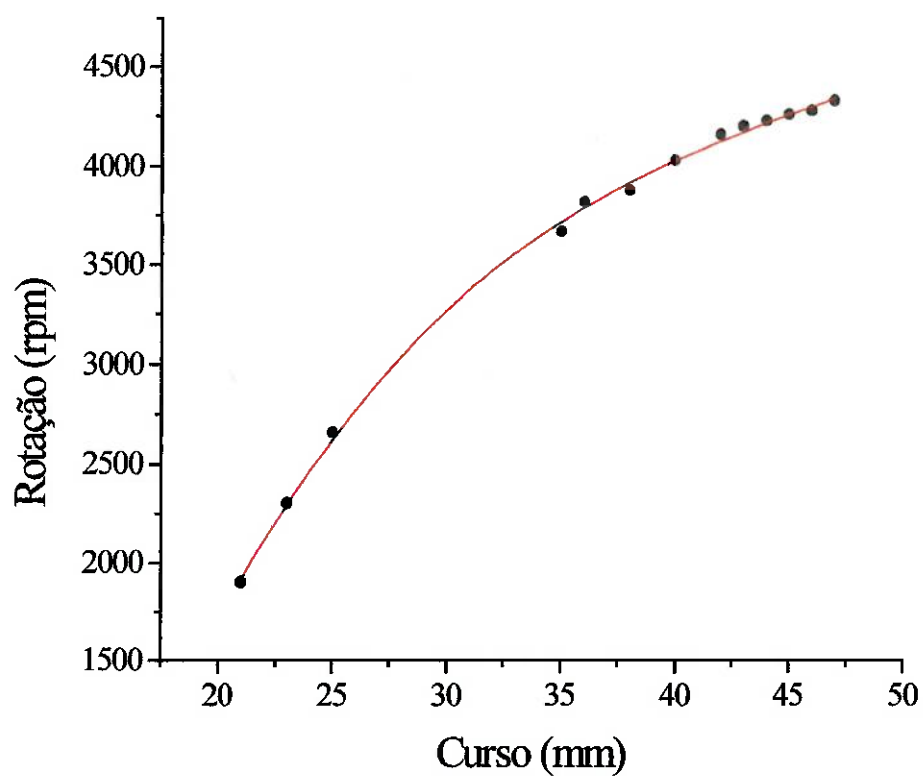


Fig. 4.4: gráfico Rotação do Motor x Curso do Acelerador

Através de uma análise subjetiva estabeleceu-se que a precisão necessária para o movimento do cabo é de 0,5 mm, ou seja, uma variação no curso do cabo desta ordem provoca alteração significativa na rotação do motor. O atuador deve ser capaz portanto de realizar movimentos com precisão mínima de 0,5 mm.

4.3 - Determinação dos Componentes do Sistema

Com as diretrizes básicas determinadas passou-se à escolha do atuador. Para esta função foi especificado um motor de passo, já que este componente permite um controle simples e preciso de posicionamento. O elemento de monitoração já estava determinado, seria o próprio sensor de rotação do câmbio. Faltava então determinar o componente que fizesse a leitura sinais dados do sensor, interpretasse esses dados e enviasse um sinal de comando ao motor de passo. Para esta aplicação foi escolhido um microcontrolador devido a sua versatilidade e rapidez no processamento, requisitos do projeto.

As especificações detalhadas dos componentes do dispositivo serão mostradas a seguir.

5. ESPECIFICAÇÕES DOS COMPONENTES

Este capítulo mostrará em detalhes o projeto e a determinação dos elementos do protótipo, bem como as especificações e características de cada um deles.

O sistema é constituído por cinco elementos básicos:

a) Sensores: sensor de rotação (encoder localizado no câmbio) e sensores que verificam o acionamento dos pedais (freio e embreagem) e da alavanca do freio de mão.

b) Chaves de Comando: componentes que representam a estrutura mostrada na figura 2.1 (alavanca de comando). Acionando estas chaves, o motorista pode ligar ou desligar o dispositivo ou ainda provocar a aceleração do veículo.

c) ECU (Electronic Control Unit): recebe o sinal do sensor de rotação e dos sensores dos pedais e alavanca do freio de mão, processa os dados e envia o sinal de acionamento para o controlador do motor de passo, a fim de provocar a movimentação da borboleta.

d) Motor de Passo: elemento atuador do sistema. Movimenta-se de acordo com sinais recebidos, provenientes do controlador, e provoca o movimento da borboleta.

e) Controlador do Motor de Passo: este componente serve como interface entre a ECU e o motor de passo. Os sinais provenientes da ECU são processados e sinais elétricos são então enviados ao atuador de modo a provocar o acionamento desejado.

5.1 - Sensores

5.1.1) Sensor de Rotação

O sensor de rotação (figura 5.1) é um encoder que envia 6 pulsos elétricos para cada rotação do eixo, portanto um sinal corresponde ao deslocamento angular do eixo de 60°. Os fios preto e marrom são os de alimentação



Fig. 5.1: sensor de rotação.

(negativo e positivo, respectivamente) e o fio branco é o fio que transmite o sinal do sensor. Para a conveniente utilização deste no sistema fez-se

necessária a instalação de um resistor de $1k\Omega$ entre o terminal positivo da fonte de alimentação e o terminal de saída para que o sinal de saída do encoder fosse uma onda quadrada, como no esquema abaixo. Como este sinal será enviado ao processador da ECU, o sensor é alimentado com 5V (tensão fornecida pela própria ECU) para que o sinal seja compatível com a lógica TTL do microcontrolador. O esquema do encoder segue abaixo:

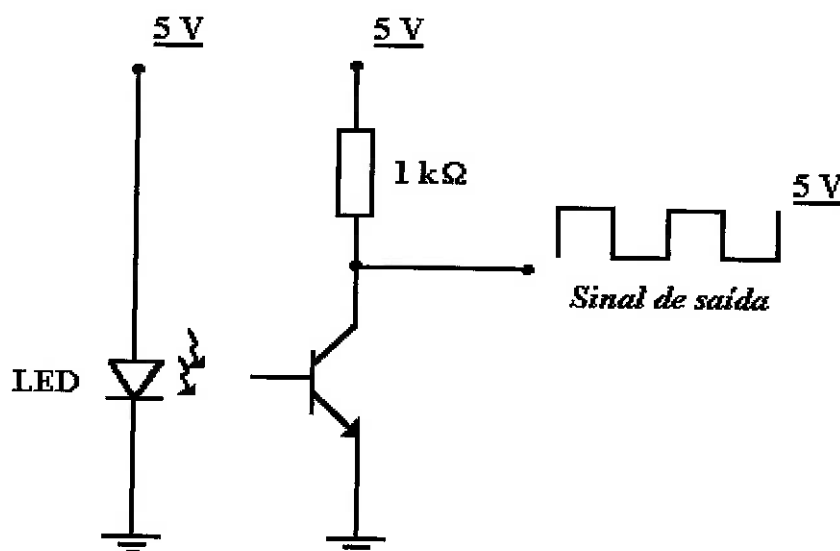


Fig. 5.2: esquema do encoder (sensor de rotação).

Esta é uma peça original dos veículos e é instalada na carcaça do câmbio (vide figura 3.3). Sua função é enviar sinais elétricos, que indicam a rotação da árvore secundária do câmbio, para aparelhos como o taxímetro ou velocímetro. O desenho deste sensor está no Anexo 1.

Por ser mais antigo, o sensor utilizado neste projeto possui ainda uma saída mecânica onde se aclopa um cabo de aço responsável por transmitir o movimento de rotação do câmbio ao velocímetro. Os sensores produzidos hoje em dia não possuem esta saída mecânica: o velocímetro utiliza sempre os sinais elétricos.

Como já mencionado, o câmbio da bancada possui apenas as engrenagens relativas a 4ª. O pinhão que transmitiria o movimento da árvore ao eixo do sensor também foi retirado, impedindo portanto a utilização deste em sua posição original.

A solução encontrada foi posicionar o sensor junto à bomba hidráulica. Adquiriu-se então um cabo de velocímetro que teve uma de suas extremidades fixa no eixo da bomba e a outra conectada ao encoder — pela saída mecânica — transmitindo a este o movimento de rotação do eixo cardã. Segue abaixo o esquema de montagem descrito:

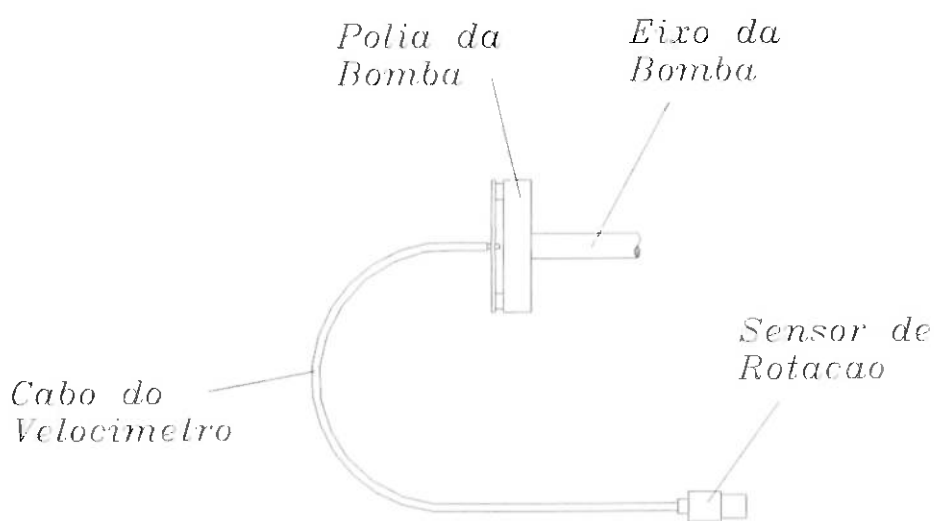


Fig. 5.3: instalação do sensor de rotação na bancada.

Foi utilizado o cabo do velocímetro do modelo Fusca, mas o de qualquer outro veículo poderia ser utilizado já que a rosca da extremidade que se conecta ao sensor é comum a todos eles.

É importante notar que esta instalação é desnecessária quando da aplicação do sistema no veículo. Neste caso utiliza-se o sensor em sua posição original, na carcaça do câmbio.

5.1.2) Sensores dos pedais e da alavanca do freio de mão

O sensor para verificação do acionamento do pedal de freio existe em todos os carros e está normalmente localizado junto ao próprio pedal. Quando o pedal é pressionado, uma pequena haste movimenta-se fechando um circuito elétrico que aciona as luzes de freio. No caso da alavanca do freio de mão o processo é análogo: uma haste fecha o circuito que provoca o acionamento da luz indicadora de freio de mão, localizada no painel do veículo.

Na bancada de teste não existem pedais ou alavanca do freio de mão. Deste modo, os sensores relativos a estes componentes serão representados por um botão do tipo *push-button*, representado à esquerda na figura 5.5. Seu acionamento equivale ao acionamento do pedal do freio, do pedal da embreagem ou da alavanca do freio de mão. Como estes três eventos provocam o mesmo efeito — desligar o sistema — sua representação em um único botão é válida.

No veículo, deve-se montar um circuito elétrico com os três sensores em paralelo. Como exposto acima, o único que não é original nos automóveis é o do pedal da embreagem, que pode ser instalado sem maiores complicações (pode-se utilizar o mesmo modelo e esquema de montagem usado para o pedal de freio).

5.2 - Chaves de Comando

As opções de controle disponíveis ao usuário, localizadas na alavanca de acionamento (vide figura 2.1), serão representadas por três botões do tipo *push-button*: um deles representa o botão *SET* (S), que liga o sistema. O acionamento do outro botão equivale ao deslocamento da chave para a posição *OFF* (O), que desliga o dispositivo. Por fim, o acionamento do terceiro botão representa o deslocamento da chave para a posição *INCREASE* (I), que proporciona o aumento da velocidade do veículo.

O sistema pode ser desligado de duas maneiras: automaticamente (quando verifica-se acionamento dos pedais de freio ou embreagem ou da alavanca do freio de mão) ou manual, atendendo comando do usuário (chave de comando *OFF*). Em qualquer um dos dois casos, o efeito é o mesmo, ou seja, o sistema deve interromper o funcionamento. Desta forma foi usado apenas um *push-button* para representar tanto o envio de sinal por um dos sensores instalados nos pedais ou na alavanca (citados no item 5.1.2) *Sensores dos pedais e da alavanca do freio de mão*) quanto o acionamento da chave de comando pelo motorista.

Serão portanto três botões ao todo: um para a opção *SET*, um para a *OFF* (e sensores) e um para a *INCREASE*. O esquema de montagem dos botões *INCREASE* e *SET* está representado na figura 5.4. O botão *OFF* é ligado diretamente na placa, como veremos a seguir, uma vez que nela já está instalado o capacitor e o resistor necessários para evitar ruído no acionamento dos botões.

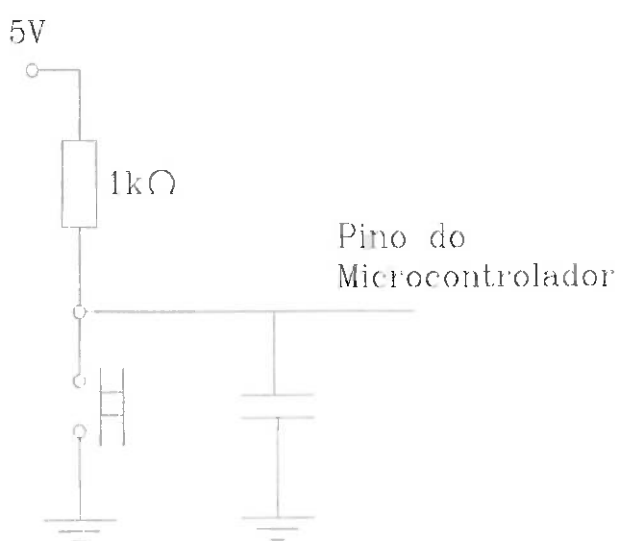


Fig. 5.4: esquema de montagem de um *push-button*.

A tensão de 5 Volts é fornecida pela placa da ECU. Quando o botão é pressionado fecha-se o circuito, permitindo a passagem de corrente do pino do microcontrolador até o terminal negativo (terra) do circuito. Para o microcontrolador, isto equivale ao envio de um sinal *LOW* para o pino correspondente.

