

**RAFAEL ANDRADE PRATO**

**PROPOSTA DE TÉCNICA DE MEDIÇÃO DE CONSUMO  
DE COMBUSTÍVEL EM VEÍCULOS AUTOMOTIVOS -  
SISTEMA DE SENSORIAMENTO**

*Trabalho apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de  
São Paulo para conclusão das  
disciplinas Projeto Mecânico I e II*

São Paulo  
1999

*Dez  
ADM*

**RAFAEL ANDRADE PRATO**

**PROPOSTA DE TÉCNICA DE MEDIÇÃO DE CONSUMO  
DE COMBUSTÍVEL EM VEÍCULOS AUTOMOTIVOS -  
SISTEMA DE SENSORIAMENTO**

*Trabalho apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de  
São Paulo para conclusão das  
disciplinas Projeto Mecânico I e II*

*Área: Energia e Fluidos*

*Professor Orientador:  
Antonio Luís de C. Mariani*

*Co-orientador:  
Rui José C. Baptista*

São Paulo  
1999

## Dedicatória

À meus pais

## Agradecimentos

Ao professor Antonio Luis de C. Mariani, pela valiosa orientação e constante incentivo.

Ao Luis Gustavo, pelo auxilio e eficiência no desenvolvimento do projeto.

À Blue Tec, pelo assessoramento técnico e apoio financeiro.

Ao Sr. Rui L. C. Baptista, pelos ensinamentos técnicos recebidos.

Ao professor Maurício Trielli, pela colaboração nos ensaios no IPT.

Ao Sr. José Guilherme Campetella, pelo apoio na construção do protótipo e pelas valiosas críticas e sugestões.

A todos que diretamente ou indiretamente colaboraram na execução deste trabalho.

# Índice

<b>RESUMO .....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>2</b>
<b>PARTE A .....</b>	<b>3</b>
<b>A.1. APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>A.2. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>A.3. OBJETIVOS .....</b>	<b>8</b>
<b>A.4. DESCRIÇÕES DE TÉCNICAS PARA MEDAÇÃO DE NÍVEIS DE LÍQUIDOS EM RESERVATÓRIOS .....</b>	<b>9</b>
A.4.1. TÉCNICA UTILIZANDO FLUTUADORES .....	10
A.4.2. TÉCNICA UTILIZANDO SENSORES ELÉTRICOS .....	10
A.4.3. TÉCNICA UTILIZANDO SENSORES DE PRESSÃO .....	11
A.4.4. TÉCNICA UTILIZANDO SENSORES PIEZOELÉTRICOS .....	12
A.4.5. TÉCNICA UTILIZANDO SENSORES ULTRA-SÔNICOS .....	13
<b>A.5. CALIBRAÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>A.6. MODELOS ANALISADOS .....</b>	<b>15</b>
A.6.1. MECANISMO DO TIPO BÓIA .....	15
A.6.2. APLICAÇÃO DE SENSORES DE PRESSÃO .....	19
A.6.3. MEDIDORES DE VAZÃO COM ENGRENAGENS .....	23
<b>A.7. ENSAIOS E TESTES .....</b>	<b>25</b>
A.7.1. MEDIDOR DE NÍVEL COM AVALIAÇÃO DA PRESSÃO .....	25
A.7.2. MEDIDOR DE NÍVEL DO TIPO BÓIA .....	28
<b>A.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>30</b>

<b>PARTE B .....</b>	<b>31</b>
<b>B1. ESTUDO DE VIABILIDADE - CONCLUSÃO .....</b>	<b>32</b>
B1.1 SOLUÇÃO DA MELHOR ALTERNATIVA.....	32
<b>B.2. ANÁLISE E RESULTADOS DA MATRIZ DE DECISÃO: MEDIDOR DE VAZÃO DE ENGRANAGENS .....</b>	<b>34</b>
B.2. 1. FLUXO PULSANTE .....	34
B.2. 2. BOLHAS.....	35
B.2. 3. RETORNO APÓS A BOMBA INJETORA .....	35
B.2. 4. PERDA DE CARGA .....	35
<b>B.3. MEDIDOR DE VAZÃO DE ENGRANAGENS OVAIS.....</b>	<b>36</b>
B.3.1 EQUIPAMENTO NO MERCADO .....	36
B.3.2 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DO PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO .....	38
B.3.3 MODELO ELÉTRICO DO SISTEMA.....	41
B.3.4 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE .....	48
B.3.5 COMPUTADOR DE BORDO.....	51
B.3.6 ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE .....	52
B.3.6.1 Subsistemas.....	52
B.3.6.2 <i>Compatibilidade funcional</i> .....	52
B.3.6.3 <i>Compatibilidade dimensional</i> .....	54
B.3.7 ANÁLISE DE ESTABILIDADE.....	54
B.3.8 OTIMIZAÇÃO FORMAL .....	55
B.3.9 DIMENSIONAMENTO .....	56
B.3.9.1 <i>Definição das medidas e adaptações para o desenho de fabricação</i> .....	57
B.3.10 SELEÇÃO DE MATERIAIS .....	59
B.3.10.1 <i>Nylon 66</i> .....	59
B.3.10.2 <i>Poliacetal</i> .....	60
B.3.10.3 <i>Acrílico</i> .....	60

B.3.11 PROCESSO DE FABRICAÇÃO .....	61
B.3.11.1 <i>Imã</i> .....	61
B.3.11.2 <i>Fabricação das engrenagens</i> .....	61
B.3.11.3 <i>Fabricação do molde</i> .....	62
B.3.11.4 <i>Fabricação dos eixos de centralização</i> .....	63
B.3.11.5 <i>Fabricação câmara</i> .....	63
B.3.11.6 <i>Sensor Hall</i> .....	63
B.3.12 MONTAGEM .....	64
<b>B.4. CUSTOS DO PROTÓTIPO</b> .....	<b>65</b>
<b>B.5. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS</b> .....	<b>66</b>
<b>B.6. DESCRIÇÃO DA BANCADA DE ENSAIOS</b> .....	<b>70</b>
<b>B.7. DADOS EXPERIMENTAIS</b> .....	<b>72</b>
<b>B.8. RESULTADOS</b> .....	<b>74</b>
B.8.1 ENSAIOS DO ECONOVIAS COM ENGRANAGEM DE ALUMÍNIO .....	74
B.8.1.1 <i>Ensaios com água</i> .....	74
B.8.1.2 <i>Ensaios com diesel</i> .....	75
B.8.2 ENSAIOS NO ECONOVIAS COM ENGRANAGEM DE RESINA .....	76
B.8.2.1 <i>Ensaios com diesel</i> .....	76
B.8.3 ENSAIOS NO PROTÓTIPO .....	77
B.8.3.1 <i>Ensaios com diesel</i> .....	77
<b>B.9. ANÁLISE E COMENTÁRIOS DOS RESULTADOS</b> .....	<b>78</b>
B.9.1 ENSAIOS DO ECONOVIAS COM ENGRANAGEM DE ALUMÍNIO .....	78
B.9.1.1 <i>Ensaios com água</i> .....	78
B.9.1.2 <i>Ensaios com diesel</i> .....	78
B.9.2 ENSAIOS NO ECONOVIAS COM ENGRANAGEM DE RESINA .....	79
B.9.2.1 <i>Ensaios com diesel</i> .....	79
B.9.3 ENSAIOS NO PROTÓTIPO .....	80
B.9.3.1 <i>Ensaios com diesel</i> .....	80

<b>B.10. ENSAIOS EM UM MOTOR DIESEL .....</b>	<b>83</b>
B.10.1 PROCEDIMENTO DE ENSAIO .....	84
B.10.2 DADOS EXPERIMENTAIS .....	85
B.10.3 ANÁLISE E COMENTÁRIOS DOS RESULTADOS .....	85
B.10.4 CONCLUSÕES .....	87
<b>B.11. CONCLUSÃO FINAL E COMENTÁRIOS.....</b>	<b>89</b>
<b>B.12. ANEXO I.....</b>	<b>92</b>
<b>B.13. ANEXO II.....</b>	<b>100</b>
<b>B.14. ANEXO III.....</b>	<b>105</b>
<b>B.15. ANEXO IV .....</b>	<b>111</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>112</b>

## RESUMO

A proposta deste estudo consistiu em desenvolver um sistema adequado e de baixo custo para identificar o consumo de combustível em veículos automotivos, e que paralelamente fosse compatível com o computador de bordo Blue Bird da IBM.

O trabalho se divide em duas partes: A e B. Na parte A realizou-se o estudo comparativo de alternativas para medição de consumo de combustível e na parte B um medidor de vazão foi desenvolvido, fabricado e ensaiado.

Dentre as várias opções estudadas na parte A, chegou-se ao medidor de engrenagens ovais como a solução mais viável.

Inicialmente foi analisado o medidor de vazão de engrenagens Econovias da empresa Metroval, e posteriormente foi projetado um protótipo que propôs modificações que incluíram: fabricação do corpo do medidor de poliacetal, fabricação das engrenagens de resina epóxi e utilização do sensor Hall no sistema de detecção de pulsos.

Vários ensaios com diesel foram realizados com o Econovias e com o protótipo fabricado. A principal variável analisada foi a constante de vazão K, seu comportamento para vários valores de vazão e sua respectiva repetitividade. Durante os ensaios muitas propostas e soluções surgiram a fim de se aprimorar o desempenho do protótipo.

Estão apresentados o estudo da viabilidade, o projeto básico, os resultados dos ensaios com as análises estatísticas e a análise de custo de fabricação.

Este trabalho foi realizado por dois autores, onde cada um deles enfatizou um determinado enfoque. Luís Gustavo Deyust dos Santos enfatizou em seu trabalho o sistema mecânico e Rafael Andrade Prato o sistema de sensoriamento.

## INTRODUÇÃO GERAL

Nas frotas de veículos o controle volumétrico exato de combustível se constitui numa necessidade primordial tendo em vista que o custo dos mesmos normalmente é elevado.

A proposta deste estudo consistiu em desenvolver um sistema com bom desempenho e de baixo custo para identificar o consumo de combustível em veículos automotivos, e que também fosse compatível com o computador de bordo BLUE BIRD da IBM.

O presente trabalho foi realizado na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo pelos alunos Luís Gustavo Deyust dos Santos e Rafael Andrade Prato e está dividido em duas partes, denominadas **A** e **B**:

- **Parte A:** Apresenta o estudo comparativo de alternativas para medição de consumo de combustível, comum aos dois autores.
- **Parte B:** Apresenta o desenvolvimento, fabricação e ensaios de um medidor de vazão de engrenagens, onde o aluno Luís G. Deyust dos Santos foi o responsável pelo enfoque dos componentes mecânicos e o aluno Rafael Andrade Prato pelo enfoque do sistema eletrônico de sensoriamento.

**PARTE A****ESTUDO COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS PARA MEDIÇÃO  
DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL**

## A.1. APRESENTAÇÃO

O complexo processo de projeto em Engenharia é objeto de infinitas variações. Para um trabalho de projeto em engenharia, devemos partir de pesquisas e de referências de trabalhos publicados, como também basear-nos na experiência prática e no ensino de projetos de engenharia. Desta forma a seqüência deste projeto torna-se natural e serve como ponto de partida na abordagem de problemas. Assim, através dos conhecimentos adquiridos nas disciplinas da escola, nos livros e manuais consultados e na troca de informações com especialistas sobre o assunto abordado pôde-se inicializar o trabalho.

Usualmente faltam informações, e freqüentemente o projeto demanda mais conhecimento e experiência do que o engenheiro possui no momento. Entretanto, a "real necessidade" pode não ser óbvia neste primeiro contato com a situação indesejável. Como a confrontação é sempre tão indefinida, deve-se esclarecer o problema a ser resolvido. Reconhecer a real necessidade e então defini-la concretamente, em termos quantitativos para a tomada de ações. Foi assim que nos deparamos com o problema de medição de combustível de um tanque, onde precisávamos definir qual era o real problema. Seria realmente necessário somente se preocupar com o nível de combustível? ou também o consumo? Seria apenas melhorar um mecanismo existente? Criar um novo? Tudo isso foi discutido e analisado, de tal forma que pudéssemos tomar um procedimento que envolvesse todos esse aspectos, estudando e propondo soluções das mais variadas possíveis, que possibilitassem uma abrangência maior para contornar estes problemas.

Assim, o conhecimento desenvolvido é trazido para cobrir o problema como ele foi formulado, e todos os conceitos concebíveis do projeto são preparados em um esquema em forma de esqueleto, desenhando os campos selecionados tantos quanto possível. Deve ser lembrado que a criatividade é um grande ponto de aplicação. Se listarmos todas as idéias que se pode gerar ou assimilar, projetos alternativos e já existentes podem ser ligados a nossa solução , sendo que o mais promissor pode ser selecionado tendo em vista os

requisitos e restrições. Isto fora feito, quando buscamos as soluções para a medição de nível já existentes no mercado.

Mesmo o sistema físico ou o componente mais simples é, normalmente, muito complexo para uma análise direta. Ele deve ser representado por um modelo ameno para avaliação analítica ou empírica. Abstraindo o modelo, deve-se empenhar-se para representar tantas características do sistema real quanto for possível. No caso não houve necessidade de abstração, pois tivemos acesso a dois equipamentos para ensaio e testes: o medidor da empresa BLUE TEC e o medidor de bóia de caminhão (apresentados a seguir).

Na otimização de um sistema ou componente, deve-se decidir questões com respeito em qual critério ou combinação de critérios deve ser otimizado o projeto; quais os parâmetros do sistema podem ser manipulados; quais os limites destes parâmetros, ou seja, quais as restrições estão sujeitas ao sistema.

Nenhum projeto pode ser considerado completo até que ele seja apresentado (e aceito) por dois grupos de pessoas: as pessoas que vão utilizá-lo e as pessoas que vão fabricá-lo. Ou seja, devemos conciliar a necessidade de ambos, buscando uma solução de medição de nível melhor que a existente e que seja economicamente viável, compatível com preços do mercado.

A apresentação final de um projeto deve ser consequentemente entendida pelo possível usuário, e conter todos os detalhes necessários para permitir a fabricação e a construção pela indústria. Mas isso não vem ao propósito deste trabalho, uma vez que só atingiremos o projeto básico.

O estudo de viabilidade é a fase inicial de qualquer projeto, em que se chega a um conjunto de soluções plausíveis para o problema. O detalhamento deve ser apenas o suficiente para verificar viabilidade técnica e econômica da solução. O primeiro passo consiste em se determinar existência e natureza da necessidade que se admitiu inicialmente e defini-la perfeitamente, o que neste trabalho é a geração de novas formas de atender, velhas necessidades ou atendimento de nova necessidades, como aperfeiçoamento ou substituição da mecanismo de medição de nível de combustíveis.

A seguir é necessário especificar as exigências decorrentes das necessidades fixando-se suas características funcionais, operacionais e

construtivas, limitações e critérios de projeto determinando assim as especificações técnicas do produto.

O passo seguinte é a elaboração de alternativas de solução que consiste na geração de concepções físicas que, em princípio, atendam às especificações à projeto. Estas concepções estarão ainda definidas apenas por esquemas, diagramas de bloco e esboços, mas já podem ser analisadas do ponto de vista técnico, econômico e financeiro. As concepções aprovadas nestas análises são consideradas soluções viáveis para o projeto.

O presente trabalho (parte A) visa a descrição das medidas tomadas na disciplina de PMC 580 relativa ao desenvolvimento do trabalho de formatura *Mecanismo para Medição do Nível de Combustível*, iniciado no ano letivo de 1998. Este relatório contém todas as informações utilizadas durante este primeiro semestre, buscando e analisando soluções (mecanismos) para medição do consumo de combustível em veículos mais eficientes daquelas existentes, bem como, com custo compatível com aqueles realizados pelo mercado.