A figura 5.5 mostra a instalação dos três botões na bancada do laboratório. O botão da esquerda corresponde ao *OFF*, o do meio ao *SET* e o botão da direita ao *INCREASE*.



Fig. 5.5: montagem dos botões na bancada.

5.3 - ECU (Electronic Control Unit)

A ECU (Electronic Control Unit), mostrado na figura 5.6, é o componente mais complexo do sistema. É também o elemento responsável por receber e interpretar os sinais dos sensores e das chaves de comando, realizar o processamento — levando em consideração todos os parâmetros do projeto — e enviar os sinais de comando adequados ao Controlador do Motor de Passo. Os componentes da ECU, especificados abaixo, são montados em uma placa de circuito impresso. O esquema elétrico desta placa está representado no Anexo 2.



Fig. 5.6: a ECU.

5.3.1) O Microcontrolador

O primeiro passo para a determinação dos componentes da ECU foi a escolha do microcontrolador. Este é o elemento principal do sistema, responsável por realizar todo o processamento lógico.

Optou-se pela utilização do microcontrolador 8031, da família 8051, pelo fato de que este componente atende a todos os requisitos do projeto. Além disso, o 8031 permite programação relativamente simples e é barato.

O 8051 roda com o programa gravado em sua ROM interna, que deve ser gravada durante o processo de fabricação. O 8031 não possui ROM interna, o que implica na necessidade de utilização de um chip de EPROM. Esta característica por outro lado permite que se desenvolva o sistema gravando e desgravando a EPROM quantas vezes forem necessárias, o que não ocorre com o 8051.

O chip utilizado possui as seguintes especificações:



A figura 5.8 mostra o 8031 utilizado no projeto.

5.3.2) O Hardware básico

O circuito de Hardware mínimo para a utilização do 8031 é composto, além logicamente do próprio chip, por um Latch (74LS373) e um chip de EPROM (2764). Um resistor, um cristal oscilador e oito capacitores completam o circuito, como mostrado na figura abaixo:

Na montagem da ECU foram utilizados ainda um soquete para a instalação de um chip de RAM externa e componentes do circuito da fonte regularora de tensão.

5.3.3) A EPROM

A EPROM (chip número 2767) possui 8 kBytes de memória. É neste componente que se faz a gravação do programa. Quando alimenta-se o sistema, o 8031 passa a realizar as operações contidas na EPROM automaticamente. Para a gravação do programa neste componente utilizou-se o gravador FLEX-700 UNIVERSAL PROGRAMMER & TESTER - Tribal Microsystems (modelo PAC-DIP40).

Uma vez gravado, o programa da EPROM não sofre alterações, a não ser que o chip seja exposto a luz ultravioleta por no mínimo 20 minutos. O conteúdo da EPROM é então apagado, e pode-se assim gravar outro programa.

O chip de EPROM utilizado possui as seguintes especificações:



5.3.4) A RAM

O 8031 tem 4 kBytes de memória RAM interna. Aqui são armazenados as variáveis do programa, que no caso são rotação do motor, parâmetros do TIMER, etc., como será visto adiante. A capacidade de memória deste chip já é suficiente para a aplicação. Entretanto a expansão de memória pode ser feita, quando necessário, utilizando-se um chip de RAM (6264) com capacidade para 64 kBytes. A montagem da ECU neste projeto permite que se realize esta expansão (vide esquema elétrico da placa, Anexo 2). A placa possui soquete para este chip.

Neste projeto não foi utilizado chip de RAM externa. Caso fosse necessário, usar-se-ia o seguinte componente:

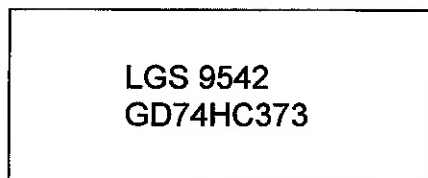


5.3.5) O Latch

O Latch (74HC373) é o componente responsável pela manutenção dos endereços correspondentes aos pinos A0 a A7 do microcontrolador, para utilização pela EPROM. Quando o 8031 envia o sinal PSEN\, o latch é habilitado e então os endereços de A0 a A7 da via

multiplexada são transferidos para a saída do latch. Como se pode notar pela figura 5.7, este é um dos elementos indispensáveis na composição do sistema.

O chip utilizado é o seguinte:



A foto abaixo mostra os chips utilizados (o latch, a RAM, a EPROM e o 8031).

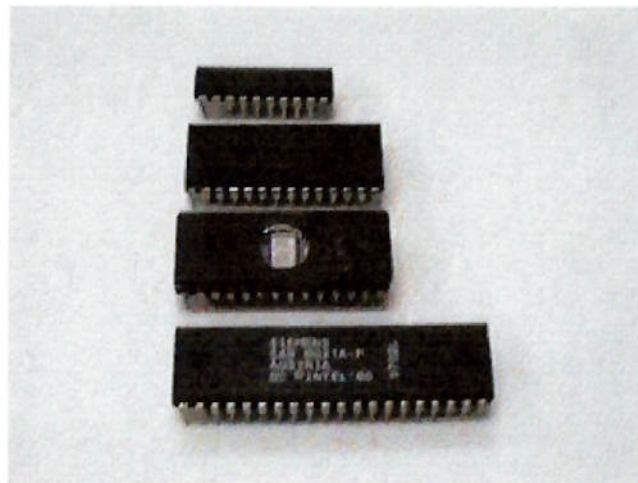


Fig. 5.8: de cima para baixo: o LATCH, a RAM (opcional), a EPROM e o 8031.

5.3.6) O Cristal Oscilador

O cristal é o componente do circuito que determina a frequência com que o microcontrolador realiza as operações internas. O 8031 pode operar com cristais de 3,5 a

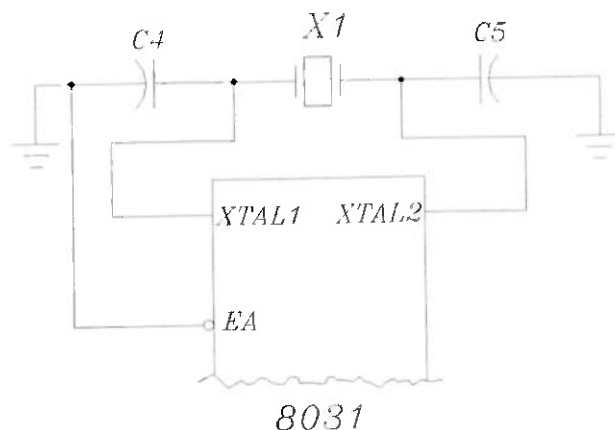


Fig. 5.9: montagem do cristal (X1).

12 Mhz. Escolheu-se um cristal oscilador de 8Mhz para compor o circuito, uma vez que esta frequência de clock já é suficiente para o microcontrolador operar adequadamente sob as condições estabelecidas.

A mudança das especificações do cristal no projeto, ainda que possa ser realizada, implicaria na alteração de vários parâmetros do programa, já que a frequência de oscilação (número de pulsos por segundo fornecido pelo cristal) é essencial no cálculo dos valores do TIMER do programa. A figura 5.9 mostra o esquema de instalação do cristal (X1) na placa da ECU. C4 e C5 são capacitores e XTAL1, XTAL2 e EA são pinos do microcontrolador (8031).

5.3.7) Fonte e Capacitores

A alimentação do microcontrolador e do controlador de motor de passo é feita pela bateria do automóvel que gera 12V (DC-corrente contínua). Como necessitou-se além dos 12V tensão de 5V (DC) um regulador de tensão foi colocado na placa do microcontrolador. O regulador utilizado foi um 7085, que associado com alguns capacitores em paralelo, entre o terminal negativo (terra) e o positivo fornecem tensão estável e aceitável para nível TTL.

A especificação do regulador utilizado segue abaixo:

M63AH LM340T5 7805 P+

5.3.8) Terminais

A ECU possui cinco conjuntos de terminais de entrada e/ou saída, que chamaremos de portas. Através da porta CN1 (dois pinos) realiza-se a operação de RESET. Quando os dois pinos desta porta são conectados, fecha-se o circuito (vide figura 5.10)

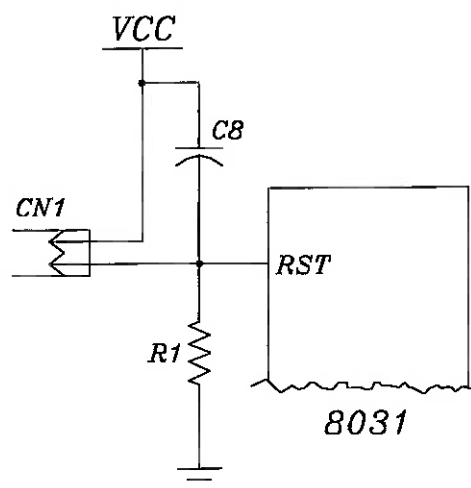


Fig. 5.10: porta RESET (CN1)

permitindo a passagem de corrente até o pino RST do 8031. Quando isto ocorre o 8031 interrompe o processamento e retorna ao início do programa gravado na EPROM. O processo é análogo ao que acontece quando se liga o sistema. Por razões a serem expostas adiante, conectou-se esta porta ao botão que representa a chave de comando *OFF*.

Através da porta CN3 o 8031 envia os sinais para o Controlador do Motor de Passo. O pino 1 (P1.0 do 8031) é ligado ao pino CW/CCW\ do controlador. O pino 2 (P1.1) ao CLOCK\ e o pino 3 (P1.3) ao ENABLE, como será visto adiante.

A porta CN9 permite a alimentação elétrica da placa. O pino 3 recebe o terminal negativo da fonte externa (terra) enquanto que o pino 1 recebe o positivo (12V).

Através do pino 1 da porta CN8 (P3.2 do 8031) o sensor de rotação envia os sinais ao microcontrolador. O pino 2 (P3.4) desta porta recebe os sinais enviados pela chave de comando *INCREASE*. Nesta porta conecta-se também, através do pino 3 (P3.7), o botão que representa a chave de comando *SET*. A figura 5.11 ilustra o esquema elétrico das portas CN3 e CN8.

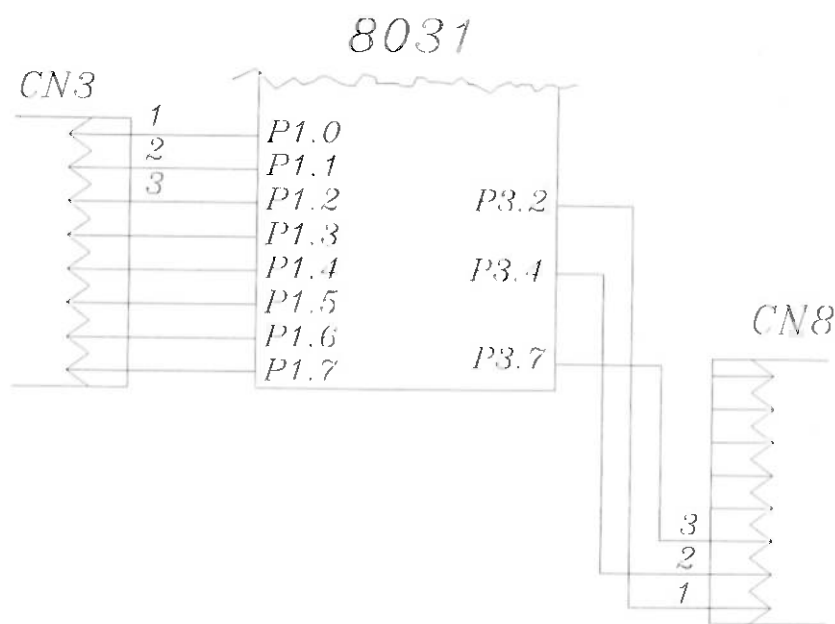


Fig. 5.11: portas CN3 e CN8.

A porta CN7 não apresenta uso. Pode-se utilizá-la se houver necessidade de mais terminais para transferência de dados.

5.4 - Motor de Passo

5.4.1) Seleção do Atuador

O elemento que exerce o papel de atuador do sistema deveria ser preciso (para favorecer o posicionamento correto da borboleta), leve e compacto (para facilitar a instalação), deveria permitir controle simples e ser capaz de movimentar a borboleta do acelerador. Realizou-se um ensaio para a determinação da força necessária para tracionar o cabo do acelerador (e conseqüentemente movimentar a borboleta) e verificou-se, através do auxílio de um dinamômetro, que esta força equivale a 3,5 kgf. O curso do cabo, como visto no item 4.2 - *Determinação da Sensibilidade*, é de 47 mm.

Um movimentador linear de pórtico móvel foi uma opção de atuador. Este tipo de atuador permite que se realize um movimento bastante preciso e satisfaz as exigências de força e curso. Entretanto, o preço elevado e o tamanho deste mecanismo inviabiliza sua utilização na aplicação desejada.

Outra opção seria a utilização de um pistão com controle de posição eletromagnético. Novamente, o tamanho deste equipamento inviabiliza sua montagem.

A terceira e mais viável opção foi a utilização de um motor de passo. Este dispositivo atende às exigências propostas.

O motor de passo tem portanto como função movimentar a borboleta de acordo com o comando enviado pela unidade de controle (ECU). Foi fixada a extremidade de um fio de náilon à polia do motor de passo, e a outra à

alavanca da borboleta no mesmo ponto em que é fixado o cabo do acelerador (vide figura 3.2), de modo que ambos realizassem movimentos solidários: quando o sistema está desativado e o motorista pressiona o pedal do acelerador, o cabo do acelerador movimenta-se puxando a alavanca e movimentando a borboleta. Neste caso, o fio de náilon não é tracionado, ficando “frouxo”.

Quando o sistema do Piloto Automático está ativado, o motor de passo provoca o enrolamento do fio na polia, o que, analogamente, movimenta a alavanca e portanto a borboleta. Desta vez o cabo do acelerador é que perde a tensão. No veículo o pedal movimentar-se-ia da mesma forma que o faz quando é pressionado, devido a seu peso, dando a impressão ao motorista de que o pedal está sendo puxado automaticamente.