Este trabalho visa antes de mais nada um aprimoramento do material colhido e pesquisado, como por exemplo a solução proposta pela empresa Blue Tec, além de alguns detalhes adicionais, sugeridos por críticas previamente discutidas. Além disso conta com as experiências anteriormente realizadas pelo professor Antonio Luis de Campos Mariani que já atuou de forma bastante acentuada dentro da área em questão.

## A.2. INTRODUÇÃO

O estudo consiste na busca de soluções de mecanismos para que se possa avaliar o consumo de combustível do veículo, relacionando-o inicialmente com o nível de combustível no tanque. Ele baseia-se em medidores tradicionais já existentes e abre a possibilidade para análise e desenvolvimento de novas propostas que se encontram disponíveis para o trabalho.

O projeto a ser desenvolvido está inserido dentro da teoria de mecânica dos fluidos e está sendo orientado pelo Professor Antônio Luís de Campos Mariani.

Nesta fase do estudo de viabilidade são propostas soluções e analisados custos e problemas de implementação envolvidos na medição de nível de tanques.

Existem vários aspectos motivadores associados aos problemas que citamos a seguir:

- Inexatidão dos sistemas de bóia existentes nos veículos;
- Suscetibilidade às inclinações dos veículos bem como acelerações e frenagens que provocam distorção dos valores de nível lidos no painel;
- Dificuldade da implementação de soluções com aplicação de sensores de pressão e medidores de vazão devido ao custo elevado ou ao não atendimento de todas as necessidades na implantação dos mesmos no sistema de medição.

As características dos processos (instrumentos de medição) que foram adotados como soluções possíveis serão descritos mais detalhadamente a seguir.

### A.3. OBJETIVOS

O principal problema enfrentado por donos de frotas de caminhão é fazer uma estimativa do consumo de combustível que seus caminhões estão tendo e também rastrear possíveis desvios no abastecimento do tanque por parte de alguns motoristas.

Utilizando-se de um computador de bordo pode-se ter esta avaliação acoplando-o a um medidor de combustível adequado, que pode trabalhar tanto com a medição do nível da altura de combustível no tanque, como também diretamente com o consumo efetivo do combustível que vai para o motor.

Além das diferenças do tipo de medição a ser feita, há também uma preocupação quanto a algumas características que o medidor deve apresentar, como: boa repetibilidade e resolução compatível com o computador de bordo ao qual será acoplado.

Tem-se como objetivo deste estudo uma análise e desenvolvimento de alguns tipos de medidores que se adaptem a esta situação.

Para isso, será seguida uma seqüência de etapas para o presente estudo, afim de serem analisadas várias soluções possíveis:

- Descrição dos instrumentos e das técnicas de medição para a atual conjuntura de medição de nível de combustível;
- Estudo dos mecanismos e soluções existentes e em desenvolvimento;
- Execução de testes experimentais;
- Apresentação de resultados de análise de alguns modelos;

## A.4. DESCRIÇÕES DE TÉCNICAS PARA MEDIÇÃO DE NÍVEIS DE LÍQUIDOS EM RESERVATÓRIOS

A medição de nível de reservatórios é realizada como objetivo de determinar o volume contido no mesmo.

As medidas de nível de líquido em um reservatório podem ser associadas ao volume do líquido ali contido se a geometria e as dimensões do tanque estiverem conhecidas. A massa correspondente a este volume fica determinada se for conhecida sua densidade.

Existem transdutores que podem também ser usados para detectar a presença ou a ausência de um líquido em uma tubulação ou em um tanque.

As medidas de níveis têm um significado econômico importante: o conhecimento da quantidade de líquido que está em um tanque é necessário em várias aplicações, principalmente automotivas, que é o estudo desse Trabalho de Formatura.

A utilização crescente de sistemas de medição eletrônicos facilitou o desenvolvimento de medidores de nível como objetivo de determinar o volume ou massa do líquido em um reservatório.

Vários métodos com diferentes graus de complexidade são empregados nas medidas de níveis líquidos, cujo foram escolhidos visando aplicações práticas e economicamente viáveis para a implementação no trabalho proposto.

#### A.4.1. Técnica utilizando flutuadores

O princípio de Arquimedes diz que um corpo inteiro ou parcialmente submerso num líquido está sob ação de uma força igual ao peso do líquido deslocado. Com base nesta teoria, utilizando-se um flutuador, pode-se utilizar sua posição relativa transmitindo-a para uma saída apropriada de um elemento de transdução. Os flutuadores são usados para medição em uma faixa de valores ou medição de nível em valores pré-determinados.

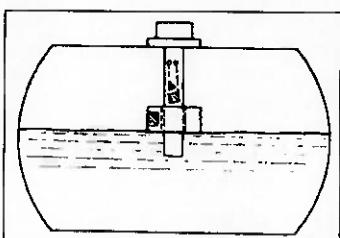


Figura A1 - Flutuadores

#### A.4.2. Técnica utilizando sensores elétricos

O nível de líquidos também pode ser determinado por condutores elétricos imersos em dois eletrodos no líquido e monitorando-se a mudança na resistência entre eles. Alguns transdutores contêm somente um único eletrodo colocado perto da parede metálica do tanque, que serve como o outro eletrodo.

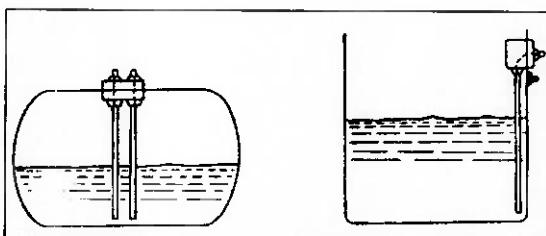
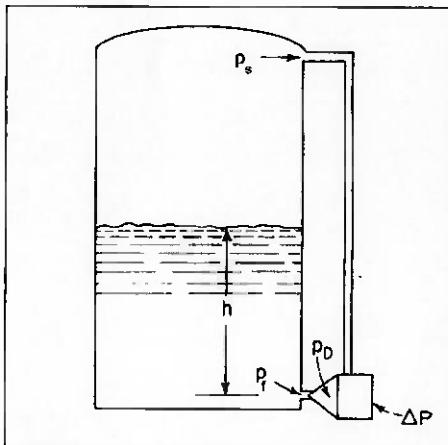


Figura A2 - Sensores elétricos

#### A.4.3. Técnica utilizando sensores de pressão

A pressão  $P_s$  na superfície livre de um líquido é medida freqüentemente no topo da altura de uma coluna líquida e é comparada com a pressão na base  $P_f$ ; quando é conhecido o peso específico do líquido,  $\gamma$  e o nível  $h$ , vale a relação:

$$h = \frac{P_f - P_s}{\gamma}$$



**Figura A3 - Sensores de pressão.**

A diferença de pressão ( $P_f - P_s$ ) é medida habitualmente por um transdutor de pressão diferencial conectado entre a parte superior e o fundo do tanque. Para um líquido de específico conhecido, dado a saída deste transdutor, pode-se ter então uma relação diretamente proporcional ao nível.

#### **A.4.4. Técnica utilizando sensores piezoelétricos**

Os transdutores piezoeléctricos também são usados para a medida de níveis.

O sensor fornece uma saída somente quando o tanque está cheio e que o líquido começa correr através do respiro de ar. A distância entre o flange de montagem e os dois cristais piezoeléctricos determina o nível no tanque que produz uma saída para o transdutor. A unidade de controle, conectada ao sensor por um cabo coaxial duplo equipa geralmente um sinal do comando a uma válvula que controla o fluxo líquido de combustível.

#### A.4.5. Técnica utilizando sensores ultra-sônicos

Para a determinação do volume ou do nível líquido em um tanque cujas características como variações no nível do mesmo, são constantes é bastante útil aplicar-se freqüências ultra-sônicas ou de rádio, que são excitadas dentro da cavidade de um elemento de acoplamento colocado no alto do tanque. Quando o nível de líquido se eleva a cavidade diminui e a sua freqüência de ressonância muda em na mesma proporção. Quando a freqüência de ressonância do tanque vazio é conhecida, temos um fator de escala que pode ser definido, e o nível ou o volume do líquido no tanque podem ser determinados.

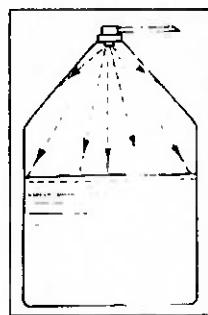


Figura A5 - Sensores ultra-sônicos.

## A.5. CALIBRAÇÃO

Os transdutores magnéticos, piezoelétricos e capacitivos requerem uma atenção especial a respeito da impedância, do comprimento e do aterramento de seus cabos coaxiais. Todos os transdutores devem ser projetados para minimizar a possibilidade de indicações errôneas. Sua constante de tempo é freqüentemente considerada mais longa para a transição de líquido/gás do que para a transição de gás/líquido.

A calibração de transdutores de nível de líquido é comparativamente simples desde que a altura da superfície do líquido esteja a uma dimensão linear medida com uma boa exatidão.

As características da exatidão do instrumento são determinadas pelo processo de calibração, que deve fornecer dados suficientes para esta finalidade. O tempo de resposta é verificado durante testes de qualificação e de amostragem.

## A.6. MODELOS ANALISADOS

### A.6.1. Mecanismo do Tipo Bóia

Consiste numa bóia plástica ligada, por meio de uma haste, a um eixo principal com um reostato interno. A variação angular da haste que sustenta a bóia indica, por uma agulha, uma diferença na resistência no reostato correspondente ao nível em que a bóia se localiza.



Figura A6 – Mecanismo tipo bóia.

Atualmente o dispositivo de bóia, com algumas variações geométricas e de funcionamento (mas com o mesmo princípio), é o mais aplicado nos veículos automotivos em geral.

Este mecanismo apresenta um princípio de funcionamento mecânico e elétrico muito simples, assim como sua própria instalação. Apesar disso ele apresenta antigos problemas ainda não otimizados.

Quando o tanque está cheio não há medição referente aos primeiros litros de combustível, pois o nível do líquido encobre a bóia, que está bloqueada pela parede do tanque. A medição só começará a ser efetuada até que a bóia esteja flutuando na superfície livre do fluido.

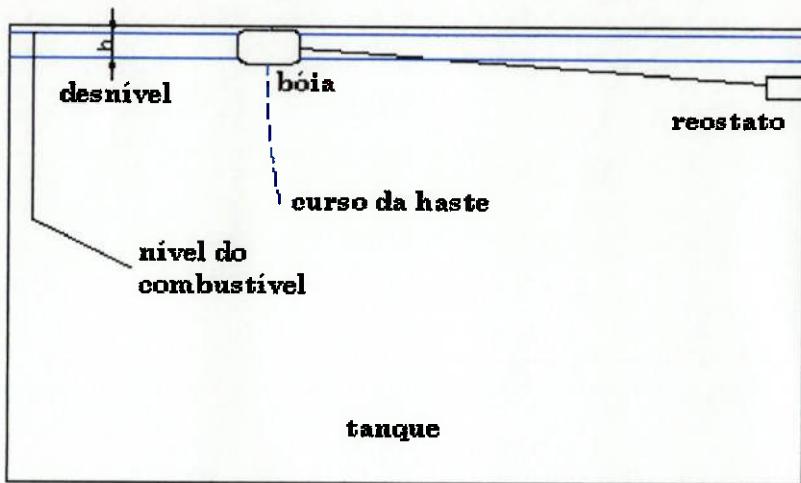


Figura A7 – Bóia em nível máximo de operação.

Há um erro na proporção do deslocamento linear do nível do tanque com o deslocamento angular da haste da bóia, como também deve ser considerado o problema da geometria do tanque utilizado. Existe uma tentativa de minimização destes erros através de uma diferenciação na densidade do enrolamento da resistência no reostato.

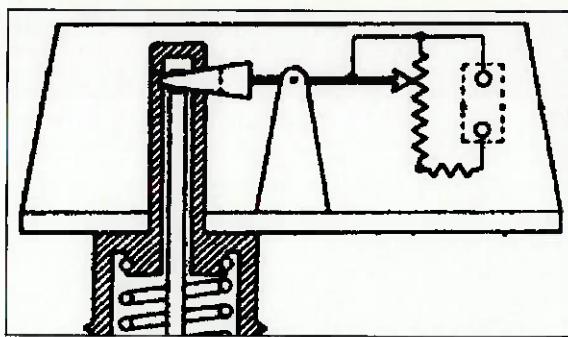


Figura A8 – Detalhe do reostato.

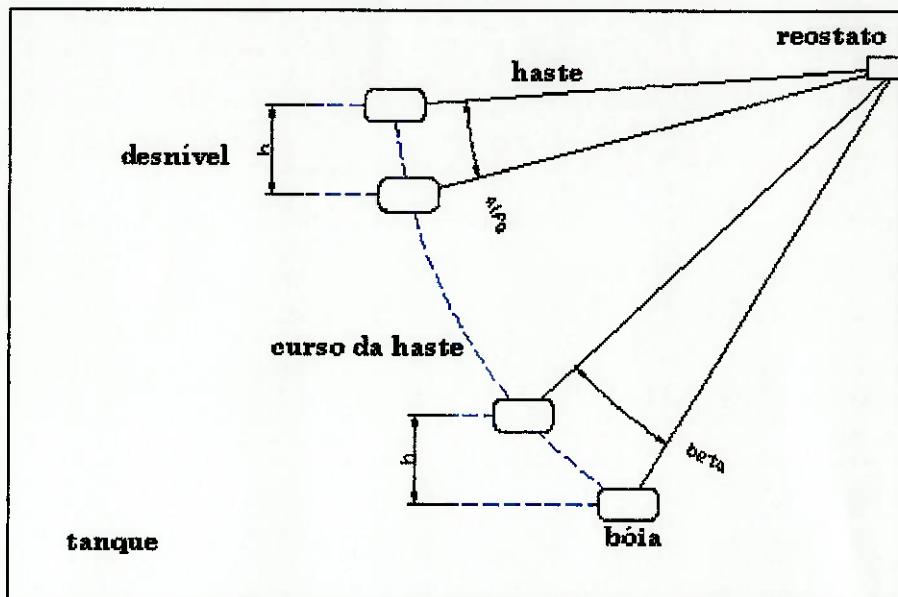


Figura A9 - Desnível angular e linear da bôia.

Para uma variação  $h$  do nível de combustível com o tanque mais cheio temos uma variação angular  $\alpha$  da haste e para o mesmo desnível  $h$ , como tanque mais vazio, temos um deslocamento angular  $\beta$  consideravelmente maior do que  $\alpha$ . Assim o reostato apresenta uma geometria que a região mais densa do enrolamento dos fios corresponde à variação do nível da bôia com o tanque mais cheio, sendo que esta densidade diminui proporcionalmente com o decréscimo do nível do tanque.

Para tentar manter a bôia no nível desejado quando há inclinações do tanque ou oscilações do fluido combustível e amenizar as diferenças entre o desnível linear da bôia e angular da haste que a prende, há uma solução proposta conforme o desenho a seguir:

Este mecanismo utiliza-se somente do movimento linear (vertical) da haste, transmitindo assim, por meio magnético ou capacitivo, um sinal referente ao nível da posição das bóias. Como há uma haste horizontal deslizando livremente por anéis sobre as duas hastes verticais, no caso de uma inclinação aparece um binário que mantém a haste horizontal na posição anterior (antes do tanque se inclinar).