O motor de passo utilizado apresenta as seguintes especificações:

Fabricante: **Minibea Co. Ltda.**

Modelo: **23LMC703**

Corrente por fase: **2,4 A**

Tensão por fase: **3 V**

Força tangencial mínima na polia que provocasse o escorregamento do motor (valor medido): **7 kgf**

Pulsos por volta: **p = 200**

Como são necessários 200 pulsos para realizar movimento de 360°, cada pulso corresponde a 1,8°. A foto a seguir mostra o motor de passo utilizado.



Fig. 5.12: o motor de passo.

5.4.2) Funcionamento do Motor de Passo

O motor de passo utilizado é um motor bipolar de ímã permanente, que consiste de um ímã permanente, o rotor, envolvido pelos pólos do estator que comporta os enrolamentos. Assim o motor é posto em movimento pela energização, em seqüência, de suas 4 fases.

No caso da energização *full-step duas fases*, como o próprio nome já diz, duas fases são energizadas simultaneamente. Desta forma, maior torque é gerado. Este foi o modo de acionamento escolhido no projeto.

A energização imposta pelo controlador no modo citado acima está representada na figura 5.13, que mostra as formas de ondas dos sinais nas bobinas.

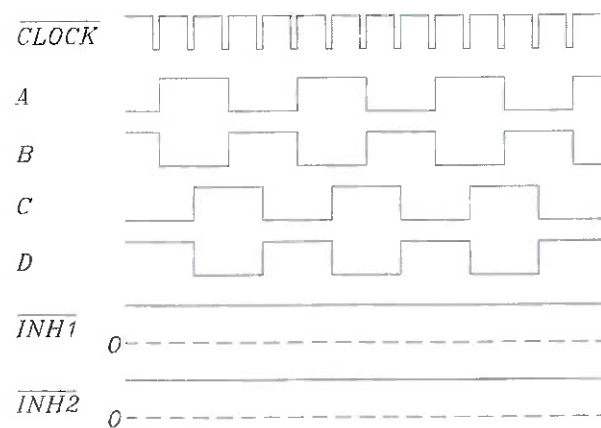


Fig. 5.13: energização das fases (A, B, C, D) do motor de passo.

5.4.3) Montagem e Fixação

O fio de náilon do motor de passo foi fixado a uma polia localizada no eixo do motor. Para tanto fez-se um furo passante nesta polia, de diâmetro 3 mm, como mostra a figura abaixo.

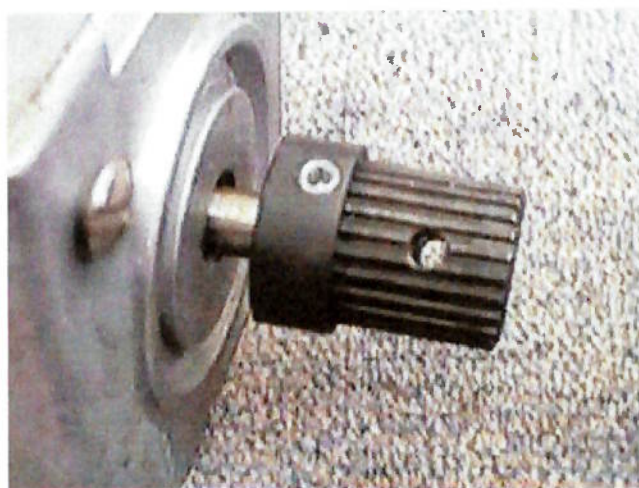


Fig. 5.14: furo para fixação do fio à polia.

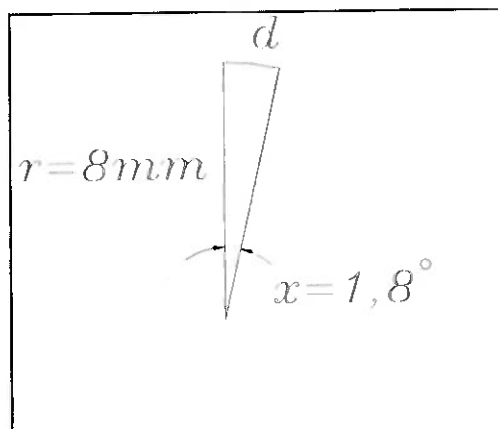
O raio da polia é de 8 mm. Para se determinar o deslocamento linear do fio que corresponde a um pulso do motor, realizam-se as seguintes contas:

$$r = 8 \text{ mm}$$

$$2\pi \Rightarrow 360^\circ$$

$$x \Rightarrow 1,8^\circ \quad \therefore \quad x = 3,14\text{E-}2 \text{ rad}$$

$$d = r \cdot x \quad \therefore \quad d = 0,25 \text{ mm}$$



Nas contas acima, d é o deslocamento mínimo do cabo do motor de passo (fio de náilon), já que corresponde ao deslocamento quando o motor de passo é acionado por um único pulso.

De acordo com o item 4.2 - *Determinação da Sensibilidade*, a precisão mínima é de 0,5 mm. Como cada pulso do motor de passo provoca deslocamento do fio de 0,25 mm, sendo portanto esta a precisão do componente, o motor atende a especificação.

Com relação ao curso do cabo, tem-se o seguinte: a polia tem raio 8 mm, portanto sua circunferência mede 50,2 mm ($c = 2 \cdot \pi \cdot r$). Isto significa que, para 200 pulsos do motor, o cabo desloca-se 50,2 mm, número maior que os 47 mm exigidos para o curso do cabo (como visto também no item 4.2).

Tem-se abaixo o esquema de montagem do sistema atuador:

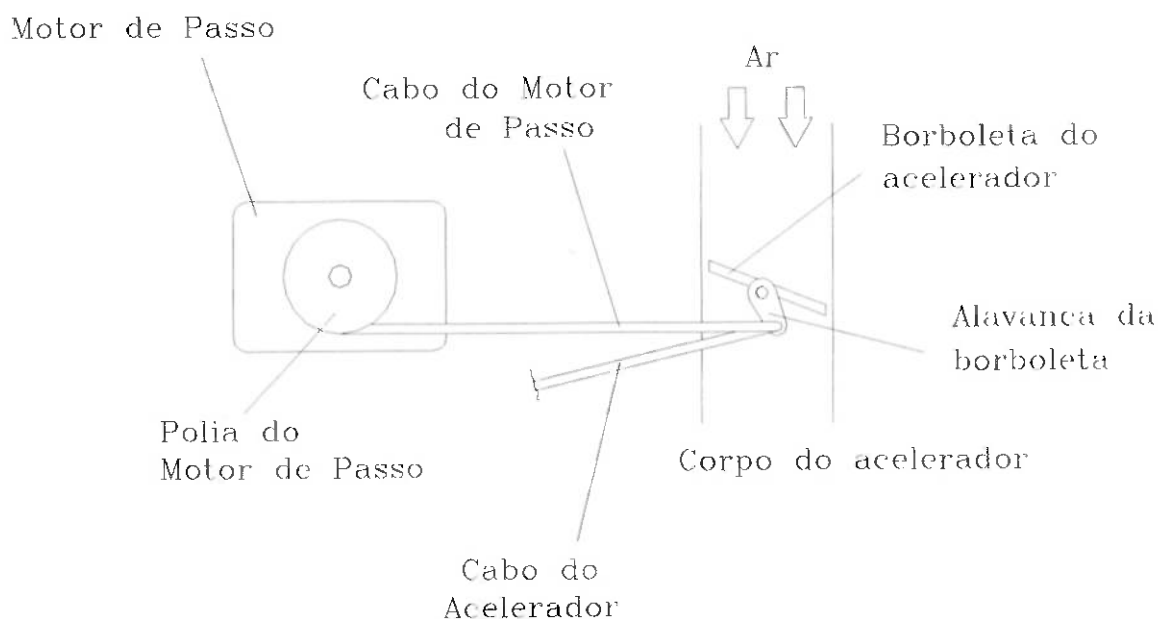


Fig. 5.15: esquema do sistema atuador.

A ligação elétrica do motor de passo é feita de modo simples e seguiu a ordem abaixo:

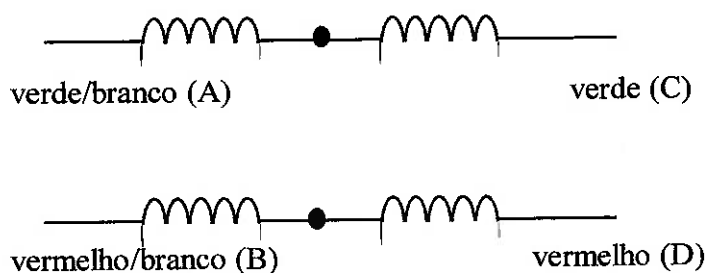


Fig. 5.16: enrolamento do motor de passo e sua ligação.

As cores se referem aos fios do motor e as letras em maiúsculo à ordem de energização imposta pelo controlador do motor de passo (A-B-C-D).

Observa-se que o motor de passo foi fixado à tampa de válvulas do motor. No automóvel, a fixação dar-se-ia em um local que não estivesse sujeito a altas temperaturas, como em uma das longarinas dianteiras. A localização do motor de passo neste projeto visou apenas a facilidade de fixação.

As fotos abaixo mostram a fixação do motor de passo na bancada. O fio de náilon é preso na polia e na alavanca da borboleta do acelerador.

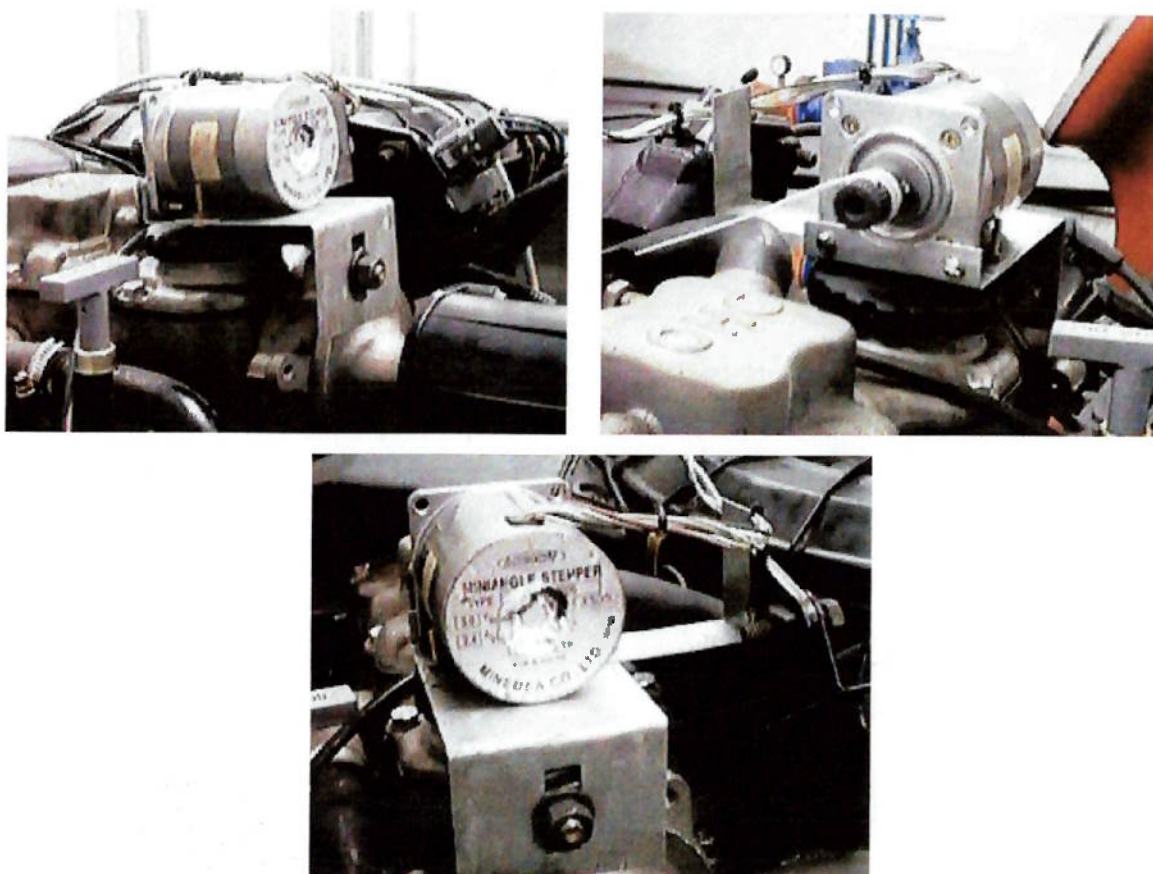


Fig. 5.17: fixação do motor de passo.

5.5 - Controlador do Motor de Passo

5.5.1) Entradas e Saídas

A necessidade de se utilizar um motor de passo como o especificado no item anterior, devido às exigências de força, implicou na necessidade da montagem de um controlador para o motor de passo, que pudesse regular a tensão (dos 12V da bateria do veículo para os 3V especificados do atuador) e fornecer a corrente necessária para o mesmo.

Assim sendo, escolheu-se um controlador de motor de passo bipolar de duas fases, que suportasse o modo *full-step* de acionamento operasse com alimentação de fase de +12 V_{DC} e que pudesse fornecer o torque necessário através do controle das correntes das fases por um chopper PWM.

Representa-se abaixo as entradas necessárias (provenientes da ECU) e as saídas disponíveis (para o acionamento do motor de passo):



Fig. 5.18: entradas e saídas do controlador.

A ECU fornece portanto *CW/CCW* (sentido de rotação), *CLOCK* (frequência de acionamento) e *ENABLE* (habilitação) e a partir destes dados o

Controlador do Motor de Passo fornece os sinais necessários para a energização da fase correta do atuador.

O primeiro sinal de entrada permite o controle do sentido de rotação do motor de passo (CW/CCW). Se em nível lógico HIGH o motor gira no sentido horário; se em nível lógico LOW, o motor gira no sentido anti-horário.

O segundo sinal determina a movimentação do motor, através do sinal de clock. Assim sendo, o rotor é acionado em um passo toda vez que o nível de clock transcorre de LOW para HIGH.

Através do pino ENABLE permite-se desenergizar as fases do motor de passo, o que é muito importante para a nossa aplicação no projeto, pois quando o sistema de controle da velocidade não estiver funcionando o eixo do motor não pode apresentar resistência à movimentação da borboleta do acelerador. Sendo assim o motor só estará energizado enquanto o motorista estiver utilizando o Piloto Automático.

5.5.2) Descrição do Funcionamento

O sistema de controle do motor de passo escolhido faz uso do par de controladores L297 e L298N, componentes da SGS-THOMSON Microelectronics.