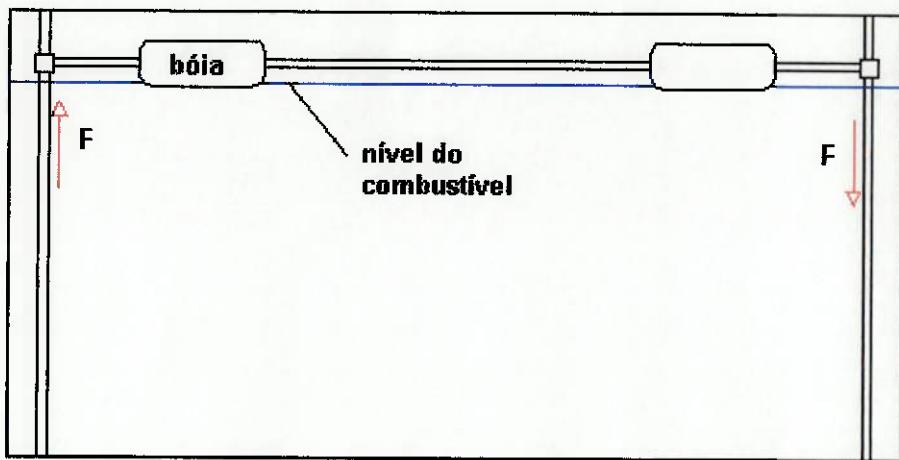


Figura A10 – Mecanismo do tipo dupla-bóia.

Mesmo assim, este sistema apresenta os problemas de medição quando o tanque estiver cheio por completo, pois tem as mesmas características do mecanismo do tipo bóia simples.

### A.6.2. Aplicação de sensores de pressão

Como foi dito no item 4.3, é possível medir-se o nível de um tanque sabendo-se a pressão no fundo do mesmo. Esta pressão, transformada para um sinal em volts por um transdutor, pode ser relacionada com a altura de líquido no tanque e, de posse disso, conhecendo-se a geometria do mesmo, determinar o volume do líquido.

O problema seria facilmente resolvido com um transdutor de pressão instalado no fundo do tanque, mas haveria problemas para se furar o tanque e vedá-lo e posteriormente evitar a corrosão no local. Outro aspecto a ser considerado assim como a do transdutor, que deveria ser muito caro se tivesse que resistir aos ataques do diesel ou de qualquer outro tipo de combustível.

Uma alternativa, que barateia muito esta solução está em desenvolvimento pela empresa Blue Tec. O dispositivo se resume numa haste de aço inox moldável que fica mergulhada no tanque e recebe uma pressão que equilibra o nível do mesmo. Esta pressão é fornecida por um pequeno compressor eletromecânico (a mesma usada em aquários domésticos) ligada à haste por um tubo flexível, sendo que este é controlada por um módulo de comando.

Este módulo, que reúne um sensor de pressão diferencial e um microcontrolador eletrônico, manda um sinal para a bobina que promoverá o deslocamento de uma haste imantada que, associada a um diafragma, promoverá a entrada do ar para a haste que está no tanque. Afim de vencer a pressão de coluna de combustível existente, essa pressão de ar é detectada por um sensor de pressão que realimenta a placa controladora.

Havendo alguma variação do nível, a pressão na ponta inferior da haste muda, e desta forma o microcontrolador detecta e tenta mudar a pressão do ar, para que se adapte à nova pressão da coluna de combustível a ser sustentada.

Isto promove uma pressão mínima necessária para produzir pequenas bolhas na saída da haste e somente com uma modularização da freqüência, o controlador pode ajustar esse borbulhamento a diferentes variações do nível do tanque. O ideal é que não saíssem bolhas na haste, mas sim que ficasse um bolha estática na ponta, pois aí teríamos certeza de estarmos com a mesma

pressão interna do tanque. Mas isso encareceria muito o projeto, pois exigiria um módulo controlador mais desenvolvido, levando-se em conta que é uma condição de alta instabilidade.

Algumas observações quanto ao medidor:

- A haste que recebe a pressão deve ser instalada no centro geométrico do tanque para que a medida do nível seja amenizada nos erros em caso de inclinações do tanque;
- O tanque deve ter um respiro adequado uma vez que estamos inserindo ar no mesmo;
- A perda de carga de pressão nos tubos de ligação e na haste é desconsiderada;
- A placa controladora retorna um sinal analógico que cobre uma faixa de 0,8 V (zero – para o tanque vazio) até 11,5 V (span – para uma coluna de 820 mmca);
- Este sinal pode ser coletado por um computador de bordo que através de uma tabela de calibração (volume x voltagem) pode-se determinar a quantidade de combustível existente no tanque por meio de uma interpolação da mesma.

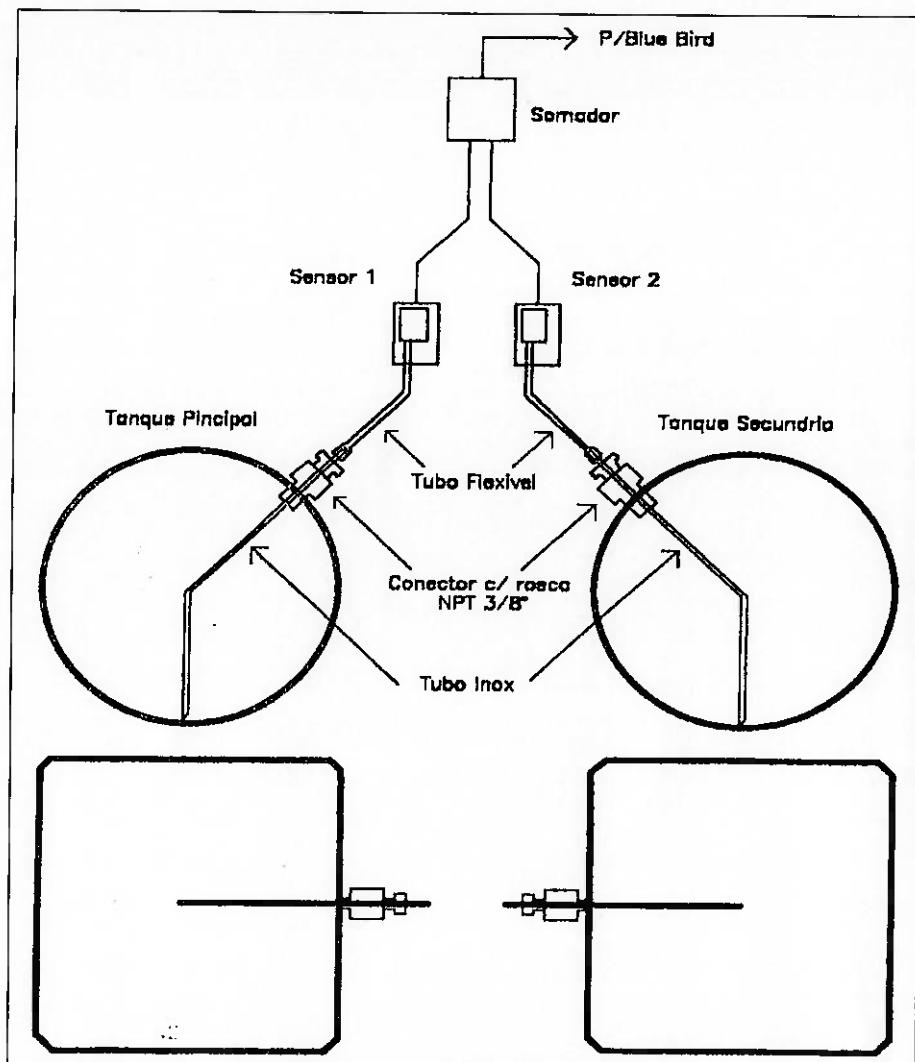
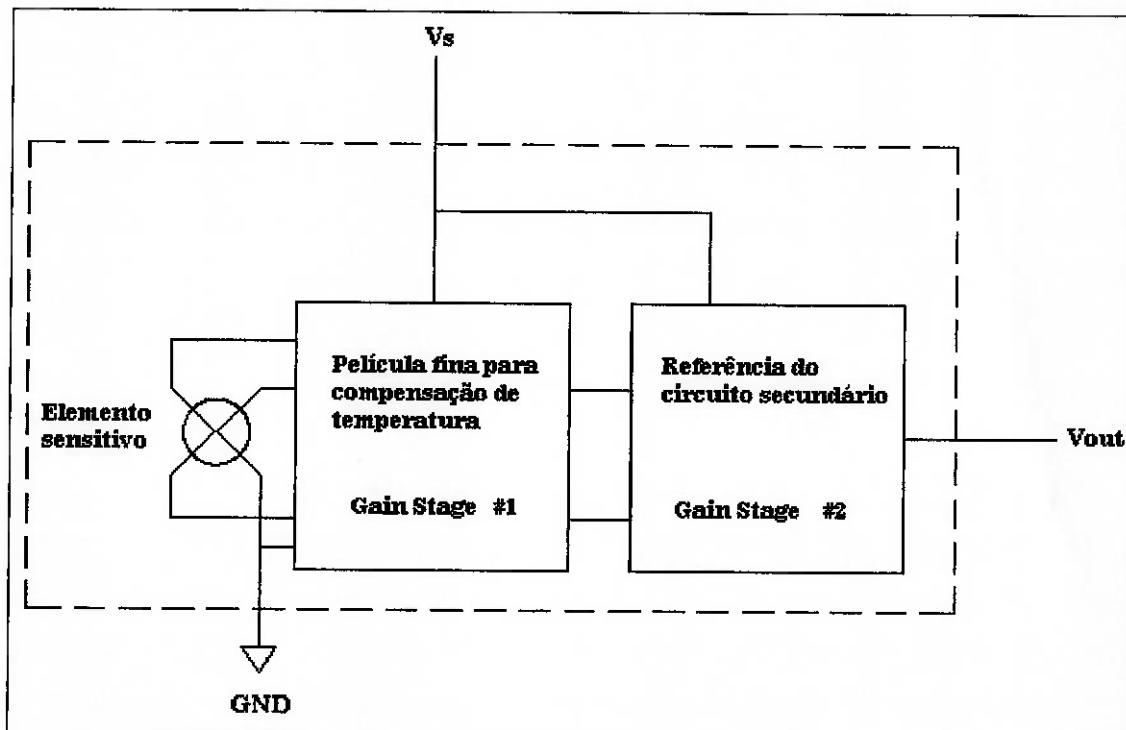


Figura A11 - Figura da instalação do sistema com sensor de pressão

O transdutor de pressão utilizado, fabricado pela Motorola, é do tipo piezoresistivo e é projetado para uma grande faixa de aplicação, mas particularmente para emprego em microcontroladores/microprocessadores com entrada A/D. Esse transdutor fornece um sinal de saída analógico de alta exatidão, segundo o fabricante, proporcional à pressão aplicada. Possui outras características como:

- apresenta um baixo custo (R\$16,00);
- tamanho reduzido;
- erro de no máximo 3% dentro da faixa de 0°C a 85°C;
- pode ser aplicado em medições absolutas e diferenciais;
- tensão de alimentação – 5 V;
- sensibilidade – 450 mV/kPa;
- tempo de resposta – 1 ms;
- peso – 1.5 g.



**Figura A12 – Esquema de funcionamento do sensor de pressão da Motorola.**

#### A.6.3. *Medidores de vazão com engrenagens*

Outra solução estudada é a de se montar um sistema com dois medidores de vazão instalados, um na saída do tanque para a admissão do motor e o outro no retorno do motor para o tanque.

Paralelamente a esta instalação, deve ser montado um sistema que verifica os volumes dos medidores e faz a subtração para determinar o volume que resta no tanque.

O grande problema de implementação desse sistema é na escolha do medidor de vazão, pois os disponíveis no mercado operam com boa exatidão somente para vazões maiores que 5 L/min, o que é muito se pensarmos que o consumo normal do motor de um caminhão é da ordem de 0,5 L/min.

A busca para a solução deste problema está no desenvolvimento de um medidor de vazão que se aplique neste caso. As alternativas se resumem no uso de um medidor feito de um material plástico rígido, que resista à corrosão, com engrenagens ou do tipo lóbulo, ou ainda uma palhetas simples com maior número de dentes.

A ela será adaptado um imã em uma de suas extremidades e fora do compartimento que as envolve pode-se instalar um sensor magnético que irá receber um sinal a cada volta completa da engrenagem e o enviará a um contador digital. Assim poderemos associar, no microprocessador, o número de voltas com o volume que passou pelas engrenagens.

Vale a pena citar que devemos utilizar um eixo para engrenagens que não saia do compartimento, uma vez que se isso ocorrer, precisaríamos utilizar retentores que promoveriam uma perda de carga grande se levarmos em conta a vazão medida.

## A.7. ENSAIOS E TESTES

Foram feitos ensaios com dois dispositivos disponíveis: o que utiliza o sistema de bóia e o sensor desenvolvido pela Blue Tec. Os objetivos dos ensaios foram: comparar as faixas nominais de medição, a resolução, o tempo de resposta e as condições de utilização dos mesmos.

Foram levantadas também tabelas que relacionam o sinal de saída com a altura do nível de combustível no tanque (em mm).

### **A.7.1. Medidor de nível com avaliação da pressão**

**Tabela A1 - Sinal de saída do sistema com sensor de pressão.**

Nível do combustível [mm]	Sinal de resposta [V]
820 (span)	11,8
800	11,6
750	10,9
700	10,2
650	9,6
600	8,9
550	8,2
500	7,5
450	6,8
400	6,2
350	5,5
300	4,8
250	4,1
200	3,4
150	2,8
100	2,1
50	1,4
0 (zero)	0,8

De posse destes dados foi possível plotar os pontos num gráfico e com aplicação do método estatístico de regressão linear, traçar uma reta que melhor aproxima esses pontos.

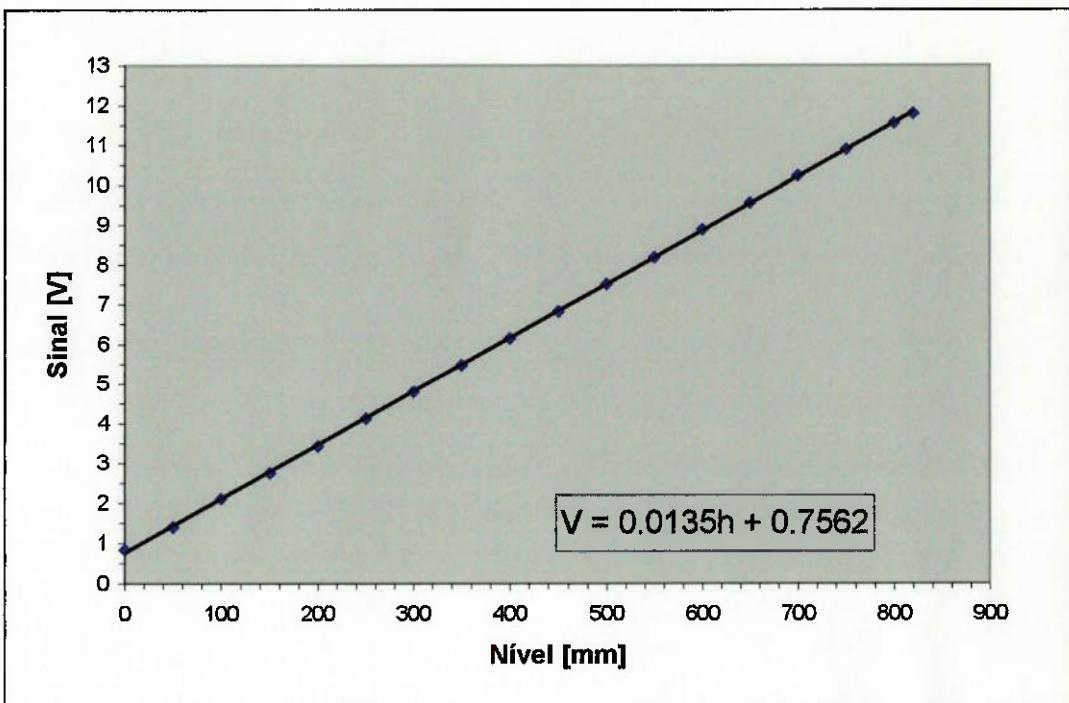


Figura A14 - Curva do sistema com sensor de pressão.