A razão da escolha deu-se pela facilidade da montagem do sistema, que não utiliza muitos componentes adicionais, pela facilidade na obtenção dos componentes no mercado e pelo fato de que o par possui ótimas

características de interação com os sinais de controle gerados por um microcontrolador.

O primeiro elemento desse par, o componente L297, tem como função a transcodificação dos pulsos de clock em energização das fases através de dois circuitos de chopper PWM que regulam a corrente nos enrolamentos do motor.

A figura abaixo mostra o diagrama em blocos do L297.

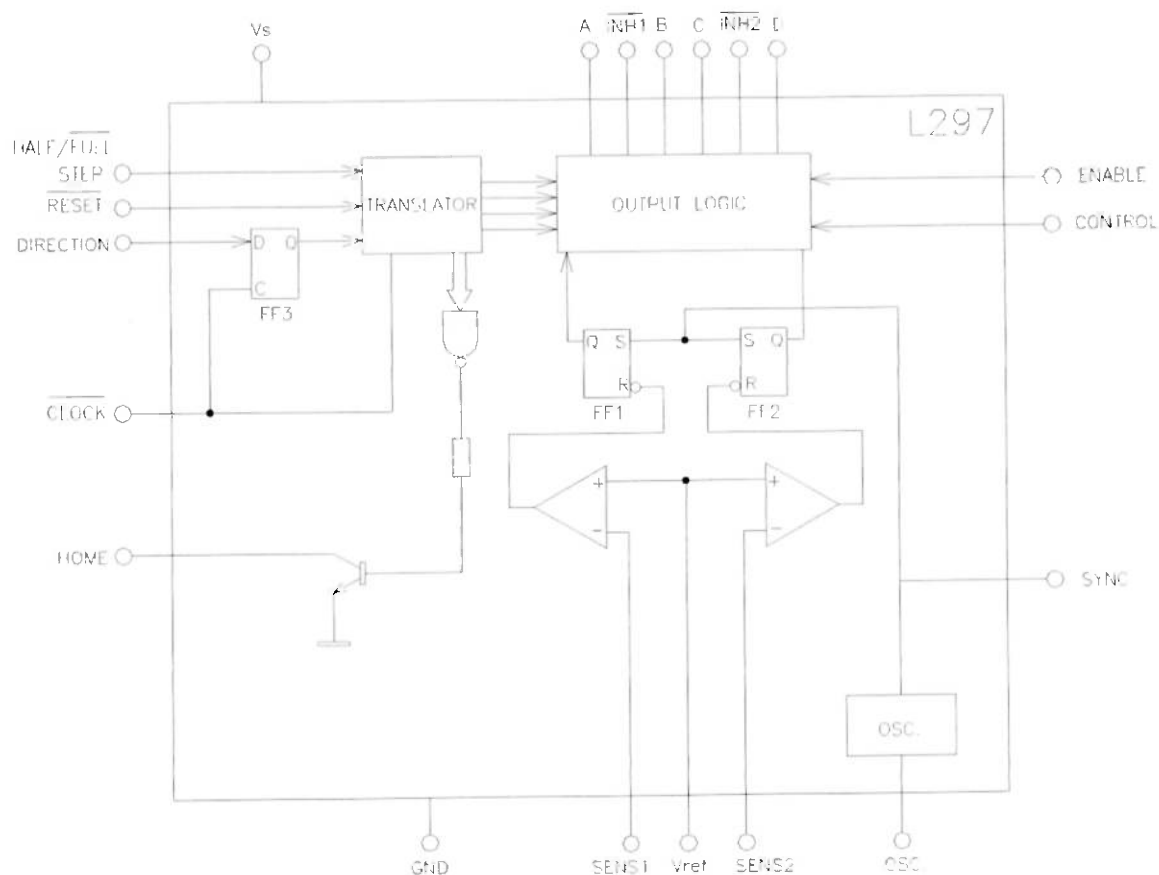


Fig. 5.19: diagrama do L297.

No caso desse projeto o transcodificador gerará a sequência no modo *full-step* com duas fases energizadas. Para a utilização do sistema nesse modo de operação os pinos *Inhibits* estarão em nível lógico HIGH durante todo o período de funcionamento. Para que o controle do chopper atue sobre as fases o pino *Control* estará em nível HIGH. O controlador do chopper é feito por um oscilador interno do chip e aciona os flip-flops FF1 e FF2. Quando a corrente do enrolamento atinge o valor de pico a tensão no *sense* resistor iguala-se a V_{ref} , assim o comparador correspondente “reseta” seu flip-flop.

Quanto aos outros pinos utilizados podemos destacar:

Tab. 5.1: pinos do controlador.

GND	Conexão ao terra
A	Sinal da fase A para o estágio de potência do motor
B	Sinal da fase B para o estágio de potência do motor
C	Sinal da fase C para o estágio de potência do motor
D	Sinal da fase D para o estágio de potência do motor
Vs	Tensão de alimentação 5V
SENS2	Entrada para tensão de amostra da corrente de carga do estágio de potência das fases C e D
SENS1	Entrada para tensão de amostra da corrente de carga do estágio de potência das fases A e B
OSC	Um filtro RC conectado a esse terminal determina a taxa do chopper, seguindo a razão $f=1/0.69 RC$

O módulo de potência do controlador do atuador fica a cargo do segundo chip, o driver de duas pontes completas L298.

Sua função, portanto, é energizar cargas indutivas como um motor de passo através de sinais TTL, fornecidos no caso deste projeto pelo L297.

O diagrama de bloco abaixo mostra os pinos de entrada In1, In2, In3 e In4 que são os sinais de ativação das fases, e os pinos EnA e EnB que no caso particular desse projeto estarão sempre em nível lógico HIGH. Os pinos *sense A* e *sense B* vão ser responsáveis pelo fornecimento do sinal de controle da corrente de chopper e os pinos out1, out2, out3 e out4 são as saídas para os enrolamentos do motor.

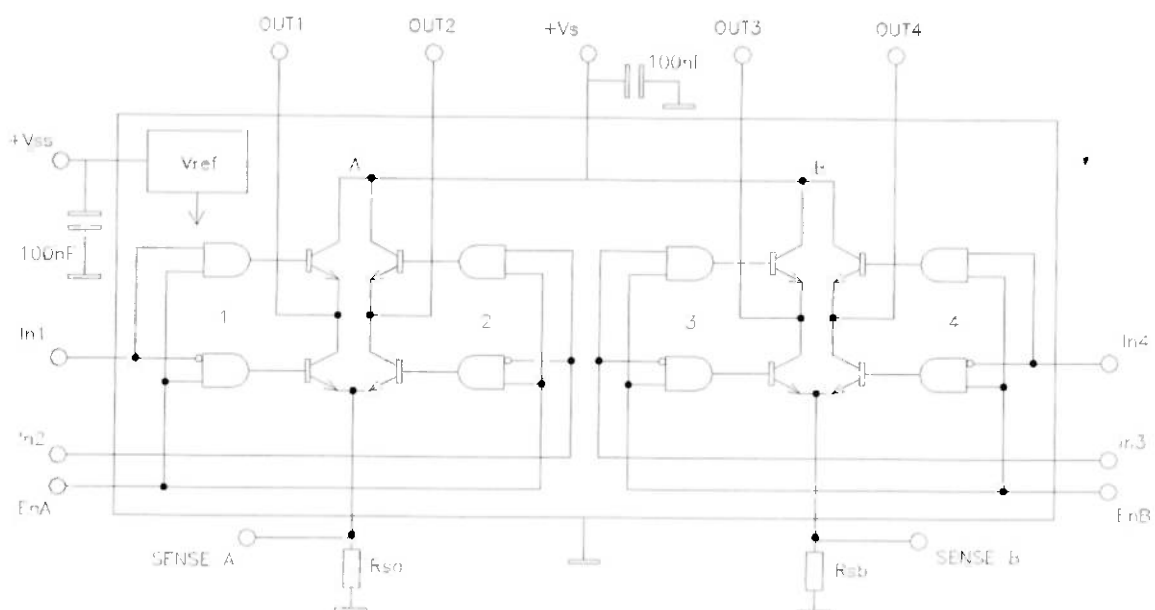


Fig. 5.20: diagrama em blocos do L298.

Na figura abaixo tem-se o circuito implementado:

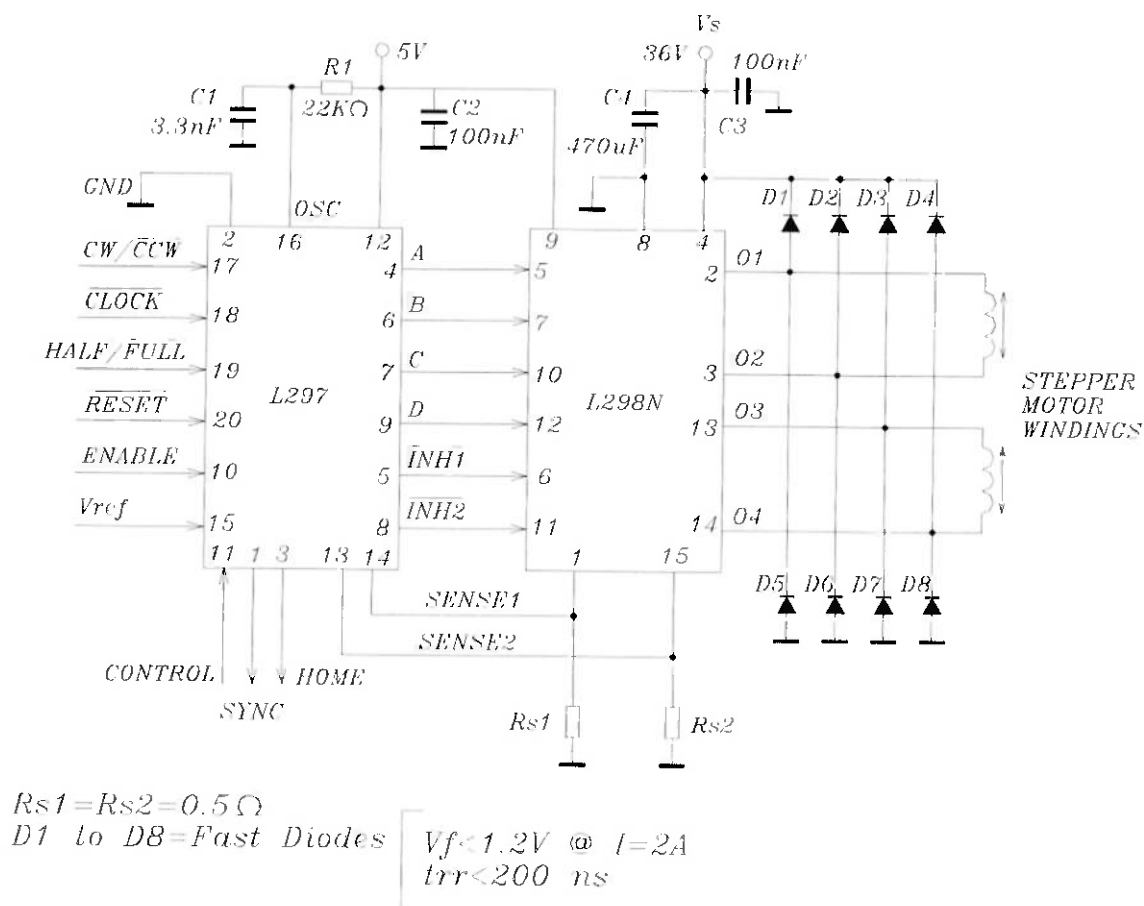


Fig. 5.21: esquema elétrico do Controlador do Motor de Passo.

O circuito possui como resistores R_s resistências de carvão de $0,5\Omega$ e diodos rápidos com $V_f < 1.2V$ para $I=2A$ e $t_{rr} < 200ns$. Para o controle de V_{ref} um divisor resistivo composto por um potenciômetro e uma resistência fixa foi colocado de modo a tensão ser ajustada e não ultrapassar o limite de $1V$.

Quanto a montagem do circuito foi utilizada uma placa universal de modo a facilitar e otimizar a montagem e a disposição dos componentes, conforme pode ser visto abaixo:

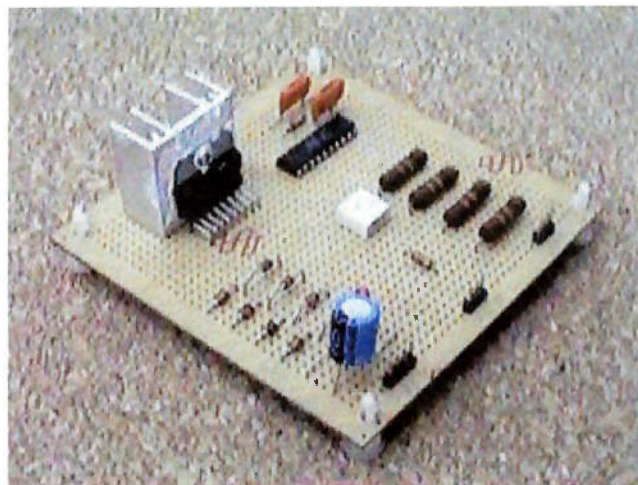


Fig. 5.22: placa Controladora do Motor de Passo.

As figuras abaixo mostram a ligação elétrica dos componentes.

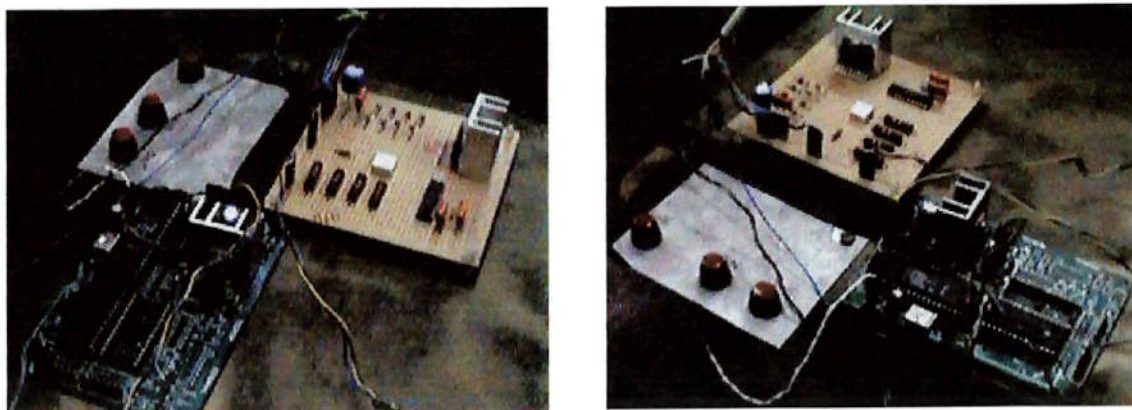


Fig. 5.23: ligação elétrica.