Esses dados também servem como entrada para o programa CalcTab que gera a tabela calibrada para codificar um computador de bordo que irá receber os sinais analógicos do medidor.

O programa tem como variáveis de entrada o tipo de combustível utilizado; a voltagem de alimentação do sensor; o tipo de geometria do tanque, bem como suas dimensões correspondentes; e os valores do sensor que determinam seu range de operação (**zero** e o **span**).

A saída se resume: no volume do tanque e na tabela de interpolação do computador de bordo. Esta tabela indica a relação entre o sinal em [V] e o consumo do combustível em L.

Tomando como exemplo um tanque em forma de paralelepípedo com as seguintes dimensões: 500 mm x 500 mm x 1000 mm. Vamos usar a água (Ref.) como fluido; a alimentação será a de uma bateria de caminhão (24 V) e utilizaremos o **zero** e **span** medidos anteriormente.

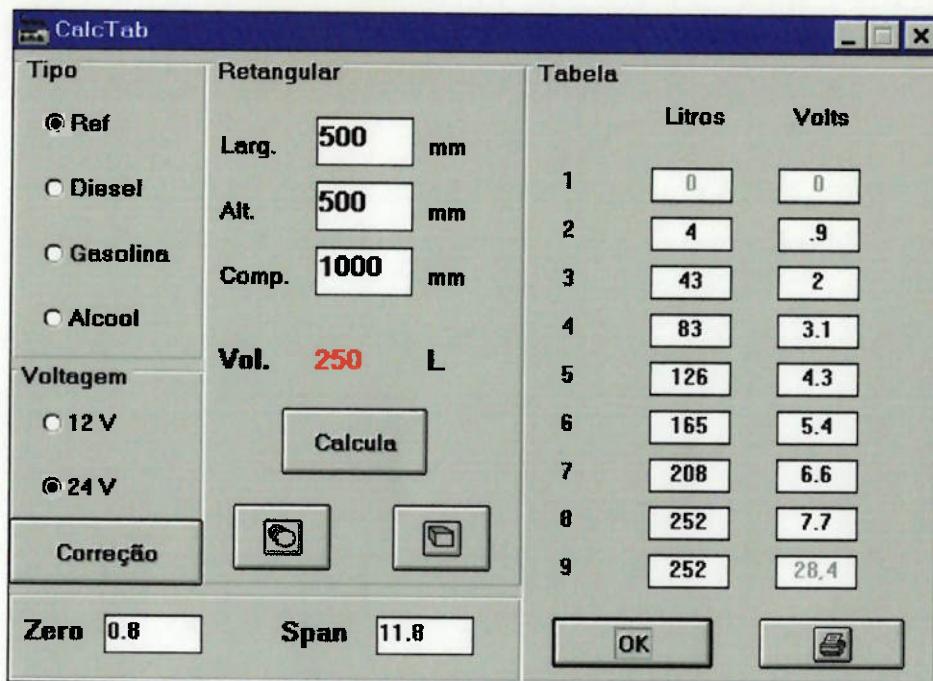


Figura A15 - Exemplo do programa CalcTab.

Nota-se que o comportamento do sistema é bem linear, sendo que nenhum ponto foge da aproximação feita. Observa-se que é no ponto 8 da tabela do programa acima que está praticamente indicado o sinal em volts do tanque cheio (250 L), que corresponde ao nível de 500mm do mesmo. Aplicando-se a equação de interpolação do sensor, temos:

$$V = 0.0135h + 0.7562 = 0.0135 * 500 + 0.7562 \approx 7.5 \text{ volts}$$

Que é praticamente o valor calculado pelo programa, sendo que se for feita uma interpolação entre os pontos 7 e 8, chega-se, para um volume de 250L, a um sinal de 7,6 volts.

### A.7.2. Medidor de Nível do Tipo Bóia

No caso da bóia foram especificadas oito posições para sua fixação e, com o auxílio da montagem abaixo, foi feita a medida da resistência que o reostato indicava em cada posição.

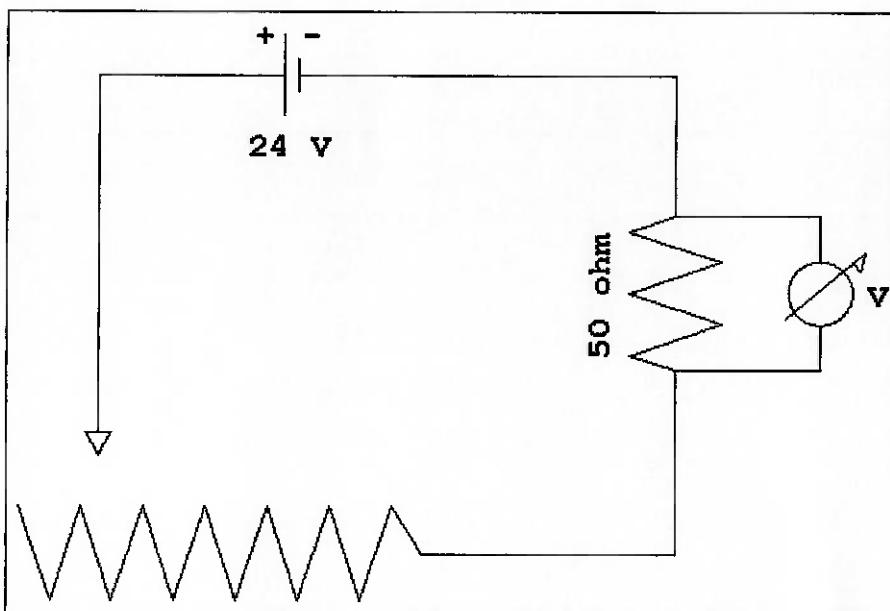


Figura A16 - Esquema da variação de resistência no reostato da bóia.

Tabela A2 - Sinal de saída do reostato da bóia.

Posição no marcador	Sinal do reostato [ $\Omega$ ]
1	2,0
2	8,8
3	15,9
4	22,8
5	31,1
6	43,0
7	55,1
8	71,3

Para a bóia foi feito o gráfico abaixo com uma interpolação polinomial de grau dois, devido ao fato de não apresentar linearidade nos pontos.

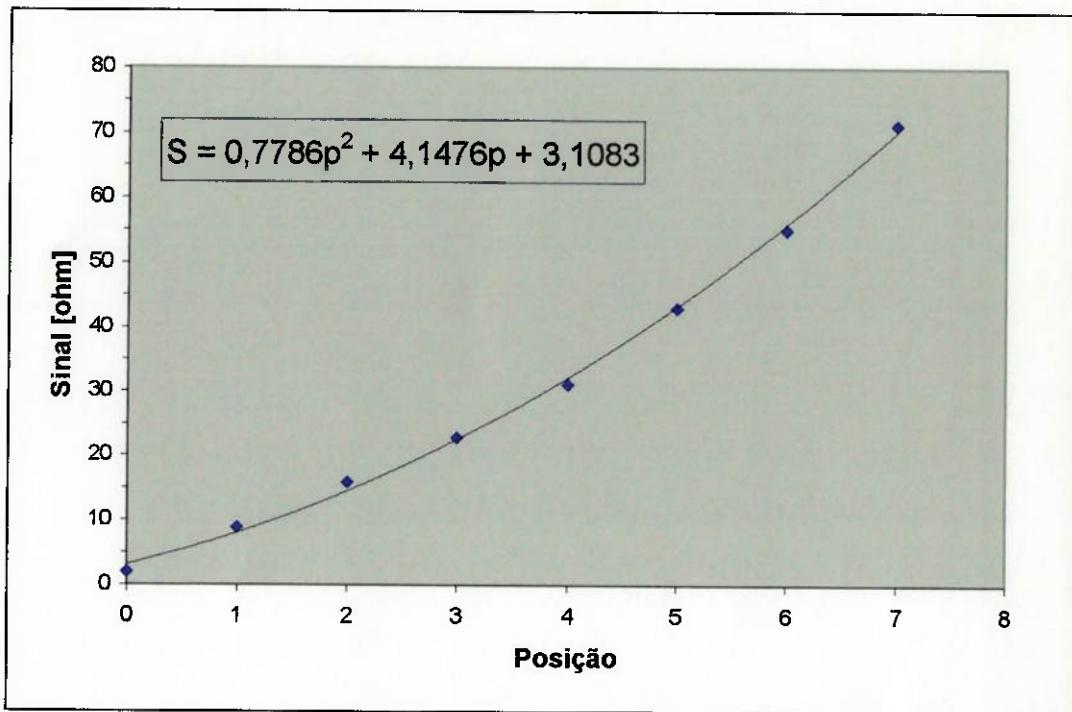


Figura A17 - Curva do sensor do tipo bóia.

## A.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta primeira etapa do trabalho, ou seja, o Estudo de Medição de Combustível, procurou-se entender e analisar as soluções para os mecanismos existentes e propostos.

Pode-se verificar que instrumentos, tais como a bóia, possuem vantagens em relação aos outros (exemplo – baixo custo) e devido a uma certa relação custo benefício, ainda sobrevive no mercado. Mas mesmo assim, apresenta problemas já citados, e tendo em vista isso confrontamos essa solução tradicional com uma em desenvolvimento (o sistema de Blue Tec que utiliza sensor de pressão) e também com novas propostas.

Devido a impossibilidade de maiores ensaios e estudos, ainda não pode ser tomada uma decisão definitiva pela qual irá se apoiar o desenvolvimento do projeto básico.

A decisão ainda está em aberto, visto que nem todas as variáveis básicas, limitações e critérios ainda não foram estudados por completo.

Assim, através de uma discussão e avaliação, serão escolhidas duas soluções que serão abordadas diferentemente, sendo uma para cada componente do grupo do Trabalho de Formatura. Poderá também ser adotada uma única solução, cujas componentes serão trabalhadas em paralelo pelos mesmos integrantes.

**PARTE B**

**DESENVOLVIMENTO, FABRICAÇÃO E TESTES DE UM  
MEDIDOR DE VAZÃO DE ENGRENAGENS -  
SISTEMA DE SENSORIAMENTO**

## PARTE B

### B1. ESTUDO DE VIABILIDADE - CONCLUSÃO

No Anteprojeto, ou Projeto Básico, procura-se estabelecer uma concepção geral do produto a ser desenvolvido, ou seja, uma técnica ou instrumento a ser desenvolvido para a medição do consumo de combustível. Isto servirá de base para um futuro projeto executivo ou de fabricação em escala de produção(etapas finais da espiral de projetos).

#### ***B1.1 Solução da melhor alternativa***

Atingida essa etapa, parte-se para a avaliação das alternativas estudadas na fase anterior que acabaram se tornando mais promissoras. Esta escolha é efetuada confrontando as várias propostas entre si, buscando destacar os pontos fortes e fracos das mesmas.

Deve-se procurar estabelecer os critérios de projetos, ou atributos, de forma tanto mais quantitativa quanto possível. Esta não é uma etapa fácil de ser concluída devido a essa necessidade de quantificar grandezas abstratas.

Aliado a isso tem-se o grau de incerteza ainda presente nos estudos desenvolvidos em cada uma das alternativas propostas visto que não foi possível maiores ensaios e testes necessários para um melhor julgamento.

Apesar deste contexto, foi possível criar e analisar a matriz de decisão. Esta matriz tem por entradas os atributos nas linhas e as várias alternativas nas colunas. Impondo-se pesos a cada atributo tem-se a importância relativa entre os mesmos e, atribuindo-se notas de 0 a 10 para cada alternativa tem-se a avaliação relativa para um dado atributo. Os medidores analisados foram: medidor de nível por dupla bóia; medidor de nível por ultra-som; medidor de nível por pressão e medidor de vazão de engrenagens ovais.

Assim pode-se explicitar e quantificar os critérios do projeto. A seguir apresenta-se a Matriz criada para a análise:

**Tabela B1 - Matriz de decisão.**

ATRIBUTO	Peso	Medidor de nível por Dupla Bóia		Medidor de nível por Ultrassônico		Medidor de nível por pressão		Medidor de vazão de Engrenagens	
		Nota	N X P	Nota	N X P	Nota	N X P	Nota	N X P
Simplicidade	0,05	8	0,40	6	0,30	5	0,25	7	0,35
Manutenibilidade	0,05	9	0,45	6	0,30	6	0,30	7	0,35
Durabilidade	0,10	6	0,60	7	0,70	7	0,70	8	0,80
Repetibilidade	0,20	5	1,00	8	1,60	8	1,60	9	1,80
Segurança	0,10	9	0,90	7	0,70	8	0,80	9	0,90
Custo	0,20	10	2,00	5	1,00	7	1,40	6	1,20
Resolução	0,10	4	0,40	7	0,70	8	0,80	8	0,80
Exatidão	0,10	5	0,50	7	0,70	7	0,70	7	0,70
Confiabilidade	0,10	5	0,50	8	0,80	8	0,80	8	0,80
<b>TOTAL</b>	<b>1,00</b>		<b>6,75</b>		<b>6,80</b>		<b>7,35</b>		<b>7,70</b>

## B.2. ANÁLISE E RESULTADOS DA MATRIZ DE DECISÃO: MEDIDOR DE VAZÃO POR ENGRANAGENS.

Procurou-se abordar, na elaboração da Matriz, itens de análise comuns ao estudo de melhor alternativa (*simplicidade, manutenção, durabilidade, segurança, custo*) adicionados a itens relevantes aos medidores de nível e vazão de combustível (*exatidão, repetitividade, resolução, confiabilidade*).

Ponderando estes itens e avaliando todos os casos, foi obtido como melhor alternativa o medidor de vazão de engrenagens ovais. Pela análise superficial admite-se que o item *custo* é um ponto fraco desta alternativa. Desta forma, com a escolha deste sistema como solução do estudo de viabilidade, pretende-se desenvolver o projeto básico com um foco de melhoria de seu custo estudando materiais alternativos e, consequentemente, podendo aprimorar seu desempenho.

Outro fator importante nesta decisão está no fato de se medir o consumo de combustível através da vazão, ao invés de medir o nível do tanque de combustível do automóvel já que este, estando em movimento, não contribui na obtenção de uma referência estática.

O medidor de vazão apresenta também, além do fator *custo* apresentado na matriz de decisão, alguns fatores que influenciam seu desempenho são listados à seguir.

### **B.2. 1. Fluxo pulsante**

É importante reconhecer que o escoamento é um processo dinâmico e que a dinâmica de um fluido pulsante, intensidade da turbulência e dispositivos do próprio projeto estão relacionados na medição do fluxo. Em um medidor de vazão por engrenagens ideal, variações na taxa de vazão, pressão e densidade são instantaneamente sentidas não ocorrendo erros devido a estes fatores. Mas em medidores reais, a inércia, o amortecimento, variações na força devido a pressão do fluido que provoca o binário que movimenta as engrenagens, bem como alterações de perfis da engrenagens e freqüências de

ressonância de tubos afetam o medidor em si. A característica de resposta de cada um afeta a exatidão da medição como um todo.

#### **B.2. 2. Bolhas**

Há formação de bolhas nas linhas de retorno do motor devido ao fato do combustível ter passado pela bomba injetora sob condições de temperaturas próximas a 70°C. O vapor e o ar dentro do líquido podem resultar em grandes erros de medição mesmo que haja pequenas quantidades de bolhas. Conversas com especialistas indicaram que estas bolha são irrelevantes.

#### **B.2. 3. Retorno após a bomba injetora**

Grande parte do combustível retorna da bomba injetora para o tanque e isso deve ser contabilizado, ou seja, o erro será muito maior devido ao fato da quantidade de combustível, consumida pelo motor, ser muito pequena. O problema pode ser contornado com a utilização de dois medidores, ou um medidor de câmara dupla de tal maneira que uma câmara é instalada na linha de admissão do combustível e a outra na linha de retorno. Assim, somente o que o motor consumiu seria contabilizado.

#### **B.2. 4. Perda de carga**

Como o medidor trabalha com vazão, este vai apresentar resistência ao fluido, impondo perdas de características principalmente singulares. Mas a relevância deste item não será aparentemente muito decisiva uma vez que a sua montante encontra-se a bomba de combustível que fornece carga suficiente para vencer as perdas e também promover o retorno deste líquido ao tanque.

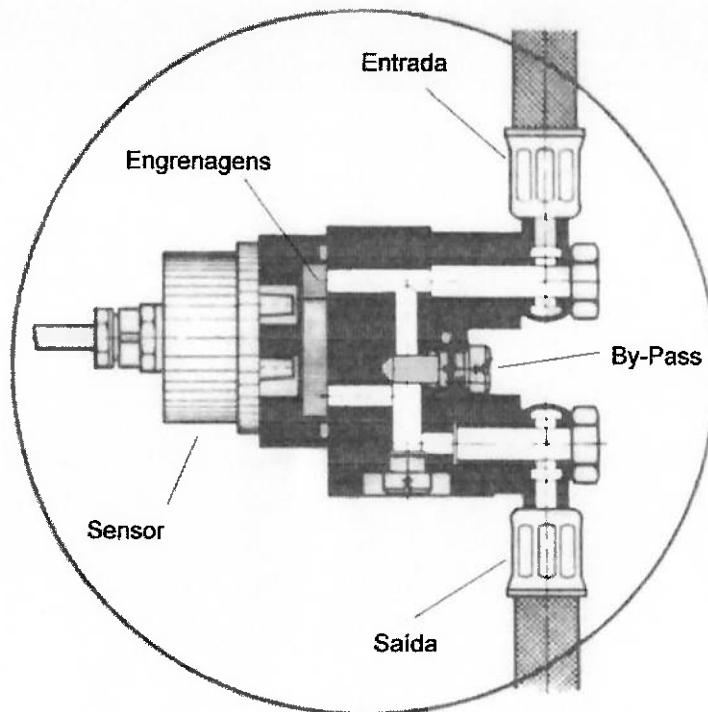
## B.3. MEDIDOR DE VAZÃO DE ENGRENAGENS OVAIS

Os fabricantes de medidores de engrenagens ovais indicam que estes instrumentos pertencem à classe de medidores volumétricos, e tais medidores têm boa exatidão e razoável confiabilidade considerando que eles efetuam a medição de volume de líquidos de uma forma direta.

### ***B.3.1 Equipamento no mercado***

O medidor de combustível denominado Econovias é um produto fabricado pela Metroval, empresa especializada em medidores volumétricos de engrenagens ovais. Este medidor foi criado com o propósito de possibilitar aos empresários que atuam nas áreas de transporte de cargas, de passageiros, agricultura, terraplanagem, etc, um melhor controle entre o abastecimento e o volume de combustível efetivamente consumido pela frota.

Este sistema é composto por uma câmara de medição e monitoração de fluxo, gerador de sinais, totalizador de volume e o kit de instalação. O esquema de instalação em diversos motores é apresentado no anexo III.



**Figura B1 - Vista em corte do Econovias.**

Nota-se que o medidor apresenta um by-pass para ser acionado em caso de emergência, como a interrupção do fluxo de combustível provocado pelo travamento das engrenagens.

**Características:**

- Capacidade máxima de medição : 2 L/min;
- Volume máximo registrado pelo totalizador : 9999 litros;
- Volume mínimo registrável: 1 litro;
- Erro máximo : + ou – 2%;
- Transmissão: indutiva, sem contato com o combustível;

O custo estimado desse sistema completo gira em torno de R\$700,00.

### B.3.2 Descrição e análise do princípio de funcionamento

No desenvolvimento de um projeto, alguns aspectos abstratos vão se tornando mais concretos. Para tal situação surgem modelos, ou seja, algumas situações idealizadas de uma situação real para auxiliar na análise e/ou previsão de determinada solução.

A engenharia no desenvolvimento de medidores de vazão de engrenagens atua com o objetivo de obter-se simplicidade de concepção. Estes equipamentos de medição contém uma câmara com duas engrenagens ovais acopladas entre si, e girando em sentido contrário. Estas engrenagens rotacionam muito próximas à parede de medição isolando volumes de líquido. Para uma melhor visualização o modelo abaixo mostra a seqüência de funcionamento do medidor de engrenagens.

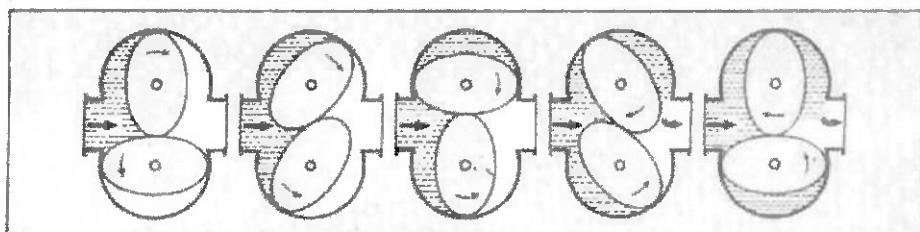


Figura B2 - Sequência de funcionamento.

Conforme a figura 3, o diferencial de pressão a que o medidor está submetido gera um momento angular na engrenagem inferior, enquanto na engrenagem superior os momentos angulares se anulam.

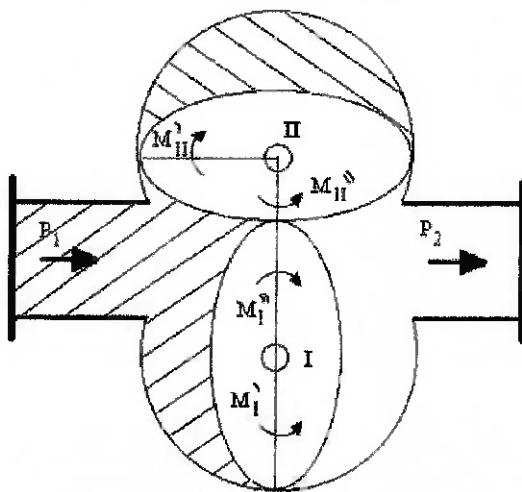
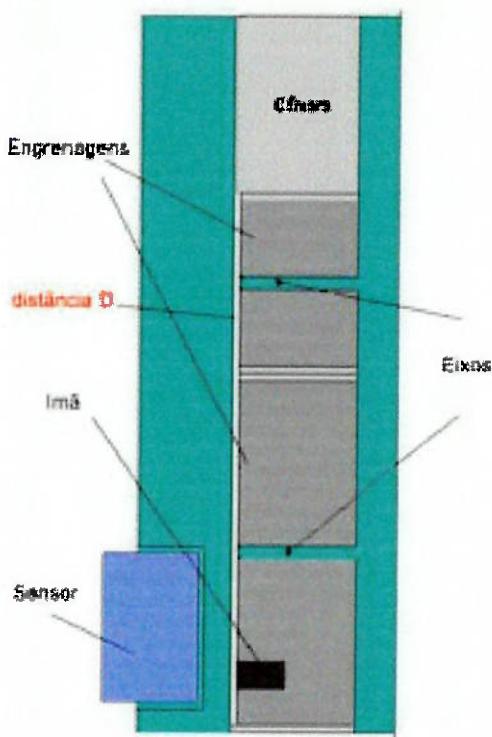


Figura B3 - Momentos nas engrenagens.

A cada giro completo das engrenagens ovais, quatro volumes são transportados da entrada para a saída do medidor, estabelecendo uma proporcionalidade entre a rotação e o volume transportado.

Os eixos sobre os quais giram as engrenagens ovaladas são fixados na base da câmara de medição e os seus mancais são de grafite ou de bronze, sendo esta seleção definida de acordo com os materiais básicos de fabricação ou, alternativamente, dependendo da aplicação, podem também ser usados rolamentos.

O dispositivo sensor é hermeticamente separado da câmara de engrenagens. Imãs permanentes fornecem um campo magnético que será sentido pelo sensor indicando assim as rotações das engrenagens ovaladas. Este acoplamento magnético é realizado de forma paralela aos eixos das engrenagens ovaladas, tornando impossível qualquer tipo de vazamento, pois este não atinge a câmara, como mostra o esquema abaixo:

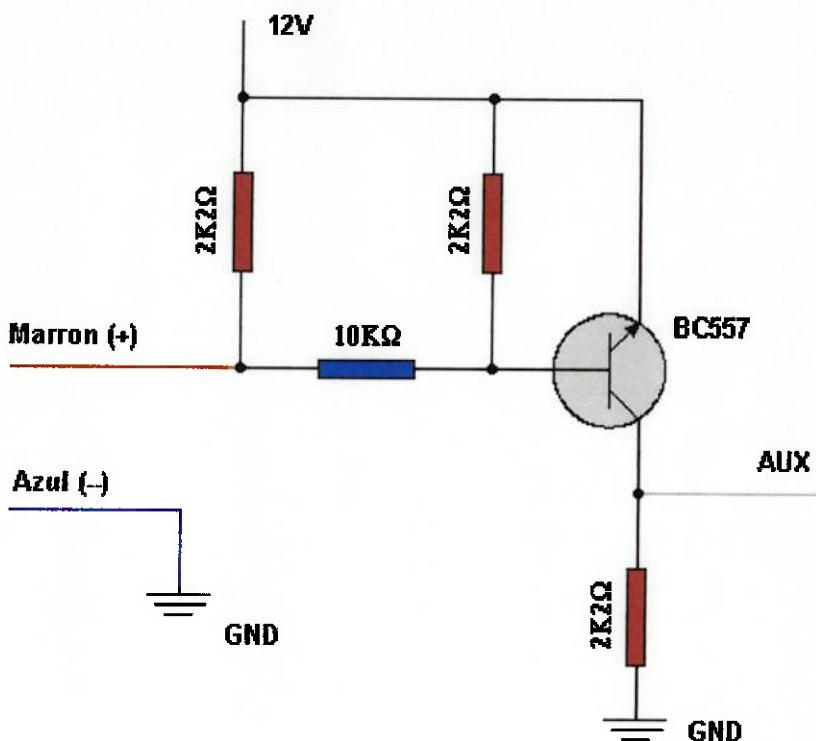


**Figura B4 - Vista em corte da câmara de medição.**

A rotação que é transmitida pelo acoplamento magnético permite a instalação de indicadores locais de volume, transmissão a distância de sinais

eletrônicos de pulso, ou ainda transmissão de freqüência de pulsos proporcional à vazão instantânea.

Para o caso da transmissão do sinal eletrônico, dependendo do tipo de sensor a ser utilizado, deve-se alimentá-lo com uma fonte de tensão constante e montar um circuito básico para ligá-lo a um sistema de medição, como por exemplo num computador de bordo. Abaixo está uma montagem simples que exemplifica isto:



**Figura B5 - Circuito de polarização do sinal do sensor Namur.**

Este circuito é responsável pela polarização do sinal na saída de um sensor magnético do tipo Namur de tal maneira que este sinal do sensor atinja um nível de voltagem que possa ser detectado pelo contador digital presente no computador de bordo.

O presente projeto utilizou um modelo mecânico semelhante a este já existente no mercado, com a mesmo princípio físico de funcionamento mas com novas concepções quanto a geometria, quanto à direção do fluido, quanto à composição de materiais e também no que se refere aos sensores magnéticos utilizados.

Quanto às variações geométricas, foi proposto a eliminação do by-pass para facilitar a construção do protótipo e a mudança na direção de entrada e saída do fluido, que passou a ser perpendicular aos eixos das engrenagens.

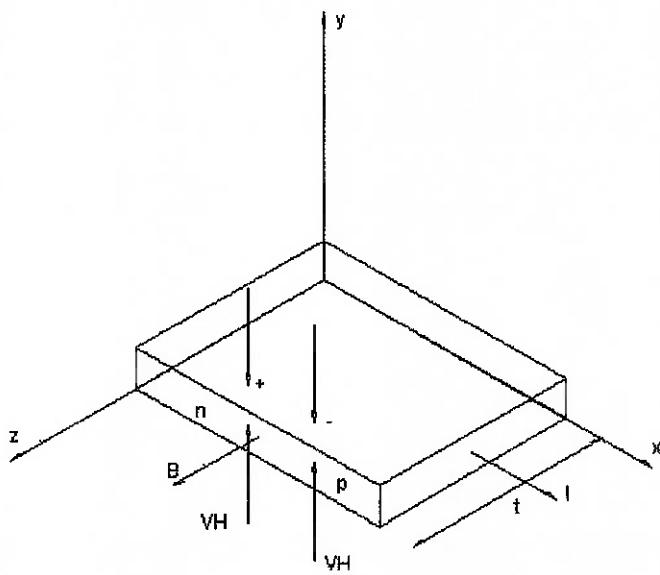
Outra proposta foi a construção do protótipo com plástico de engenharia, como o technyl e poliacetal. Maiores detalhes são descritos no decorrer do presente trabalho.

### **B.3.3 Modelo elétrico do sistema**

O princípio de sensoriamento magnético proposto é representado pelos sensores tipo Hall, que, como o próprio nome diz, é baseado no princípio Hall.

O efeito Hall, descoberto por E. H. Hall em 1879, consiste na geração de uma diferença de potencial elétrico entre os lados de um condutor ou semicondutor através da passagem de uma corrente enquanto há um campo magnético perpendicular a esta corrente.

A figura abaixo mostra, para um semicondutor, a variação da voltagem Hall, que depende do tipo do condutor.



**Figura B6 - Campos atuantes no semicondutor.**

Uma força de Lorentz age nesses condutores ( $F=q.v \times B$ ). Isso leva à uma acumulação de carga na superfície que resulta numa ddp que equilibra a força que é exercida pelo campo magnético.

Assumindo que a direção da força depende do tipo de condutor, a voltagem Hall terá sinais contrários para materiais p e n.

A voltagem Hall (VH) gerada depende da espessura  $t$  do material, da corrente primária  $I$ , do campo magnético  $B$  aplicado e das propriedades elétricas do material (densidade de carga e condutividade). Esses parâmetros são descritos pelo coeficiente Hall:

$$A_H = \frac{V_H \cdot t}{I \cdot B}$$

O comportamento descrito pela equação é de uma certa forma ideal. A voltagem Hall depende, na prática, de outros fatores, tais como pressão e temperatura.

Tem-se então:

$$V_H = V_H(B) + V_H(I) + V_H(p) + V_H(T)$$

A dependência da pressão (efeito piezoresistivo) é um fator a ser considerado pelo fabricante no encapsulamento do dispositivo. Mas não chega a ser uma grande preocupação para o usuário.

A temperatura tem uma dupla influência. Por um lado afeta a resistência elétrica do elemento. Se for aplicada uma voltagem constante, a corrente  $I$  muda com a temperatura, e isso mudará a voltagem de saída  $V_H$ . Portanto é muito melhor fornecer uma corrente constante, ao invés da voltagem constante. No caso utilizado para se detectar a presença do imã na engrenagem não há muita preocupação, uma vez que essa variação na voltagem não seria o suficientemente grande para deixar de ser percebida pelo computador de bordo.