6. SOFTWARE DE CONTROLE

O programa de controle, responsável pela lógica de monitoração da rotação do motor de combustão e do controle da posição angular do motor de passo, foi desenvolvido em Assembler utilizando-se módulos de rotinas. Essas rotinas foram desenvolvidas com o intuito de facilitar a programação e de diminuir a possibilidade de problemas na elaboração do software, já que as rotinas podiam ser testadas separadamente durante o desenvolvimento do programa.

Explica-se a preocupação no desenvolvimento de módulos separados pelo fato de que não se dispunha de um simulador para o microcontrolador. Portanto, para cada teste era necessário que o programa fosse compilado, um chip de EPROM apagado e o programa gravado para então ser testado, o que implicava em muito tempo dispendido.

Assim sendo, além do módulo principal que integra as outras rotinas, foram elaborados outros cinco módulos: *Rotação*, *Atuador*, *Delay*, *Limitador* e *Interrup*. A seguir será explicado o funcionamento de cada rotina.

6.1 - Rotina Delay

Por várias vezes durante a execução do programa é necessário que a situação se mantenha constante por um período de tempo previamente estipulado. Alguns exemplos são: fornecimento de uma onda quadrada para o clock do motor de passo e tempo da medição dos pulsos do encoder para cálculo da rotação do motor.

A rotina Delay, portanto, têm a função de manter o programa estacionado por um período de tempo ajustado. A sua idéia é a de um simples contador em *looping*. Sabendo-se o tempo do ciclo de operações envolvidas em cada comando do 8031 calcula-se a quantidade numérica que deve ser contada.

Sua lógica é a seguinte: os valores de tempo de contagem são passados pelo programa através dos endereços 0DH, 0EH, e 0FH. No primeiro é armazenado a quantidade de vezes que a contagem será feita e nos outros dois o valor inicial de cada contagem. Considera-se que uma contagem chegou ao fim quando o contador atinge o valor FFFFH.

No início da rotina, transfere-se os valores dos endereços acima para o registrador R6 e para TH1 e TL1, respectivamente. Estes dois últimos são endereços utilizados pelo contador 1 (o 8031 possui dois contadores). Deste modo, contam-se tantas vezes quantas forem indicadas pelo valor de R6 partir do valor de 16 bits formado pela união de TH1 e TL1.

Após a transferência dos valores o contador é acionado. Toda vez que o contador atinge o valor FFFFH o bit TF1 é acionado. O programa aguarda até

portanto até que o bit seja setado para que a rotina prossiga. Decrementa-se então R6 e reinicia-se a contagem novamente.

```

DELAY:                                ; PASSAGEM DE VALORES DE CONTAGEM
      MOV R6,0DH                      ; QUANTIDADE DE VEZES
REPETE:
      MOV TH1,0EH                     ; INICIO DO CONTADOR ( 16 BITS)
      MOV TL1,0FH
      SETB TR1                        ; CONTADOR 1 É INICIADO
      JNB TF1,$                       ; AGUARDA-SE A CHEGADA EM FFFF H
      CLR TF1
      DJNZ R6,REPETE                 ; DECREMENTA-SE R6 E CONTA NOVAMENTE CASO O
                                      ; REGISTRADOR NÃO FOR ZERO
      CLR TR1                        ; DESLIGA-SE O CONTADOR
RET

```

6.2 - Rotina Rotação

A rotina rotação fornece a rotação do motor de combustão. Através de um contador calcula-se o número de vezes em que o nível lógico fornecido pelo encoder passa de baixo para alto.

Os pulsos do encoder são medidos por 0,05 segundo e então o valor encontrado é multiplicado por cinco pois os dados são tratados pelo programa principal para 0,25 segundo.

A rotina trabalha da seguinte forma: o contador de 16 bits é ajustado para início em 0000H. E os parâmetros para Delay de 0,05s são fornecidos. Assim o contador é ligado, aguarda-se o tempo de Delay e desliga-se o contador. Multiplica-se o valor contado por cinco e o valor é armazenado no registrador R0.

```

ROTACAO:
      MOV TH0,#00H                   ; O CONTADOR É INICIADO EM 0000H
      MOV TL0,#00H
      MOV 0DH,#01H                   ; AJUSTADO PARÂMETROS DE DELAY
      MOV 0EH,#7DH                   ; AMOSTRA DE 0,05 S.
      MOV 0FH,#CBH
      SETB TR0                       ; CONTADOR DE PULSOS EXTERNOS É LIGADO

```

LCALL DELAY	; DELAY É ACIONADO
CLR TR0	;CONTADOR DE PULSOS EXTERNOS É DESLIGADO
MOV A,TL0	; A CONTAGEM É MULTIPLICADA POR 5
MOV B,#05D	
MUL AB	
MOV R0,A	; O VALOR DA ROTAÇÃO PARA 0,25S. É ARMAZENADA
	; NO REGISTRADOR R0
RET	; RETORNA-SE AO PROGRAMA

OBS.: os contadores do 8031 podem operar contando pulsos internos ou externos. O contador 1 opera no primeiro caso, contando o número de pulsos de clock do cristal. O contador 2 opera no segundo, contando os pulsos enviados pelo encoder. Define-se o modo de operação através da palavra de controle TMOD.

6.3 - Rotina Limites

Com a finalidade de não sobrecarregar o motor, limites superior e inferior foram impostos pelo projeto. Assim, o programa deve verificar sempre se a faixa de rotação em que o piloto automático foi acionado (ou está operando) está dentro de uma faixa apropriada.

Para tanto uma rotina chamada Limites foi implementada. Sua meta é verificar se o sinal enviado pelo encoder corresponde a uma rotação entre 1440 e 4440 rpm ou não. Caso positivo o registrador R1 guarda FFH e caso contrário 00H. Ao ser iniciada o valor da rotação é passado e comparado com 24H (36 decimal), que corresponde ao valor contado em 0,25s pelo encoder se a rotação do motor fosse 1440 rpm. (Obs.: o encoder envia 6 pulsos por volta). Se o valor for menor o bit de *carry* é setado e se for igual ou maior o mesmo é

zerado, o que permite passar ao trecho Rot2. Nesse trecho a rotação é comparada com 6FH (valor equivalente a 4440rpm) e caso o valor encontrado for maior o carry é zerado o que provoca o carregamento do registrador R1 de 00H. Evidentemente, no caso do valor ser menor ou igual a 4440 rpm R1 recebe FFH.

```
LIMITES:
    MOV A,R0          ; COMPARAÇÃO DA ROTAÇÃO COM 1440 RPM
    CJNE A,#24H,PROX  ; SE ROTAÇÃO FOR <> DE 24H ENTÃO PROX E SE FOR MENOR
                      ; CARRY É SETADO
    CLR C              ; SE A ROTAÇÃO FOR IGUAL CARRY É ZERADO

PROX:
    JNC ROT2          ; CASO A ROTAÇÃO FOR SUPERIOR AO LIMITE INFERIOR
                      ; PROSSEGUE
    LJMP FORA         ; FORA DO LIMITE INFERIOR

ROT2:
    CJNE A,#6FH,LIM   ; COMPARAÇÃO DA ROTAÇÃO COM 4440 RPM
    SETB C             ; SE A ROTAÇÃO FOR IGUAL CARRY É SETADO

LIM:
    JNC FORA          ; ROTAÇÃO FORA DO LIMITE SUPERIOR
    MOV R1,#0FFH      ; ROTAÇÃO DENTRO, R1 RECEBE FF H
    LJMP OUT

FORA:
    MOV R1,#00H        ;ROTAÇÃO FORA, R1 RECEBE 00H

OUT:
RET
```

6.4 - Rotina Atuador

A rotina atuador gera as informações ao controlador de motor de passo quanto ao sentido de rotação e quantidade passos a serem dadas. Essas informações são fornecidas através dos bits 90H e 91H, respectivamente. Na primeira fase da rotina ela habilita o motor de passo através do bit 92H, ligado ao *Enable* do Controlador do Motor de Passo, depois verifica-se o sentido de rotação desejado (correspondente à aceleração ou desaceleração do

automóvel). Passadas estas informações, gera-se uma onda quadrada com a quantidade de pulsos e período determinados pelo programa principal.

```
ATUADOR:
    SETB 92H                ; ENABLE DO CONTROLADOR DO MOTOR DE PASSO É
                           ; ACIONADO
    MOV A,0CH               ; SENTIDO DE ROTAÇÃO É PASSADO
    CJNE A,#0FH,DESACEL

    CLR 90H                 ; SENTIDO DE ACELERAÇÃO É ACIONADO
    LJMPL GIRAR

DESACEL:
    SETB 90H                ; SENTIDO DE DESACELERAÇÃO É ACIONADO

GIRAR:
    CLR 91H                 ; ONDA QUADRADA DE CLOCK É GERADA
    LCALL DELAY             ; QUANTIDADE DE PASSOS É DETERMINADO POR R7
    SETB 91H
    LCALL DELAY
    DJNZ R7,GIRAR
RET
```

6.5 - Rotina Interrup

Esta rotina permite que o motorista acelere o veículo sem que seja necessário acionar o pedal do acelerador, apenas aciona-se uma chave de comando (representado por um *push-button*) para realizar a tarefa.

Analisando-se esta função pelo ponto de vista de lógica do programa, necessitava-se de uma rotina que entrasse em vigor a partir de um sinal do motorista e que provocasse o cancelamento da ordem normal de execução do programa, executasse a aceleração e depois voltasse ao fluxo normal de comandos do programa.

Essas necessidades seriam completamente supridas usando-se uma interrupção. Quando é acionada, a interrupção pode interromper o fluxo normal de programação, executar os comandos dos endereços especificados por ela e retornar depois ao programa principal.

Na rotina de interrupção utilizada efetuou-se primeiramente um controle para que a rotação do motor estivesse dentro de uma área que ainda pudesse ser aumentada. Como o limite era 4440 rpm (valor de 111 decimal para o contador do programa) estipulou-se o valor de 4360 rpm (109 para o contador) como fator para o limite de rotação citado. Após dessa verificação carregam-se os valores para que o motor de passo seja acionado no sentido de acelerar, de 2 em 2 passos e que gaste em torno de 0,25s nesta operação

Especificados os parâmetros, o motor de passo é acionado e lê-se a nova rotação com a finalidade de guardá-la para que essa seja o novo valor a ser mantido.

```

INTERRUP:
    LCALL ROTACAO          ; OBTÉM ROTAÇÃO
    CJNE R0,#6DH,VERIFICA  ; SE ROTAÇÃO <> 109 JUMP PARA VERIFICA E CARRY =
                           ; 0 SE R0> 109
    LJMP DENTRO            ; SE R0 = 109 ESTA DENTRO DO ESPECIFICADO

VERIFICA:
    JNC VOLTAR             ; CASO CARRY = 0 LIMITE SUPERIOR DE ROTAÇÃO
                           ; ESTA SUPERADO

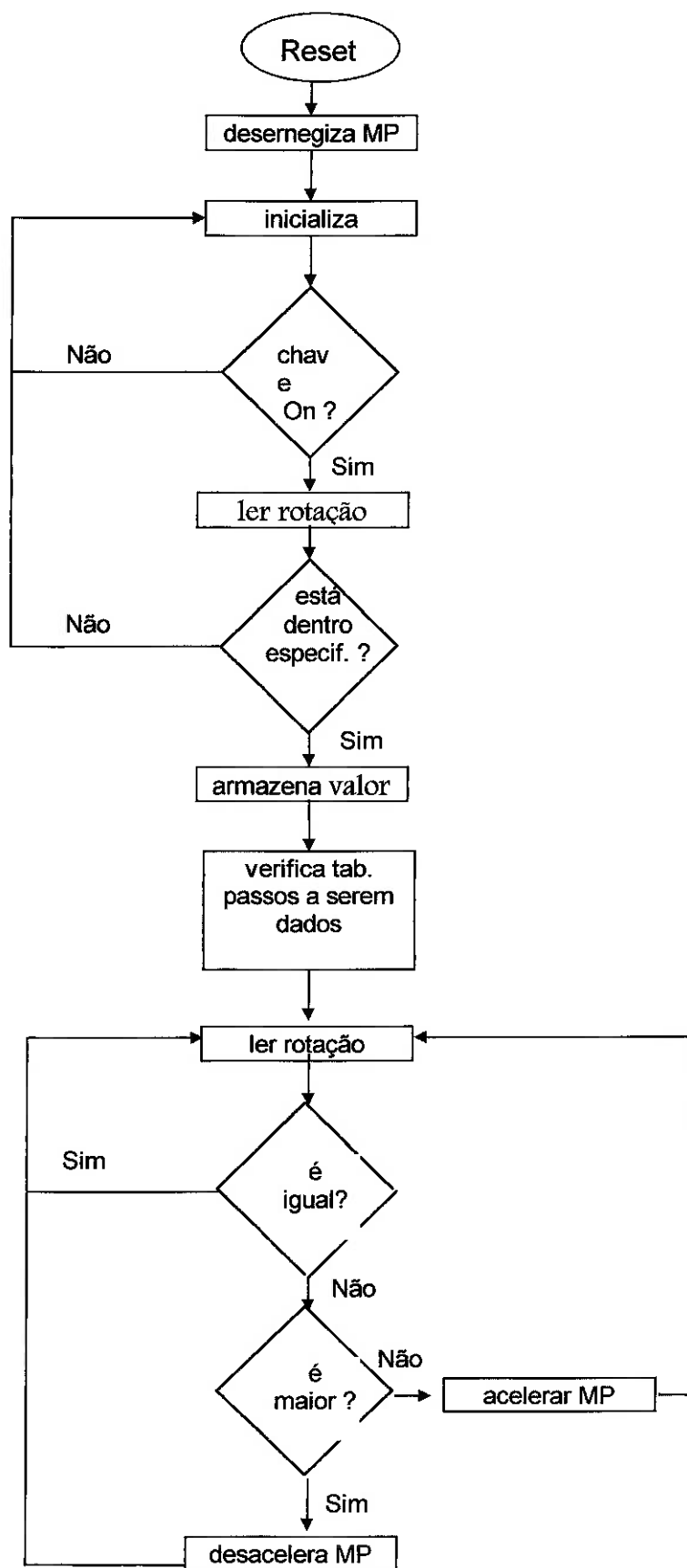
DENTRO:
    MOV R7,#02H            ; CARREGA 2 PASSOS PARA O MOTOR DE PASSO
    INC R4                 ; O CONTADOR DE PASSOS É INCREMENTADO
    MOV 0CH,#0FH           ; SENTIDO DE ROTAÇÃO DE ACELERAÇÃO É
                           ; CARREGADO
    MOV 0EH,#5DH           ; TEMPO DOS PASSOS SÃO CARREGADOS
    MOV 0FH,#3CH           ; PASSO EM 0,25 S.
    MOV 0DH,#02H
    LCALL ATUADOR          ; O ATUADOR MOVIMENTA O MOTO DE PASSO
    LCALL ROTAÇÃO          ; NOVO VALOR DE ROTAÇÃO É LIDO
    MOV 0AH,R0             ; GUARDA SE O NOVO VALOR DE ROTAÇÃO A SER
                           ; MANTIDO

VOLTAR:
    RETI                   ; FIM DA INTERRUPÇÃO

```

6.6 - Programa Principal

O programa principal é a parte dos comandos que possui a ordem das instruções e das execuções das rotinas. Para melhor entendimento dessa parte, segue abaixo o fluxograma do programa e depois os códigos em Assembler explicados por parte.