Outra limitação nas aplicações onde é exigido alto grau de exatidão é a presença de uma voltagem de offset, que é uma voltagem de saída mesmo na ausência de qualquer campo magnético e com eletrodos bem centrados. A voltagem de offset ocorre quando há imprecisões físicas ou uniformidades no material. Este valor pode ser mais do que 100 mV para uma voltagem de 12 V. Para resolver este problema, um elemento de controle pode ser incluído, por

onde através dele a corrente necessária seria injetada para obter uma saída nula quando não houver campo magnético.

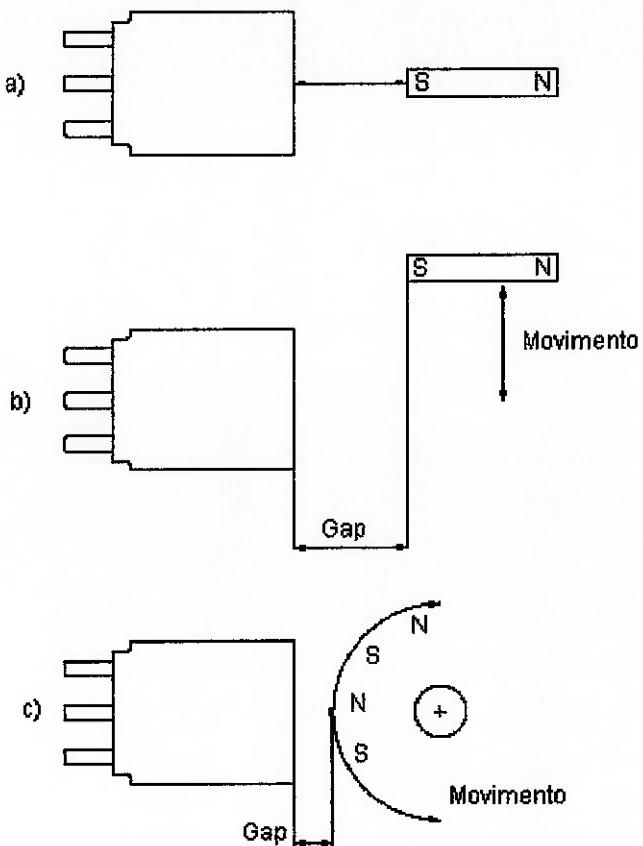
Comparando com outros sensores de campo magnético, o sensor Hall tem a vantagem de produzir uma voltagem de saída que é independente da taxa da variação do campo magnético detectado. Para sensores indutivos, ao contrário, quando a velocidade da variação do fluxo magnético é pequena, a saída é muito pequena. Comparado com sensores baseados em um par ótico emissor-detector, os sensores de efeito Hall têm as vantagens de não perceberem quaisquer condições ambientais (poeira, umidade e vibração) e possuir características constantes ao longo do tempo. Isso é muito importante para essa aplicação, uma vez que os veículos estão sujeitos a todo esse tipo de variação.

O sensor Hall é baseado em semicondutores devido a sua condutividade ser menor e sua voltagem ser maior, comparativamente aos metais. A condutividade em semicondutores pode ser controlada pela adição de impurezas, sendo possível obter a repetitividade do coeficiente Hall. Assumindo que o efeito Hall depende somente da condutividade, não existem perturbações devido a efeitos de superfície, como é o caso de junções p-n e elementos bipolares, desta forma são altamente confiáveis.

Os materiais usados para o sensor Hall são InSb, InAs, Ge, GaAs e Si. O silício tem a vantagem de poder integrar circuitos em um mesmo chip.

Os sensores Hall são fabricados em diferentes formas: retangular, borboleta e cruz simétrica, o que permite a permuta de eletrodos.

Da equação do coeficiente Hall deduz-se que as aplicações comuns para o efeito Hall são a medição de campos magnéticos (Gauss) e também a multiplicação de qualquer duas quantias que pode-se converter em uma corrente ou em um campo magnético, como por exemplo, para medidor de corrente elétrica (wattímetro). É também possível medir a intensidade da corrente colocando o sensor Hall no centro de um toróide, onde a corrente que circula, produz um campo magnético. A figura abaixo mostra os tipos de métodos de montagem dos sensores aos diferentes tipos de aplicação:



**Figura B7 - Aplicações do sensor.**

Observando-se a figura abaixo tem-se:

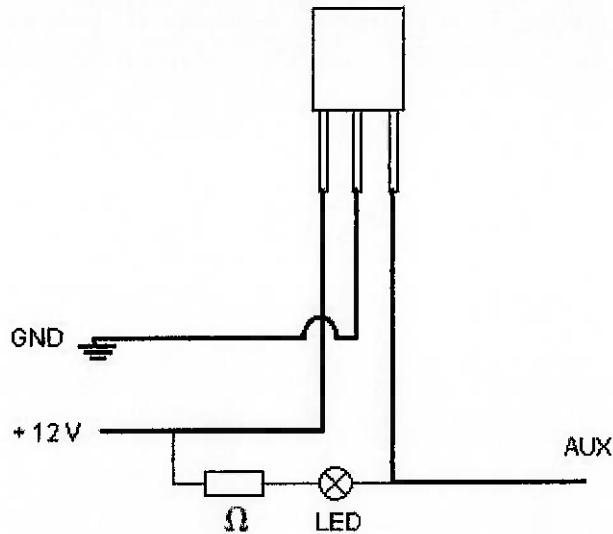
No caso (a) o movimento resulta na variação da distância entre o imã permanente e o detector. Se o elemento Hall interrompe o circuito, como uma chave, então tem-se um proxímetro.

No caso (b), pode ser usado como proxímetro ou contador (utilizado neste projeto).

No caso (c) é utilizado como uma chave comutadora para medir a velocidade de rotação

Estes elementos de comutação conseguem detectar campos magnéticos na faixa de 100 a 500mT. Já os elementos lineares conseguem atingir sensibilidade de aproximadamente 10V/T.

Obviamente, utiliza-se este sensor como contador, ou seja, através de um transistor que satura ou não conforme a presença do campo magnético. O modelo a seguir representa o funcionamento deste sensor:

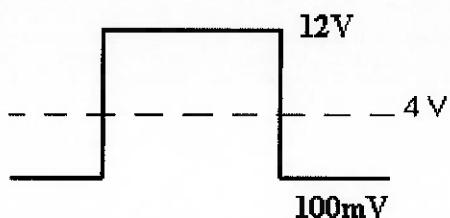


**Figura B8 - Esquema elétrico do sensor Hall.**

O sensor Hall modelo “UGS 3132 718” quando alimentado com uma fonte de tensão contínua de 12 V fornece ao emissor uma saída próxima de 0 V, mas não nula, uma vez que há influências de desuniformidades do material gerando essa voltagem de offset já descrita anteriormente. Essa tensão residual é insignificante, uma vez que o contador de pulsos do computador de bordo detecta variação a partir de 4 V.

Quando o imã aproxima-se do sensor, este sofre a influência do campo e imediatamente satura. Assim sendo, a tensão no auxiliar atinge um valor muito próximo de 12 V.

Como o sensor trabalha com 12 V ou 100 mV e o sistema atua de forma cíclica, obviamente haverá um sinal de onda quadrada onde será detectada a variação a nível, contabilizando assim os giros da engrenagem.



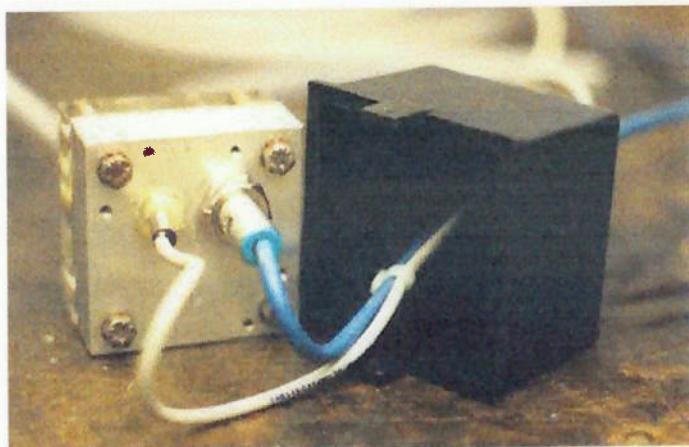
**Figura B9 - Sinal de saída do sensor Hall.**

Assim, uma monitoração visual simples é implantada através do uso de um LED em série com o pull-up (resistor). Quando o transistor (Hall) não está saturado, ou seja, o auxiliar está próximo de 0 V, uma corrente passará pela ligação entre a entrada 12 V e o auxiliar, o que acenderá o LED. É importante perceber que esta corrente deve ser limitada, pois a entrada auxiliar do computador de bordo poderá queimar. Para evitar isso, um resistor de 2,2 kΩ foi introduzido na ligação (pull-up).

Além disso, o fator “fluxo pulsante” característico dos sistemas de combustível dos veículos, interferiu de forma direta na construção do sistema elétrico. Considerando que a engrenagem pode sofrer um recuo de alguns graus a cada ciclo, deve-se notar uma peculiaridade na utilização de um único sensor e um único imã. Supondo-se que num dado momento o imã da engrenagem pare sob o sensor, o contador contabilizará um giro, desta forma, ocorrendo o recuo suficiente para que o sensor não sofra mais atuação do campo magnético, a engrenagem passará por ele novamente, acionando-o e assim contabilizando uma nova volta sem mesmo que as engrenagens a tenham realizada.

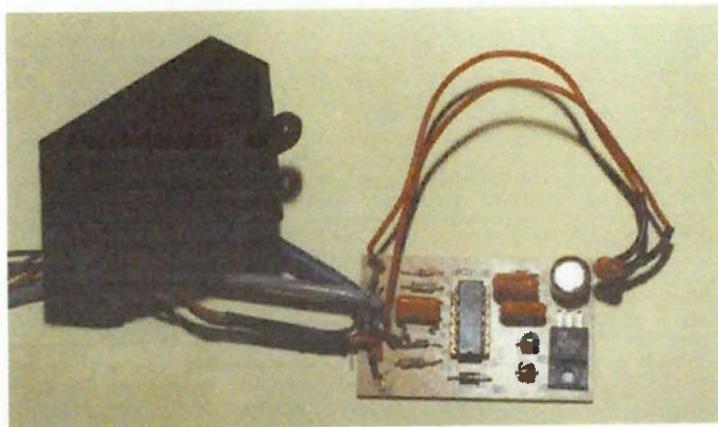
A configuração original do Econovias apresentava dois sensores Namur dispostos 180° em relação a posição do imã na engrenagem de tal maneira que uma volta só seria contabilizada depois que o imã passasse pelos dois pontos do sensor. Ou seja, ao passar sobre o primeiro sensor Namur, ativar-se-ia um sinal de Set que seria “complementado” ao se passar pelo outro sensor à 180°. Este enviaria um sinal de Reset que permitiria a mudança de nível e consequentemente que o sinal fosse contabilizado.

Conclui-se que nesta configuração a margem de segurança aos erros de contagem de voltas é muito maior, uma vez que o recuo da engrenagem deveria ser superior a 180°.



**Figura B10 - Sensores Namur no Econovias.**

No projeto do protótipo propôs-se a eliminação do sensor Namur devido ao seu custo. A configuração com o sensor do tipo Hall baseou-se na implementação semelhante ao Namur, onde utilizar-se-ia com dois elementos Hall situados  $180^\circ$  entre si, com o mesmo circuito eletrônico de contabilização para os sensores Namur. O esquema elétrico deste circuito será apresentado no anexo IV.



**Figura B11 - Circuito eletrônico utilizado com os sensores Namur.**

### B.3.4 Análise de sensibilidade

O sistema estudado pode ser descrito por um conjunto de variáveis, ou seja, os parâmetros do projeto que representam os atributos do sistema. No caso do protótipo deve-se considerar vários aspectos tais como dimensões críticas, propriedades físico-químicas dos materiais e do líquido utilizados, estados do sistema, entre outros.

Este item tem a função de descobrir quão sensível é o desempenho do projeto ao ajuste de vários parâmetros. A descrição do comportamento do sistema para fins de análise de sensibilidade é aqui apresentada de forma qualitativa envolvendo parâmetros do projeto e as variáveis de ajuste.

Por se caracterizar como um projeto fundamentalmente experimental, a simulação através de modelos simbólicos não é muito conveniente. Mas como se trata de uma fase intermediária do trabalho, algumas análises podem ser observadas antes mesmo de qualquer verificação experimental.

Inicialmente deve-se considerar o fator “dimensão crítica” para um medidor de vazão volumétrica. No caso, o medidor deve possuir tolerância dimensional mínima entre os componentes da câmara de medição. Inclui-se aqui o espaçamento entre os dentes das engrenagens e a parede da câmara e a distância das faces da engrenagem com a superfície da base e da tampa.



Figura B12 - Folga entre os dentes e a engrenagem.

Obviamente quanto maior forem estas folgas, maior será a quantidade de líquido que escapará, ou em outras palavras, passará sem promover a rotação das engrenagens. Assim, para uma mesma vazão volumétrica:

$$\uparrow \quad \uparrow \\ \text{Folgas} = \text{Relação litros/pulsos.}$$

Quanto as propriedades físico-químicas dos materiais empregados sabe-se que o poliacetal apresenta alta lubricidade a seco, mas com a presença de líquidos entre duas superfícies o resultado é desconhecido. Para tal resposta utilizar-se-á dos dados experimentais realizados posteriormente.

Outro ponto crítico é o material empregado como mancal de deslizamento para as engrenagens. Pensou-se em construir as engrenagens sem nenhum revestimento interno, somente com um furo que ficaria em contato direto com o eixo de inox. Talvez isso não seria o suficiente, então cogitou-se a utilização de bronze, um ótimo metal para tal utilização, mas a sua utilização também foi descartada quando surgiu a possibilidade de se empregar o grafite. Este material apresenta um excelente baixo atrito à seco, satisfazendo assim os aspectos desejados.

Conclui-se aqui que quanto menor o atrito entre as superfícies melhor será a rotação das partes móveis e consequentemente melhor será o desempenho do aparato.

Outro fator notório ao desempenho do aparelho é a característica físico-química do líquido a ser medido. O que pode-se verificar aqui é que quanto menor a viscosidade do fluido, maior a facilidade com que esse passará nas folgas do medidor. Com esta fuga de líquido, para uma mesma vazão, o número de voltas diminui e consequentemente a constante K (litros/pulso) do aparato aumenta.

Como os ensaios para testes do protótipo serão realizados com o uso de dois fluidos diferentes pode-se aqui prever que os resultados com o combustível serão mais satisfatórios, uma vez que este possui uma viscosidade maior e ao mesmo tempo atua lubrificando as engrenagens reduzindo assim possíveis engripamentos entre elas.

Outra variável que tem uma influência direta no desempenho do medidor de vazão é a própria vazão. Respeitando-se a faixa a que o aparelho é destinado, observa-se que pequenas vazões implicam em baixa rotação e consequentemente em uma inércia menor das engrenagens. Assim a taxa de fuga de líquido por líquido passante é muito maior. Para altas vazões, o percentual dessa fuga é pequeno perto da alta quantidade de fluido que é contabilizada pelo registrador.

Em termos elétricos, a sensibilidade do aparelho depende exclusivamente da própria sensibilidade do sensor magnético e do hardware do computador de bordo.

A distância entre o transistor Hall e o imã deve ser no máximo 1 cm pois acima disso a detecção não ocorrerá. A utilização de dois imãs diametralmente opostos garante a medição dentro de uma intensidade de fluxo pulsante, uma vez que a engrenagem necessitaria retornar cerca de 180° para que se registrasse o giro sem que mesmo a volta tivesse se completado.

O efeito da histerese já citado anteriormente também depende dessa distância, conforme constatado experimentalmente.

Se o sensor estiver muito próximo da fonte magnética, a histerese será menor, ou seja, caso se utilize apenas um imã no protótipo, o problema do recuo da engrenagem e o possível registro do pulso torna-se mais grave. Portanto a distância a ser utilizada deve estar acima de 5 mm para que se tenha uma margem de histerese confiável, evitando assim os problemas de pulsação da linha.

Há ainda o problema da freqüência de giro das engrenagens. Esta deve estar dentro dos limites físicos do sensor já que este é solicitado na mesma freqüência da engrenagem e deve possuir um intervalo de tempo suficiente para que a saturação e a não-saturação do transistor acompanhem esta rotação. Fisicamente é quase impossível as engrenagens atingirem tal rotação dentro das faixas de vazão a que se destina o aparelho e mesmo assim a constante de tempo do transistor é ínfima.

O que pode acontecer aqui é o registro do computador não acompanhar essa rotação e consequentemente não contabilizar os pulsos. A freqüência de "refresh" do contador digital deve ser maior que aquela a que o transistor está

submetido, do contrário, pulsos não serão contabilizados e a contagem não será efetiva.

### **B.3.5 Computador de bordo**

Para a captação e contabilização do sinais provenientes do circuito eletrônico utilizou-se um computador de bordo Blue Bird da IBM pois o projeto partiu da idéia de se criar um sistema de medição de vazão que fosse compatível com este computador.

O Blue Bird é um pequeno computador de bordo que pode ser instalado em veículos motorizados como caminhões e ônibus. O equipamento dispõe de recursos eletrônicos que registram tudo o que acontece no veículo, armazenando informações como a velocidade, rotação do motor, hodômetro, pressão do óleo, etc. Entre as varias entradas do computador existe uma auxiliar à qual se pode conectar o circuito do medidor. Esta entrada está ligada à um totalizador digital do Blue Bird sensível à variação à nível da tensão fornecida.

A soma desses pulsos pode ser monitorada através de um computador remoto para o qual o Blue Bird transmite o sinal via rádio freqüência ou via cabo serial. Neste computador remoto pode-se utilizar um software que associa o número e a freqüência de pulsos ao volume de combustível consumido em um dado intervalo ou instante respectivamente.



**Figura B13 - Blue Bird.**

### ***B.3.6 Análise de compatibilidade***

O protótipo a ser desenvolvido é composto de vários conjuntos, e cada um dos quais reúne subconjuntos que se compõe de vários elementos. Para que haja sucesso no desempenho do produto há a necessidade de compatibilidade entre estes subconjuntos. No presente projeto deve-se levar em consideração a compatibilidade geométrica, física (peso, voltagem), e a compatibilidade química entre materiais.

O aspecto mais importante da compatibilidade impõe que as variáveis de saída de um subconjunto sejam as de entrada de outro. O primeiro passo é dividir o projeto em subsistemas.

#### **B.3.6.1 Subsistemas**

- a- subsistema de câmara com engrenagens [SS1];
- b- subsistema de sensoriamento (sensor Hall) [SS2];
- c- subsistema de monitoração (computador de bordo) [SS3].

O esquema abaixo simplifica a relação simples entre os subsistemas:



**Figura B14 - Subsistemas.**

#### **B.3.6.2 Compatibilidade funcional**

##### **SS1**

No subsistema SS1 tem-se como entrada X a vazão determinada pelo sistema. Para tal interação é necessário que a entrada atinja valores superiores a 0,1 L/min de tal maneira que a saída Y (giros das engrenagens) atinja valores satisfatórios. Uma compatibilidade importante a ser citada nesse item é a compatibilidade química entre os materiais. No caso da tampa do medidor foi

prevista a utilização de acrílico, mas este material é sensível ao ataque de hidrocarbonetos (diesel) tornando-se opaco com o tempo. Entretanto como essa medida só foi adotada para facilitar a visualização nos ensaios experimentais, não deve ser levada em consideração, visto que a tampa no projeto final também é de poliacetal.

A dificuldade de construção das engrenagens, já descrita, forçou a construção destas através de resina epóxi, o que também não é previsto no projeto final que prevê a construção das mesmas em poliacetal. Fica aqui uma incógnita quanto a iteração desta com o material do corpo, o que só será identificado após testes e ensaios.

## **SS2**

As entradas do subsistema SS2 são as saída Y do SS1, ou seja, as rotações da engrenagens. Conforme descrito na análise de sensibilidade, o sensoreamento deve possuir um intervalo de tempo suficiente para que a saturação e a não-saturação do transistor acompanhem a rotação das engrenagens e isso sempre é obedecido.

A distância entre o transistor Hall e o imã deve ser no máximo 1cm do contrário as saídas Y desse subsistema deixarão de existir.

## **SS3**

O subsistema SS2 fornece a saída em forma de sinais de onda quadrada de 12 V que são a entrada do subsistema SS3. O computador Blue Bird apresenta uma entrada de captação auxiliar onde qualquer variação a nível do sinal que ultrapasse o valor de 4 V será detectada como uma mudança de estado e consequentemente será contabilizada como um pulso. Desde que exista uma tensão de alimentação do sensor superior a 4 V, a saídas do SS2 serão compatíveis com as entradas de SS3.

### B.3.6.3 Compatibilidade dimensional

Este tipo de compatibilidade pode ser assegurada com a utilização das normas e procedimentos técnicos na elaboração do desenho de fabricação.

Como material primário para a construção do corpo e base foi utilizado o poliacetal produzido pela DuPont. O carvão (grafite) foi utilizado na confecção dos mancais e a resina epóxi na confecção das engrenagens.

As dimensões e as tolerâncias foram tomadas tendo como referência valores similares aos do medidor Econovias. Estas dimensões estão especificadas nos desenhos no anexo II.

Os elementos abaixo foram fabricados para montagem de protótipo:

- Corpo do medidor em poliacetal usinado;
- Tampa de acrílico usinada;
- Engrenagens de resina epóxi moldadas;
- Mancal de Carvão(grafite) torneado.

### **B.3.7 Análise de estabilidade**

O funcionamento do protótipo pode ser afetado por alterações nas suas variáveis de entrada e pelas condições do meio ambiente. Evidentemente o sistema responder adequadamente a essas variações accidentais de modo a não comprometer o objetivo a que está associado.

Alguns aspectos são importantes à este medidor de vazão tais como a temperatura ambiente e do fluido, a alta pressão e vazão na entrada, a alimentação do sensor e principalmente a característica do fluxo pulsante.

O poliacetal garante boas propriedades até 80°C, o que está dentro da faixa de temperatura do sistema de alimentação de combustível dos veículos. Até mesmo uma dilatação dos componentes não será sentida mesmo porque as engrenagens e a câmara de medição são do mesmo material. Se a engrenagem dilatar, a câmara dilatará em proporções similares, não ocorrendo assim a interferência.

A alta pressão e alta vazão a montante, superiores àquelas a que o sistema foi projetado, podem vir a comprometer o sistema promovendo possíveis rompimentos de mangueiras e vedações. Para isso, é importante que o equipamento esteja sujeito à faixa de vazões a que foi dimensionado.

A perturbação mais perigosa é o fluxo pulsante, que dependendo da intensidade pode induzir um recuo ou retorno da engrenagem suficiente para que esta acione o sensor sem que mesmo tenha completado uma volta. Isto já foi descrito anteriormente.

Após algumas conversas com especialistas em motores de combustão descobriu-se que este fluxo pulsante não é acentuado nas linhas de admissão, e considerando-se a presença de 2 imãs diametralmente opostos na engrenagem, seria quase impossível uma contabilização errônea dos giros, uma vez que a engrenagem tem que retornar mais de 180° para que isso ocorra.

O sistema apresenta boa estabilidade baseado no fato de que a variação da saída mediante perturbação das entradas depende exclusivamente da eficiência da câmara de medição, que para vazões acima de 0,2 L/min apresenta alta eficiência.

No sistema elétrico do protótipo a variação da voltagem de alimentação do sensor pode vir a impedir a contagem do computador de bordo e até mesmo queimar o circuito. Para que isso seja evitado, qualquer oscilação na alimentação do sensor deve ficar entre 5 V e 12 V, o que permite que o sistema permaneça dentro da faixa de operação aceita pelo Blue Bird.

#### ***B.3.8 Otimização formal***

Através da análise mais aprofundada do medidor de vazão da Metroval, de observações de outros medidores de engrenagens ovais, e de testes com o sensor Hall decidiu-se alterar alguns parâmetros do projeto a fim de otimiza-lo e atingir o que se pretende: operação adequada e baixo custo.

### **1- Espigões instalados perpendicularmente ao eixo das engrenagens.**

Observando desenhos e figuras de medidores de engrenagens ovais de um fabricante alemão notou-se que estes apresentam entradas laterais, ou seja, o fluxo entra perpendicularmente aos eixos das engrenagens incidindo diretamente sobre elas. Desta forma, o fluido não apresenta dois desvios de 90° na sua direção, como acontece no medidor da Metroval, e consequentemente suas perdas de cargas singulares são menores.

### **2- Utilização de um sensor Hall e um único imã.**

Considerando-se o sistema de contagem do número de rotações da engrenagem, procurou-se uma solução mais econômica e mais confiável. Em termos de custo de sensor, o Hall apresenta enorme superioridade, com um preço da ordem de R\$3,00 , enquanto o Namur gira em torno de R\$100,00.

A visão inicial previu a utilização de dois imãs diametralmente opostos e um sensor Hall conforme explicado anteriormente. Alguns testes em laboratório indicaram a presença de histerese neste sensor, ou seja, após o imã passar sobre o sensor, este fornece 12 V à sua saída até que o imã se distancie cerca de 30°. A partir deste ponto a tensão caí a 0 V. Se o imã voltar a partir deste mesmo ponto ele só atingirá 12 V novamente se recuar mais de 15°. Este efeito de histerese permite o recuo da engrenagem dentro de uma margem de segurança sem que esta acione o sensor novamente.

Assim decidiu-se utilizar um único imã, confiando-se na segurança promovida pela histerese descrita acima.

#### ***B.3.9 Dimensionamento***

Possuindo o mesmo princípio de funcionamento que o medidor Econovias da Metroval, o protótipo foi projetado a partir da análise deste produto.

Como ponto de partida estabeleceu-se que a entrada do escoamento seria perpendicular ao eixo de rotação das engrenagens, portanto foi adotada a

forma da câmara em H, a fim de prover o espaço para encaixe do espião de entrada e de saída do escoamento do medidor.

Esta idéia evoluiu a partir de configurações adotadas pela empresa alemã Bopp & Reuther, fabricante de medidores de vazão, onde foram encontradas no seu site na Internet (<http://www.burhm.de/english/ovrz13.htm>).

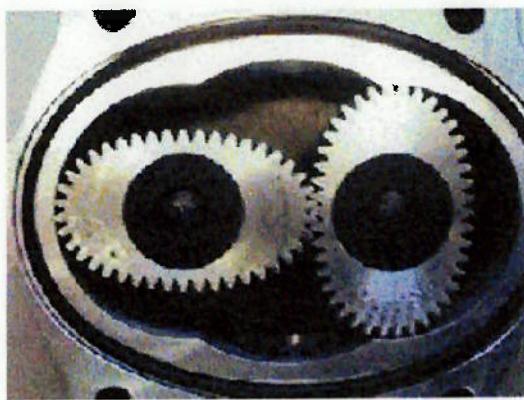


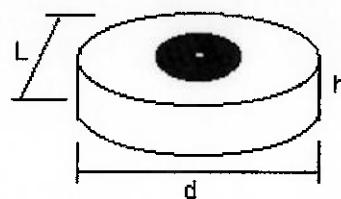
Figura B15 - Medidor da Bopp & Reuther.

Na etapa de concepção do projeto, o ponto crítico encontrado foi o da fabricação das engrenagens.

As engrenagens eram os únicos elementos que definiriam as dimensões dos demais componentes do medidor, principalmente da câmara, pois sua montagem exigia uma certa tolerância dimensional (cerca de dois centésimos de milímetros).

#### B.3.9.1 Definição das medidas e adaptações para o desenho de fabricação

Antes de se definir o projeto foram fabricadas engrenagens de resina que tiveram suas dimensões medidas para que se pudesse conceber os desenhos de fabricação da câmara e das tampas.



**Figura B16 - Layout da engrenagem com as medidas principais.**

**Tabela B2 - dimensões dos pares de engrenagem**

engrenagem	d1* [mm]	d2 [mm]	h1* [mm]	h2 [mm]	L1* [mm]	L2 [mm]
1º par de engrenagens	24,193	24,121	7,195	7,197	14,113	13,973
	24,193	24,166	7,218	7,196	14,125	13,974
	24,194	24,144	7,190	7,200	14,123	13,982
2º par de engrenagens	24,236	24,210	7,200	7,214	13,820	13,890
	24,257	24,220	7,203	7,210	13,830	13,880
	24,268	24,212	7,200	7,204	13,815	13,870
	d [mm]	h [mm]	L [mm]			
Engrenagem de METAL (original)	24,417	17,089	14,119			
	24,420	17,069	14,137			
	24,415	17,120	14,123			
Engrenagem de METAL (bordas lixadas)	24,474	17,101	14,146			
	24,304	17,119	14,130			
	24,304	17,116	14,134			

Com as engrenagens já fabricadas foi possível analisar o ajuste que estas teriam na câmara e adotar um par que pudesse ter um bom desempenho no funcionamento do medidor.

Após tomadas as decisões sobre a geometria para o medidor de vazão, foram adotadas as dimensões a serem utilizadas na câmara. Os desenhos de fabricação e de conjunto foram feitos em AutoCAD R14 e estão no anexo II deste trabalho.

### ***B.3.10 Seleção de materiais***

Neste item realizou-se o estudo do tipo de material a ser usado na fabricação do protótipo.

#### **B.3.10.1 Nylon 66**

A princípio pensou-se em adotar o Nylon 66 (Technyl) para todo o conjunto (câmara e engrenagens). Mas devido à dificuldade encontrada na fabricação das engrenagens, foi decidido fabricar a câmara com o Nylon e as engrenagens com um resina de moldagem.

O Nylon 66 é um plástico duro e translúcido que, mediante resfriamento lento apresenta elevada cristalinidade, servindo para a produção de engrenagens, mancais e peças obtidas por injeção. Apresenta elevada temperatura de amolecimento, boa resistência ao impacto e alta resistência à abrasão e à ação de óleos e hidrocarbonetos, porém são amolecidos por álcoois e glicóis.

As características principais do material são:

- grau de cristalinidade: alto;
- temperatura de transição vítreia: 50 °C;
- ponto de fusão: 264 °C;
- taxa de absorção de umidade: 1,3%;
- elongamento: 15-60%;
- resistência à tração: 7600 psi;
- resistência à flexão: 5800 psi;
- resistência ao impacto: 2,1 (lbf/in<sup>2</sup>);
- resistência UV: Boa;
- dureza: R 100.

Segundo fontes de pesquisa consultadas, foram obtidas informações de que este material não era o apropriado para se usar em instrumentos que

necessitassem precisão na usinagem e utilização em ambiente úmido, pois absorve água variando assim as suas dimensões.

### B.3.10.2 Poliacetal

A natureza previsível das propriedades do poliacetal (Polioximetileno) e a boa resistência aos solventes fazem deste plástico o candidato ideal para substituir materiais como metais, madeira, cerâmica e outros polímeros.

Apresentam boa resistência química à hidrocarbonetos comuns, aldeídos e álcoois, boa resistência à fadiga, boa lubricidade de superfície e um baixo coeficiente de fricção contra metais, cerâmica, outros plásticos, e entre eles próprios.