O fluxograma acima permite uma idéia global do programa. Toda vez que o controlador é ressetado o programa é iniciado, liberando-se o motor de passo e aguardando um comando do usuário para que o Cruise Control entre em funcionamento. Uma vez que a chave *Set* é acionada, o programa lê a rotação e verifica se está dentro da especificada. Estando dentro das rotações permitidas, o motor de passo é acionado de uma quantidade inicial de pulsos para que o mesmo puxe a borboleta da injeção exatamente como o cabo do acelerador o fazia quando o sistema foi acionada, para permitir a continuação suave da operação do motor, evitando "trancos".

O programa então se mantém em *looping* aumentando ou diminuindo o ângulo de abertura da borboleta conforme a necessidade, a fim de manter constante a rotação.

Segue abaixo o código em Assembler. Cada trecho do programa está comentado na sequência do texto.

```
;-----PROGRAMA PRINCIPAL-----  
  
ORG 00H  
LJMP INIC  
  
ORG 03H  
LJMP INTERRUPT  
  
ORG 0BH  
RETI  
  
ORG 13H  
RETI  
  
ORG 1BH  
RETI  
  
ORG 23H  
RETI
```

Os primeiro valores a serem inicializados são os da interrupção. Como somente uma interrupção seria utilizada, as outras possuem o comando de retorno logo em seguida como forma de garantia. Caso algum erro aconteça e outra interrupção não especificada seja acionada, o programa logo retorna ao seu fluxo normal.

Já no endereço 03H uma instrução de *jump* para a rotina Interrup é colocado para que a interrupção planejada seja executada sem problemas.

ORG 30H

INIC:

```

MOV SP,#40H           ;STACK POINTER

MOV PSW,#00H          ;USAR BC DE REGISTRADORES 0
MOV IE,#00H           ;VETOR INTERRUPTÃO (DESABILITADAS)
MOV TCON,#00H         ;VETOR CONTADOR (DESABILITADOS)
MOV TMOD,#15H         ;CONT0 MODO0, CONT1 MODO1
MOV TH0,#00H
MOV TL0,#00H

```

No endereço 30H é iniciado o programa, valores que não se alterarão ao longo do programa aqui são colocados: *Stack Pointer*, utilização do banco de registradores 0 do 8031, desabilitação da interrupção e modos dos contadores (contador 1 no modo de contagem interna para o Delay e contador 0 no modo de contagem externa para marcar os pulsos com origem no encoder).

LIGAR:

```

MOV P1,#00H           ;DESLIGA MOTOR DE PASSO
MOV R0,#00H           ;LIMPA ROTACAO
MOV R4,#00H
JB 0B7H,LIGAR         ;ESPERA ACIONAR ON (0B7H, PORTA 3)

LCALL ROTACAO          ;LE ROTACAO (ARMAZENA EM R0)
MOV 0AH,R0             ;SALVA ROTACAO A SER ATINGIDA
LCALL LIMITES          ;VERIFICA SE ESTA DENTRO DOS LIMITES. SE ESTA,
                       ; R1=01H
CJNE R1,#0FFH,LIGAR    ;SE R1<>FFH, VOLTA AO LIGAR

```

Um pequeno looping é criado para que aguarde-se o acionamento externo do piloto automático. Assim o motor de passo é colocado de forma a não impor resistência a movimentação pelo acelerador e os valores de registradores são zerados. O programa permanece neste estado até que o bit B7H (correspondente ao botão *Set*) caia para nível lógico LOW. A próxima etapa é então verificar se o valor de rotação em que se encontra o motor no momento em que se acionou o sistema está dentro dos limites estabelecidos.

Para tanto a rotação é lida e armazenada na memória. Através da rotina limites avalia-se as condições de se continuar no programa ou retornar a posição inicial de aguardo de acionamento.

-----TABELA-----

```

CJNE R0,#36D,PROX1
ANT0:
MOV R4,#18D
LJMP FIMTAB
PROX1:
CJNE R0,#40D,PROX2
ANT1:
MOV R4,#19D
LJMP FIMTAB
PROX2:
JC ANT0
CJNE R0,#44D,PROX3
ANT2:
MOV R4,#20D
LJMP FIMTAB
PROX3:
JC ANT1
CJNE R0,#48D,PROX4
ANT3:
MOV R4,#21D
LJMP FIMTAB
PROX4:
JC ANT2
CJNE R0,#52D,PROX5
ANT4:
MOV R4,#22D
LJMP FIMTAB
PROX5:
JC ANT3
CJNE R0,#57D,PROX6
ANT5:
MOV R4,#23D
LJMP FIMTAB
PROX6:

```

```

        JC ANT4
        CJNE R0,#62D,PROX7
ANT6:   MOV R4,#24D
        LJMP FIMTAB
PROX7:  JC ANT5
        CJNE R0,#66D,PROX8
ANT7:   MOV R4,#25D
        LJMP FIMTAB
PROX8:  JC ANT6
        CJNE R0,#70D,PROX9
ANT8:   MOV R4,#26D
        LJMP FIMTAB
PROX9:  JC ANT7
        CJNE R0,#74D,PROX10
ANT9:   MOV R4,#27D
        LJMP FIMTAB
PROX10: JC ANT8
        CJNE R0,#77D,PROX11
ANT10:  MOV R4,#28D
        LJMP FIMTAB
PROX11: JC ANT9
        CJNE R0,#80D,PROX12
ANT11:  MOV R4,#29D
        LJMP FIMTAB
PROX12: JC ANT10
        CJNE R0,#83D,PROX13
ANT12:  MOV R4,#30D
        LJMP FIMTAB
PROX13: JC ANT11
        CJNE R0,#85D,PROX14
ANT13:  MOV R4,#31D
        LJMP FIMTAB
PROX14: JC ANT12
        CJNE R0,#88D,PROX15
ANT14:  MOV R4,#32D
        LJMP FIMTAB
PROX15: JC ANT13
        CJNE R0,#90D,PROX16
ANT15:  MOV R4,#33D
        LJMP FIMTAB
PROX16: JC ANT14
        CJNE R0,#91D,PROX17
ANT16:  MOV R4,#34D

```

```

        LJMP FIMTAB
PROX17:
        JC ANT15
        CJNE R0,#93D,PROX18
ANT17:
        MOV R4,#35D
        LJMP FIMTAB
PROX18:
        JC ANT16
        CJNE R0,#95D,PROX19
ANT18:
        MOV R4,#36D
        LJMP FIMTAB
PROX19:
        JC ANT17
        CJNE R0,#96D,PROX20
ANT19:
        MOV R4,#37D
        LJMP FIMTAB
PROX20:
        JC ANT18
        CJNE R0,#98D,PROX21
ANT20:
        MOV R4,#38D
        LJMP FIMTAB
PROX21:
        JC ANT19
        CJNE R0,#99D,PROX22
ANT21:
        MOV R4,#39D
        LJMP FIMTAB
PROX22:
        JC ANT20
        CJNE R0,#101D,PROX23
ANT22:
        MOV R4,#40D
        LJMP FIMTAB
PROX23:
        JC ANT21
        CJNE R0,#102D,PROX24
ANT23:
        MOV R4,#41D
        LJMP FIMTAB
PROX24:
        JC ANT22
        CJNE R0,#103D,PROX25
ANT24:
        MOV R4,#42D
        LJMP FIMTAB
PROX25:
        JC ANT23
        CJNE R0,#105D,PROX26
ANT25:
        MOV R4,#43D
        LJMP FIMTAB
PROX26:
        JC ANT24
        CJNE R0,#106D,PROX27
ANT26:
        MOV R4,#44D
        LJMP FIMTAB
PROX27:
        JC ANT25
        CJNE R0,#107D,PROX28

```

```

ANT27:
    MOV R4,#45D
    LJMP FIMTAB
PROX28:
    JC ANT26
    CJNE R0,#108D,PROX29
ANT28:
    MOV R4,#46D
    LJMP FIMTAB
PROX29:
    JC ANT27
    CJNE R0,#109D,PROX30
ANT29:
    MOV R4,#47D
    LJMP FIMTAB
PROX30:
    JC ANT28
    CJNE R0,#110D,PROX31
ANT30:
    MOV R4,#48D
    LJMP FIMTAB
PROX31:
    JC ANT29
    CJNE R0,#111D,ANT30
    MOV R4,#49D

```

Com o valor de rotação a ser mantido já armazenado, deve-se movimentar o motor de passo no sentido de aceleração para que ele gire o suficiente a puxar a borboleta de injeção da mesma forma que o pedal do acelerador estava fazendo.

Para isso montou-se uma tabela que relaciona a rotação do motor de combustão com o número de passos que determina a posição angular da borboleta, de acordo com o ensaio realizado.

A tabela funciona comparando o valor de rotação a ser atingido com o da primeira linha. Caso esse seja igual os passos a serem dados são armazenados em R4. Se for maior passa-se a próxima linha e assim prossegue-se retornando-se uma linha somente quando o valor é superado o que determina a faixa de passos a serem dados.

Os valores para comparação desta tabela são provenientes do gráfico abaixo. Este gráfico por sua vez foi construído tendo-se como base os dados

tomados no ensaio descrito no item 4.2 - *Determinação da Sensibilidade*. No eixo das abscissas encontram-se os valores lidos pelo microcontrolador pela Rotina Rotação, que habilita a contagem de pulsos enviados pelo encoder durante 0,25s. Movimenta-se então o cabo do motor de passo de acordo com o valor lido, respeitando-se a relação mostrada no gráfico.

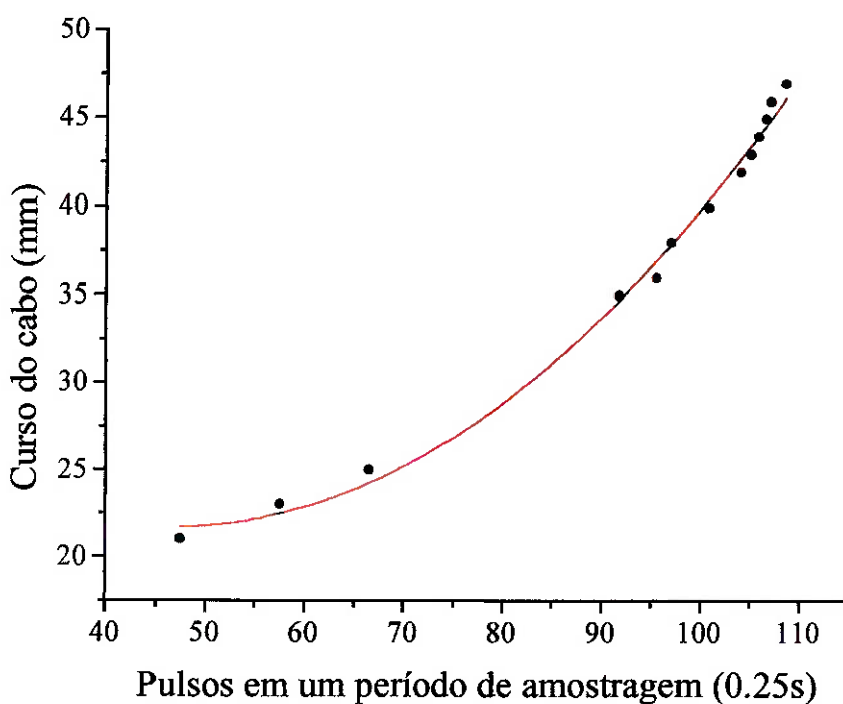


Fig. 6.1: gráfico pulsos lidos x curso do cabo do Motor de Passo.

```

FIMTAB:
MOV 0DH,#01H          ;PARAMETROS PARA DELAY DE 0,0025s
MOV 0EH,#0F9H
MOV 0FH,#7CH

MOV A,R4
MOV B,#04D
MUL AB

MOV R7,A              ;No DE PULSOS (DA TABELA) X 4
MOV 0CH,#0FH          ;ACELERAR
LCALL ATUADOR

MOV A,R4
MOV B,#02D
MUL AB

```

```

MOV R4,A                                ;No DE PULSOS (DA TABELA) X 2
                                         ;PARA CONTAGEM DOS PASSOS

;-----FIM DA TABELA-----

```

Estipulado o número inicial de passos o atuador deve ser acionado. São então estipulados o tempo de movimentação de 0,0025 s. entre passos e o sentido de rotação de aceleração. Um detalhe é a multiplicação por quatro do número de passo encontrado com o auxílio da tabela. Isto deve-se a forma de controlar-se o números de passos utilizada durante alguns testes com diferentes cargas impostas ao motor de combustão. A multiplicação dos passos por dois e o armazenamento deste valor em R4 será utilizada para o cálculo da posição angular limite da borboleta.

```

LOOP:
    PUSH PSW
    MOV IE,#81H                        ;HABILITA INTERRUPCAO
    NOP
    MOV IE,#00H                        ;DESABILITA
    POP PSW
    LCALL ROTACAO                      ;LE ROTACAO (ARMAZENA EM R0)
    LCALL LIMITES                     ;VERIFICA SE ESTA DENTRO DOS LIMITES. SE ESTA,
    ; R1=01H
    ;SE R1<>FFH, VOLTA AO LIGAR
    CJNE R1,#0FFH,DESVIO1
    LJMP DESVIO2
DESVIO1:
    LJMP LIGAR
DESVIO2:
    MOV A,R0
    CJNE A,0AH,DIFER                  ;COMPARA ROTACAO DO MOTOR (R0)...
    LJMP LOOP                         ;...COM A SER ATINGIDA (END 0AH)

DIFER:
    JNC DIMINUI                       ;DESVIA SE CY=0 (R0>0AH PORTANTO DESACELERA)

AUMENTA:
    MOV 0CH,#0FH                      ;ACELERAR
    INC R4
    LJMP ACIONA

DIMINUI:
    MOV 0CH,#00H                      ;DESACELERAR
    DEC R4

ACIONA:
    CJNE R4,#01D,TESTE1               ;COMPARA COM LIMITE INFERIOR

```

```

        SETB C                                ;SE R4<=01, C=1
TESTE1: JC FORA1
        LJMP OK1
FORA1:  INC R4
        LJMP LOOP

OK1:    CJNE R4,#92D,TESTE2                  ;COMPARA COM LIMITE SUPERIOR
        CLR C                                ;SE R4>=46, C=0
TESTE2: JNC FORA2
        LJMP OK2
FORA2:  DEC R4
        LJMP LOOP

OK2:    MOV R7,#02D                        ;MP VAI SER ACIONADO 1 STEP (4 PULSOS)

        MOV 0EH,#5DH                      ;PASSO DO MP A CADA 0,25 S
        MOV 0FH,#3CH
        MOV 0DH,#02H

        LCALL ATUADOR
        LJMP LOOP

```

O *looping* final fica responsável pela manutenção da rotação do motor. Para isso a rotação atual do motor é lida e verificada de acordo com os limites. Se as condições não forem satisfeitas o sistema é desacionado. Se forem, passa-se a próxima verificação, que é a dos limites de fim de curso da borboleta. Cada vez que o motor de passo é acionado, para acelerar ou desacelerar, incrementa-se ou decrementa-se o registrador R4.

Compara-se antes de se acionar novamente o motor de passo se a borboleta já atingiu o limite superior ou inferior, de acordo com o valor de R4. O atuador só é acionado se estes valores não forem atingidos.

Passados esses testes os valores são passados para a rotina atuador — tempo de passo, quantidade e sentido — e retorna-se ao começo do *looping*. Uma observação é a habilitação e desabilitação da interrupção no início desse trecho o que permite que a aceleração seja feita .

A listagem completa do programa encontra-se no Anexo 3. O programa foi compilado utilizando-se o programa ARCHIMEDES 8051 ASSEMBLER V 1.80/MD2 - ARCHIMEDES UNIVERSAL LINKER V 3.11 A/MD2.

7. RESULTADOS

Nesse capítulo serão apresentados os valores significantes obtidos através de medições e cálculos, valores estes que representam as respostas e a forma de atuação do Piloto Automático para Automóveis implementado.

7.1 - Deslocamento da Borboleta do Motor

curso total:	47 mm.
deslocamento mínimo pelo atuador:	0,50 mm.
número de posições de controle:	98
precisão do controle da rotação:	30,6 rpm/posição

7.2 - Sensibilidade do Conjunto Microcontrolador - Programa

precisão da medição da rotação:	20 rpm
tempo máx. de resposta no modo looping:	532 ms
tempo mín. de resposta no modo tabela:	0,21 s
tempo máx. de resposta no modo tabela:	1,14 s

7.3 - Torque do Motor de Passo

O controle do torque do motor está diretamente ligado à corrente que passa pelos seus enrolamentos. Como o drive PWM do motor de passo controla a corrente através da tensão sobre o *sense resistor*, foi levantada a seguinte curva relacionando a tensão no resistor e o torque do motor de passo.

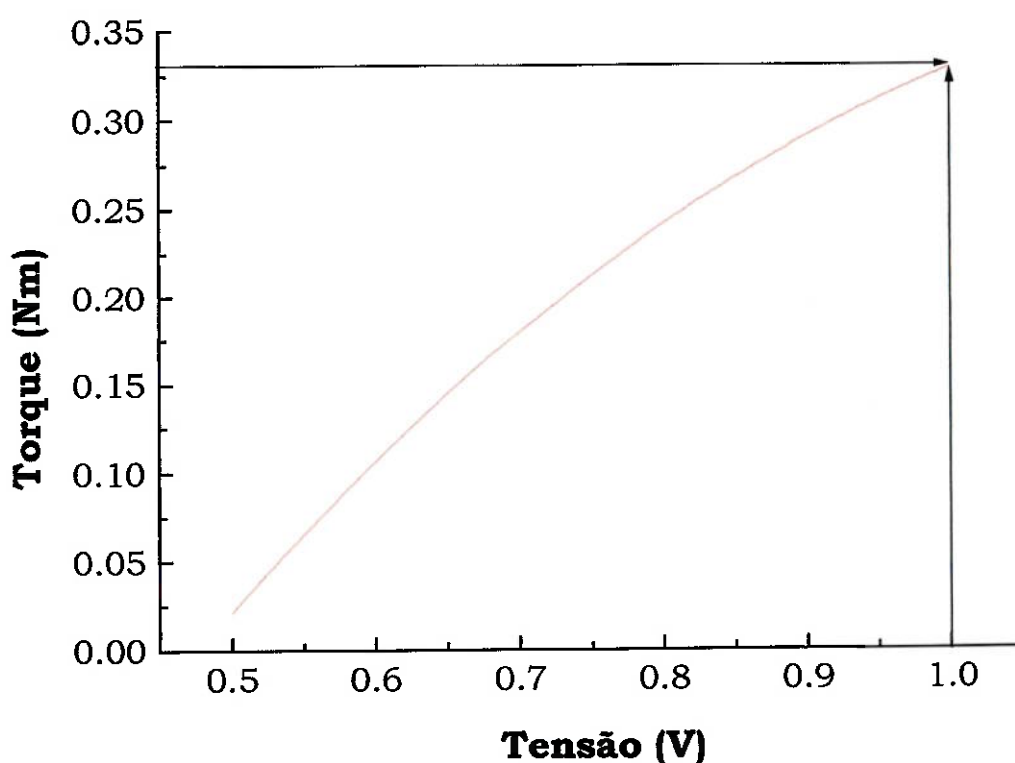


Fig. 7.1: gráfico torque do motor de passo vs. tensão no *sense resistor*.

Analisando-se o gráfico observa-se que para a tensão de 1V obtemos um torque maior que 0,28 Nm, que é o exigido pela mola da borboleta de

injeção, o que em termos de corrente corresponde a 2A nos enrolamentos do motor (corrente suportada pelo drive PWM).

7.4 - Medidas Elétricas

Tensão de alimentação:	12 V
corrente em modo stand-by:	0,17 A
corrente com MP travado:	1,22 A
corrente de pico durante giro do MP:	2,03 A
consumo de energia em modo stand-by:	2,04 W (0,0027 HP).
consumo médio de energia em modo ligado:	17,76 W (0,024 HP).

7.5 Custo de Montagem do Protótipo

Cabos e fios:	R\$ 6,00
Componentes eletrônicos:	R\$ 42,00
Placas de circuito impresso:	R\$ 23,00 (Lote de 10 pares)
Motor de passo:	R\$ 28,00
Sistema de fixação do motor:	R\$ 3,50
<u>Cabo de nylon:</u>	<u>R\$ 2,20</u>
<i>Total:</i>	<i>R\$ 104,70</i>

8. CONCLUSÃO

O projeto atingiu todos os objetivos que foram propostos. O sistema é capaz de responder aos comandos do usuário (ligar e desligar o dispositivo e acelerar o veículo), manter a rotação do motor constante mesmo em condições em que há variação de torque e desligar quando o pedal do freio ou o da embreagem for pressionado ou ainda quando o freio de mão foi acionado.

Foram estabelecidos parâmetros para o projeto que podem ser facilmente alterados — por se tratarem de valores utilizados no software do sistema — permitindo assim que o dispositivo se adapte às condições desejadas, para diferentes modelos e situações.

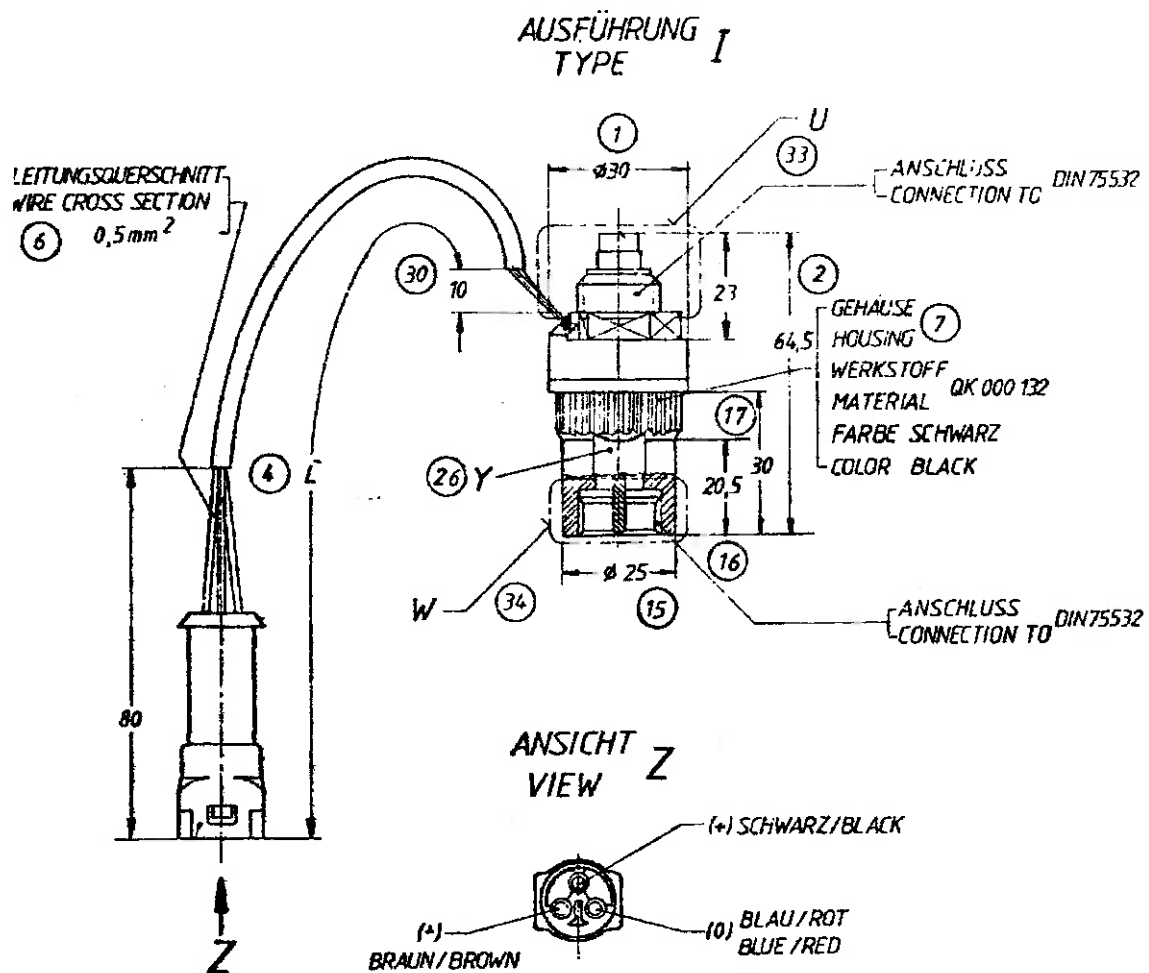
A montagem do dispositivo na bancada não descaracteriza o funcionamento real e prático do projeto. Pelo contrário, possibilita a simulação de situações controláveis que ajudaram na determinação das variáveis do sistema. O estudo realizado neste trabalho proporcionou que fossem estabelecidas as bases e os procedimentos a serem seguidos em uma possível instalação no veículo.

9. BIBLIOGRAFIA

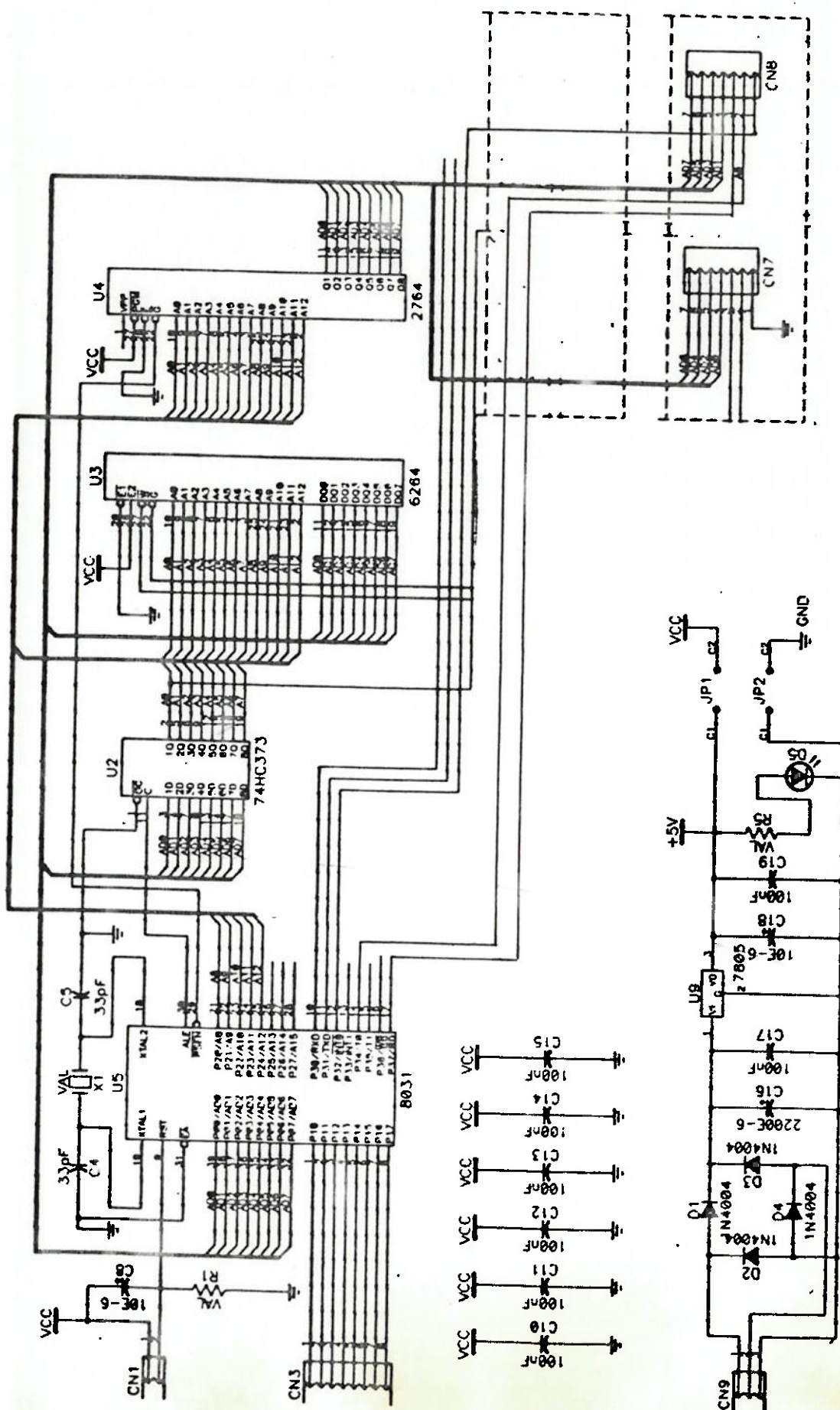
- i) "Car Electronics". *Mizutani, Shuji*. Nippondenso Co. Ltd., 1992.
- ii) "Sensors and Actuators". SAE International SP-1066, 1995.
- iii) SAE Technical Paper Series:
 - * 930771 - "A Robust Cruise Control System Using the Disturbance Observer". *Inoue, Noriyuki; Nishida, Minoru; Washino, Schoichi*. Março, 1993.
 - * 931917 - "Cruise Control System Using Adaptive Control Theory". *Harada, Yukinori; Miyata, Hiroshi; Hayakawa, Yoshikazu; Fujii, Seizo*. Novembro, 1993.
 - * 922469 - "Electronic Throttle Control for Light Diesel and Gasoline Engines". *Hamilton, W. R.* Novembro, 1992.
 - * 920159 - "A Self Tuning Automotive Cruise Control System Using the Delay Controller". *Ishida, Akira; Takada, Masahiro; Narazaki, Kazushige; Ito, Osamu*. Fevereiro, 1992.
- iv) "Aplicações Práticas do Microcontrolador 8051 - Teoria Geral Detalhada". *Silva Júnior, Vidal Pereira da*. Ed. Érica, 1994.
- v) SGS-THOMSON Microelectronics Catalogue. Agosto, 1996.
- vi) Philips Semiconductors 80C51-Based 8-Bit Microcontrollers.

vii) MCS-51 Programmer's Guide and Instruction Set. *Intel*. Julho, 1989.

ANEXO 1: Sensor de Rotação.



ANEXO 2: Esquema do Circuito Elétrico da ECU.



ANEXO 3: Listagem Completa do Programa.

;-----PROGRAMA PRINCIPAL-----

ORG 00H
LJMP INIC

ORG 03H
LJMP INTERRUPT

ORG 0BH
RETI

ORG 13H
RETI

ORG 1BH
RETI

ORG 23H
RETI

ORG 30H
INIC:

MOV SP,#40H ;STACK POINTER

MOV PSW,#00H ;USAR PRIMEIRO BC DE REGISTRADORES
MOV IE,#00H ;VETOR INTERRUPTAO (DESABILITADAS)
MOV TCON,#00H ;VETOR CONTADOR (DESABILITADOS)
MOV TMOD,#15H ;CONT0 MODO0, CONT1 MODO1
MOV TH0,#00H
MOV TL0,#00H

LIGAR:

MOV P1,#00H ;DESLIGA MOTOR DE PASSO
MOV R0,#00H ;LIMPA ROTACAO
MOV R4,#00H
JB 0B7H,LIGAR ;ESPERA ACIONAR ON (0B7H, PORTA 3)

LCALL ROTACAO ;LE ROTACAO (ARMAZENA EM R0)
MOV 0AH,R0 ;SALVA ROTACAO A SER ATINGIDA
LCALL LIMITES ;VERIFICA SE ESTA DENTRO DOS LIMITES. SE ESTA,
;R1=01H
CJNE R1,#0FFH,LIGAR ;SE R1<>FFH, VOLTA AO LIGAR

;-----TABELA-----

CJNE R0,#36D,PROX1

ANT0:
MOV R4,#18D
LJMP FIMTAB

PROX1:
CJNE R0,#40D,PROX2

ANT1:
MOV R4,#19D
LJMP FIMTAB

PROX2:
JC ANT0
CJNE R0,#44D,PROX3

ANT2:
MOV R4,#20D

```

        LJMP FIMTAB
PROX3:
        JC ANT1
        CJNE R0,#48D,PROX4
ANT3:
        MOV R4,#21D
        LJMP FIMTAB
PROX4:
        JC ANT2
        CJNE R0,#52D,PROX5
ANT4:
        MOV R4,#22D
        LJMP FIMTAB
PROX5:
        JC ANT3
        CJNE R0,#57D,PROX6
ANT5:
        MOV R4,#23D
        LJMP FIMTAB
PROX6:
        JC ANT4
        CJNE R0,#62D,PROX7
ANT6:
        MOV R4,#24D
        LJMP FIMTAB
PROX7:
        JC ANT5
        CJNE R0,#66D,PROX8
ANT7:
        MOV R4,#25D
        LJMP FIMTAB
PROX8:
        JC ANT6
        CJNE R0,#70D,PROX9
ANT8:
        MOV R4,#26D
        LJMP FIMTAB
PROX9:
        JC ANT7
        CJNE R0,#74D,PROX10
ANT9:
        MOV R4,#27D
        LJMP FIMTAB
PROX10:
        JC ANT8
        CJNE R0,#77D,PROX11
ANT10:
        MOV R4,#28D
        LJMP FIMTAB
PROX11:
        JC ANT9
        CJNE R0,#80D,PROX12
ANT11:
        MOV R4,#29D
        LJMP FIMTAB
PROX12:
        JC ANT10
        CJNE R0,#83D,PROX13
ANT12:
        MOV R4,#30D
        LJMP FIMTAB
PROX13:
        JC ANT11
        CJNE R0,#85D,PROX14

```

```

ANT13:
    MOV R4,#31D
    LJMP FIMTAB
PROX14:
    JC ANT12
    CJNE R0,#88D,PROX15
ANT14:
    MOV R4,#32D
    LJMP FIMTAB
PROX15:
    JC ANT13
    CJNE R0,#90D,PROX16
ANT15:
    MOV R4,#33D
    LJMP FIMTAB
PROX16:
    JC ANT14
    CJNE R0,#91D,PROX17
ANT16:
    MOV R4,#34D
    LJMP FIMTAB
PROX17:
    JC ANT15
    CJNE R0,#93D,PROX18
ANT17:
    MOV R4,#35D
    LJMP FIMTAB
PROX18:
    JC ANT16
    CJNE R0,#95D,PROX19
ANT18:
    MOV R4,#36D
    LJMP FIMTAB
PROX19:
    JC ANT17
    CJNE R0,#96D,PROX20
ANT19:
    MOV R4,#37D
    LJMP FIMTAB
PROX20:
    JC ANT18
    CJNE R0,#98D,PROX21
ANT20:
    MOV R4,#38D
    LJMP FIMTAB
PROX21:
    JC ANT19
    CJNE R0,#99D,PROX22
ANT21:
    MOV R4,#39D
    LJMP FIMTAB
PROX22:
    JC ANT20
    CJNE R0,#101D,PROX23
ANT22:
    MOV R4,#40D
    LJMP FIMTAB
PROX23:
    JC ANT21
    CJNE R0,#102D,PROX24
ANT23:
    MOV R4,#41D
    LJMP FIMTAB
PROX24:

```

```

        JC ANT22
        CJNE R0,#103D,PROX25
ANT24:
        MOV R4,#42D
        LJMP FIMTAB
PROX25:
        JC ANT23
        CJNE R0,#105D,PROX26
ANT25:
        MOV R4,#43D
        LJMP FIMTAB
PROX26:
        JC ANT24
        CJNE R0,#106D,PROX27
ANT26:
        MOV R4,#44D
        LJMP FIMTAB
PROX27:
        JC ANT25
        CJNE R0,#107D,PROX28
ANT27:
        MOV R4,#45D
        LJMP FIMTAB
PROX28:
        JC ANT26
        CJNE R0,#108D,PROX29
ANT28:
        MOV R4,#46D
        LJMP FIMTAB
PROX29:
        JC ANT27
        CJNE R0,#109D,PROX30
ANT29:
        MOV R4,#47D
        LJMP FIMTAB
PROX30:
        JC ANT28
        CJNE R0,#110D,PROX31
ANT30:
        MOV R4,#48D
        LJMP FIMTAB
PROX31:
        JC ANT29
        CJNE R0,#111D,ANT30
        MOV R4,#49D

FIMTAB:
        MOV 0DH,#01H
        MOV 0EH,#0F9H
        MOV 0FH,#7CH

        MOV A,R4
        MOV B,#04D
        MUL AB

        MOV R7,A
        MOV 0CH,#0FH
        LCALL ATUADOR

        MOV A,R4
        MOV B,#02D
        MUL AB

        MOV R4,A

```

;PARAMETOS PARA DELAY DE 0,0025S

;No DE PULSOS (DA TABELA) X 4
;ACELERAR

;No DE PULSOS (DA TABELA) X 2

;PARA CONTAGEM DOS PASSOS

;-----FIM DA TABELA-----

```
LOOP:
    PUSH PSW
    MOV IE,#81H                ;HABILITA INTERRUPCAO
    NOP
    MOV IE,#00H                ;DESABILITA
    POP PSW
    LCALL ROTACAO               ;LE ROTACAO (ARMAZENA EM R0)
    LCALL LIMITES               ;VERIFICA SE ESTA DENTRO DOS LIMITES. SE ESTA,
                                ; R1=01H
                                ;SE R1<>FFH, VOLTA AO LIGAR
    CJNE R1,#0FFH,DESVIO1
    LJMP DESVIO2
DESVIO1:
    LJMP LIGAR
DESVIO2:
    MOV A,R0
    CJNE A,0AH,DIFER           ;COMPARA ROTACAO DO MOTOR (R0)...
                                ;...COM A SER ATINGIDA (END 0AH)
    LJMP LOOP
DIFER:
    JNC DIMINUI                ;DESVIA SE CY=0 (R0>0AH PORTANTO DESACELERA)
AUMENTA:
    MOV 0CH,#0FH                ;ACELERAR
    INC R4
    LJMP ACIONA
DIMINUI:
    MOV 0CH,#00H                ;DESACELERAR
    DEC R4
ACIONA:
    CJNE R4,#01D,TESTE1        ;COMPARA COM LIMITE INFERIOR
    SETB C                      ;SE R4<=01, C=1
TESTE1:
    JC FORA1
    LJMP OK1
FORA1:
    INC R4
    LJMP LOOP
OK1:
    CJNE R4,#92D,TESTE2        ;COMPARA COM LIMITE SUPERIOR
    CLR C                       ;SE R4>=46, C=0
TESTE2:
    JNC FORA2
    LJMP OK2
FORA2:
    DEC R4
    LJMP LOOP
OK2:
    MOV R7,#02D                ;MP VAI SER ACIONADO 1 STEP (4 PULSOS)

    MOV 0EH,#5DH                ;PASSO DO MP A CADA 0,25 S
    MOV 0FH,#3CH
    MOV 0DH,#02H

    LCALL ATUADOR
    LJMP LOOP
```

-----ROTINA ROTACAO-----

ROTACAO:

MOV TH0,#00H
MOV TL0,#00H
MOV 0DH,#01H
MOV 0EH,#7DH
MOV 0FH,#CBH
SETB TR0

LCALL DELAY

CLR TR0
MOV A,TL0
MOV B,#05D
MUL AB
MOV R0,A

RET

-----ROTINA LIMITES-----

LIMITES:

MOV A,R0
CJNE A,#24H,PROX ;1440 rpm
CLR C

PROX:

JNC ROT2
LJMP FORA

ROT2:

CJNE A,#6FH,LIM ;4440 rpm
SETB C

LIM:

JNC FORA
MOV R1,#0FFH
LJMP OUT

FORA:

MOV R1,#00H

OUT:

RET

-----ROTINA DELAY-----

DELAY:

MOV R6,0DH

REPETE:

MOV TH1,0EH
MOV TL1,0FH
SETB TR1
JNB TF1,\$
CLR TF1
DJNZ R6,REPETE
CLR TR1

RET

-----ROTINA ATUADOR-----

ATUADOR:

```
SETB 92H
MOV A,0CH
CJNE A,#0FH,DESACEL
```

```
CLR 90H
LJMP GIRAR
```

```
DESACEL:
SETB 90H
```

```
GIRAR:
CLR 91H
LCALL DELAY
SETB 91H
LCALL DELAY
DJNZ R7,GIRAR
```

```
RET
```

```
;-----INTERRUPCAO INTERRUP-----
```

```
INTERRUP:
LCALL ROTACAO
CJNE R0,#6DH,VERIFICA ;COMPARA ROTACAO COM 109 p/0.25s
LJMP DENTRO
```

```
VERIFICA:
JNC VOLTAR
```

```
DENTRO:
MOV R7,#02H
INC R4
MOV 0CH,#0FH
MOV 0EH,#5DH
MOV 0FH,#3CH
MOV 0DH,#02H
LCALL ATUADOR
LCALL ROTACAO
MOV 0AH,R0
```

```
VOLTAR:
RETI
```

```
END
```