O poliacetal é fácil de processar e trabalhar pois assume bem o contorno da superfície do molde e permite alto lustro e pigmentação em qualquer cor opaca. A especificação geral do poliacetal para moldagem e extrusão é a ASTM D 4181. Uma especificação internacional já foi emitida pela Organização Internacional de Padrões.

Abaixo seguem as características do material:

- grau de cristalinidade: alto;
- ponto de fusão: 365°C;
- taxa de absorção de água: 0,14%;
- elongamento: 20-40%;
- resistência à tração: 15954 psi;
- resistência ao impacto: 45,0 ( $\text{lbf/in}^2$ );
- resistência à raios UV: Boa;
- dureza: R 120.

### B.3.10.3 Acrílico

Para acompanhar o desempenho do medidor durante os testes, a tampa da câmara do medidor foi construída excepcionalmente de acrílico, fugindo da

proposta do poliacetal. Portanto, os comentários e detalhes à respeito deste material não são importantes.

### ***B.3.11 Processo de fabricação***

#### ***B.3.11.1 Imã***

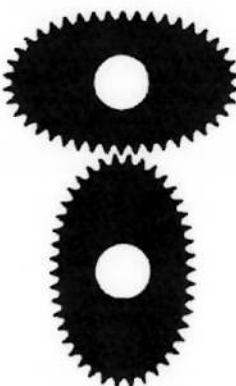
O imã da engrenagem foi obtido em uma empresa especializada. Primeiramente adquiriu-se imãs de ferrite (R\$0,80), que na etapa de testes apresentaram um campo magnético muito fraco e que não era percebido pelo sensor magnético.

Posteriormente foi adquirido da mesma empresa, um imã especial de terras raras com um custo maior (R\$4,00) mas com um forte campo magnético para fácil percepção por parte do sensor.

Os imãs adquiridos são cilíndricos, com 4 mm de diâmetro e 4 mm de altura.

#### ***B.3.11.2 Fabricação das engrenagens***

Aqui encontrou-se um grande obstáculo na confecção destes elementos, onde foram visitadas diversas ferramentarias e pessoas especializadas no ramo que observaram uma dificuldade em se usinar as engrenagens, devido ao fato de serem ovais e seus dentes convergirem para três centros diferentes, ou seja, não tinham um módulo único.



**Figura B17 - Perfil das engrenagens.**

Uma das soluções encontradas foi através do processo de eletroerosão a fio que possibilitaria a confecção de um molde para a fabricação das engrenagens por injeção, mas este processo de fabricação do molde era financeiramente inviável (em torno de R\$4000,00).

Outra solução seria a utilização de uma máquina fresadora CNC de 5 eixos para a fabricação da própria engrenagem, mas o custo da utilização desta máquina também é alto.

Por este motivos foi adotada a idéia mais econômica e artesanal de se fabricar esta engrenagem. A solução consistiu em se fazer um molde usando a engrenagem de alumínio disponível e depois modelar a engrenagem com resina epóxi. Este foi o principal motivo que levou ao abandono da idéia de se fabricar as engrenagens com o mesmo material da câmara, que seria o poliacetal.

#### B.3.11.3 Fabricação do molde

Foi montada uma pequena fôrma com uma base de acrílico e corpo cilíndrico (tubo de PVC). Nesta base foi feito um furo onde se apoiava um eixo centralizado com a bucha e a engrenagem de alumínio cedida pela Metroval. Centralizava-se a engrenagem besuntada de vaselina líquida e despejava-se a borracha líquida para fazer o molde (95% borracha líquida + 5% catalisador). Para a borracha secar levava-se cerca de 2:30h.

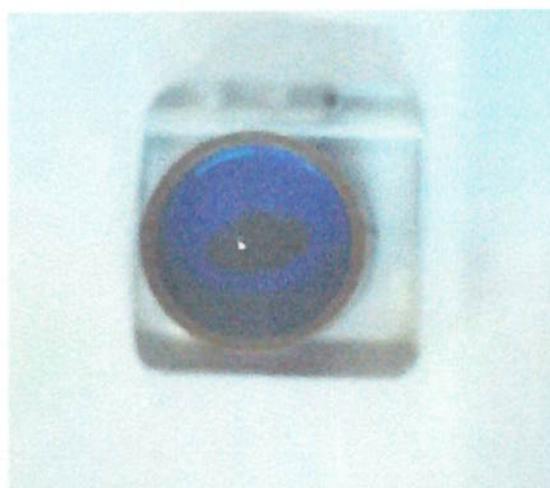


Figura B18 - Foto do molde de borracha.

Após a retirada da engrenagem de alumínio do molde, inseriu-se somente o eixo com a bucha no furo da base de acrílico.

A engrenagem foi feita usando-se uma resina epóxi (87% de resina e 11% de catalisador) que foi despejada no contra-molde. A resina levava mais de 12 horas para total secagem. Após isto, a engrenagem era retirada do contra-molde, serrada ao meio (para obter o par girante), faceada no torno e lixada a fim de se atingir as dimensões adequadas.

Em seguida furou-se uma das engrenagens para a inserção do imã.

#### B.3.11.4 Fabricação dos eixos de centralização

Os eixos das engrenagens foram feitos de aço inox, para evitar a corrosão no contato com o fluido combustível.

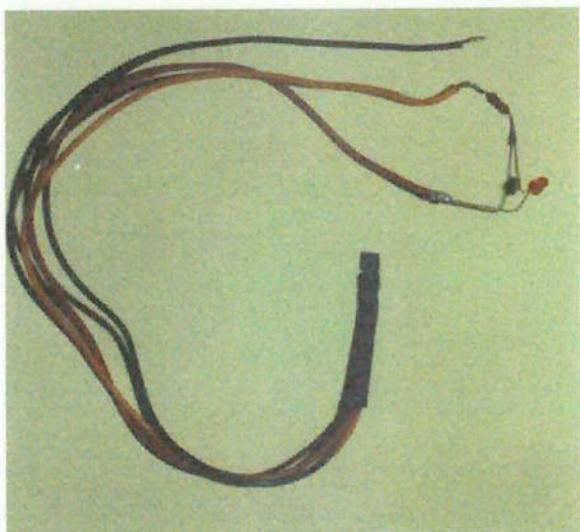
A fabricação deste componente foi relativamente simples, visto que foram feitas apenas etapas de corte do material no comprimento desejado e usinagem do mesmo até o diâmetro pretendido.

#### B.3.11.5 Fabricação câmara

Devido a falta de recurso e pessoal especializado para a fabricação do corpo e da tampa na Escola Politécnica, foi contratado (por R\$100,00) o serviço de uma indústria que trabalha no ramo de usinagem. Estes componentes foram construídos mediante os desenhos de fabricação do anexo II.

#### B.3.11.6 Sensor Hall

O sensor Hall foi montado conforme o esquema da figura B8. Optou-se por apenas um único sensor devido ao efeito da histerese explicado no item Otimização Formal.



**Figura B19 - Foto do sensor Hall.**

### **B.3.12 Montagem**

Na montagem do protótipo foram utilizados os seguintes elementos :

- 2 espiões de rosca 1/8 pol. NPT e furo interno 5/32 pol. ;
- 2 eixos de aço rápido;
- 2 pinos guia de aço rápido;
- 4 parafusos M5 x 35 de cabeça chata de fenda;
- 2 anéis de vedação de 1,8 mm de espessura e 50 mm de diâmetro;
- 1 sensor magnético Hall (AUGS 3132 718);
- 1 resistor 2,2 k $\Omega$  ;
- 1 led;
- 1 imã de Terras Raras.

## B.4. CUSTOS DO PROTÓTIPO

Abaixo segue uma planilha dos custos aproximados dos elementos do protótipo levantados nos meses de fevereiro a junho/99:

**Tabela B3 – Planilha de custos.**

Elemento	Quantidade	Custo por unidade (R\$)	Total (R\$)
Espigões	2	3,00	6,00
Parafusos M5 x 35	4	0,10	0,40
Anéis de vedação	2	0,70	1,40
Sensor Hall	1	3,00	3,00
Resistor	1	0,10	0,10
Led	1	0,05	0,05
Pinos guia	2	0,10	0,20
Eixos	2	0,10	0,20
Imã	1	4,00	4,00
Engrenagens	2	10,00	20,00
Buchas de grafite	2	0,10	0,20
Usinagem	1	100,00	100,00
<b>Total</b>			<b>135,55</b>

Na planilha incluiu-se valores da usinagem do protótipo, porém, a intenção do presente trabalho é a injeção plástica dos elementos por poliacetal.

Uma estimativa do custo deste material granulado é R\$19,00/kilo, ou seja, considerando-se que o peso das peças em poliacetal do protótipo somem 300 g, o custo material (poliacetal) para se montar o medidor foi de R\$ 5,70 .

O custo do processo de injeção não foi calculado, mas estima-se que seja muito baixo (< R\$3,00 por peça injetada).

## B.5. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Para se avaliar um medidor de vazão volumétrica deve-se primeiramente estudar a sua repetitividade, ou seja, o grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de sua constante ( $K$ ) obtidos com o mesmo método e sob as mesmas condições.

Esta constante  $K$ , que neste trabalho denomina-se constante de vazão, indica o volume de líquido deslocado pelo medidor em uma volta ou pulso deste, sendo representada pela razão entre o volume e os pulsos ( $L/pulso$ ).

A fim de se calcular essa constante utilizou-se o seguinte método:

- Fixa-se um valor para a vazão;
- Mede-se a massa de fluido que passa por um medidor em um intervalo de tempo  $T$ ;
- Determina-se o valor da massa específica para o líquido;
- Totaliza-se a quantidade de pulsos (voltas na engrenagem de referência) no mesmo intervalo de tempo  $T$ ;
- Calcula-se o valor do volume total e do número de pulsos total permitindo encontrar  $K$  ( $L/pulso$ ).

Sujeitando o medidor a diferentes faixas de vazão, ensaiou-se vários pontos para cada uma delas, obtendo suas constantes  $K$ . Desta forma, pôde-se plotar os gráficos do medidor em função da vazão e da constante, o que permitiu uma análise da dispersão dos pontos e da curva de calibração do aparelho.

As faixas de vazão tomadas tiveram como referência uma tabela de estimativa de consumo de um caminhão submetido a diferentes cargas e velocidades.

**Tabela B4 - referência de consumo.**

<b>Consumo</b>	<b>Velocidade</b>	<b>Vazão</b>	<b>Vazão</b>
km/L	km/h	L/h	L/min
2	20	10,00	0,17
2	30	15,00	0,25
2	35	17,50	0,29
3	35	11,67	0,19
3	40	13,33	0,22
3	45	15,00	0,25
4	45	11,25	0,19
4	50	12,50	0,21
4	55	13,75	0,23
5	60	12,00	0,20
5	70	14,00	0,23
5	85	17,00	0,28
6	70	11,67	0,19
6	80	13,33	0,22
6	90	15,00	0,25
7	60	8,57	0,14
7	70	10,00	0,17
7	85	12,14	0,20
8	60	7,50	0,13
8	70	8,75	0,15
8	85	10,63	0,18

O medidor Econovias foi ensaiado exaustivamente com três tipos de fluidos. Primeiramente foi feito um teste com ar comprimido para verificar o desempenho das engrenagens girando em um ambiente seco e também verificar possíveis folgas nos dentes ou ajustes que permitiriam a passagem livre do ar sem que as engrenagens girassem.

A princípio, tinha-se o objetivo de se utilizar uma das bancadas do Laboratório de Mecânica dos Fluidos mas a vazão proporcionada pela bomba da bancada era extremamente alta havendo necessidade de uma redução da pressão e vazão através de uma válvula. Além disso, deparou-se com uma condição um pouco diferente daquela esperada em uma linha de alimentação de um motor diesel: o fluxo não era pulsante. Após um busca por alternativas, encontrou-se uma bomba dosadora Filsan (modelo D68 – 2 fases) que apresentava um comportamento semelhante, ou pelo menos mais próximo do

esperado em um veículo, uma vez que apresenta uma condição de fluxo pulsante gerada através de um diafragma movido por um came.

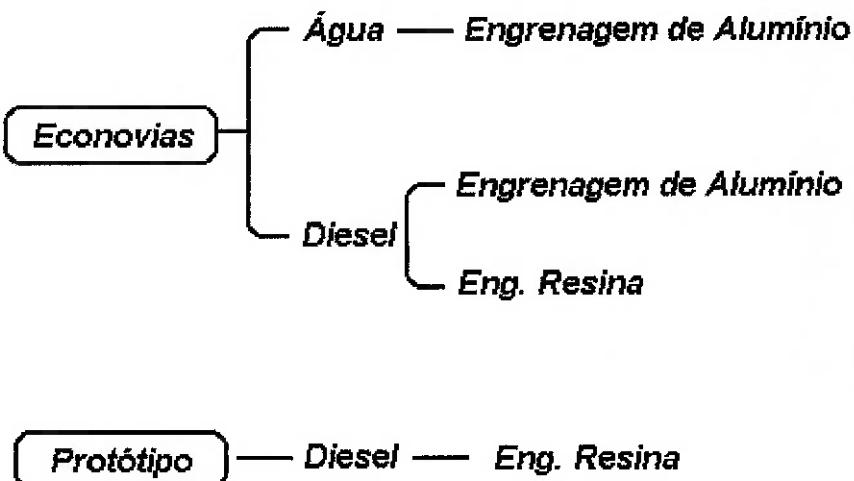
Desta forma montou-se a bancada de testes com a bomba dosadora e os ensaios foram realizados com água e com óleo diesel.

Antes do protótipo, submeteu-se o medidor Econovias a ensaios a fim de se obter sua constante e avaliar sua repetitividade sob os métodos e condições aqui empregados. Isso foi importante para tornar possível a comparação de desempenho entre o medidor do mercado e o protótipo.

Primeiramente utilizou-se água como líquido com o intuito de se buscar um melhor ajuste dos procedimentos de ensaio e observar o comportamento dos aparelhos. Algumas medições com água foram realizadas com o Econovias.

Já o protótipo foi ensaiado somente com diesel como fluido de medição.

Os ensaios foram feitos seguindo as etapas abaixo:



**Figura B20 - Divisão de Ensaios.**

A determinação da massa específica do óleo diesel utilizado foi feita com o uso de um picnômetro e de uma balança digital. O picnômetro possuí um volume determinado com água destilada de 101,6 mL. Foram feitas várias pesagens de amostras com volumes de diesel e montou-se a seguinte tabela:

**Tabela B5 - Massa específica do óleo diesel utilizado nos ensaios na EPUSP.**

óleo diesel			
Volume (mL)	Massa (g)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	
101,6	92	905,5118	
101,6	92,3	908,4646	
101,6	92,5	910,4331	
101,6	92,5	910,4331	média
	total	3634,843	908,7106

*Nota:* Os valores obtidos foram criticados posteriormente indicando haver indícios de presença de outros fluidos . Isto é, a amostra de diesel adotada apresentava massa específica superior àquelas normalmente encontradas no mercado.

O procedimento experimental dos ensaios realizados na EPUSP seguiram os seguintes passos:

- Com a vazão já selecionada, ligava-se a bomba com a válvula de três vias direcionada para o retorno;
- Zerava-se a balança com a massa do recipiente de captação e anotava-se o valor do contador (auxiliômetro) do Blue Bird;
- Direcionava-se a válvula para o Econovias e iniciava-se a contagem do tempo. Quando o fluido chegava ao limite do recipiente, desviava-se o escoamento para o retorno, parava-se a cronometragem e media-se a massa do recipiente.
- Após isto eram preenchidas as tabelas para análise dos dados que se encontram no anexo I.

## B.6. DESCRIÇÃO DA BANCADA DE ENSAIOS

Na montagem da bancada de ensaio, foram usados:

- Uma bomba dosadora Filsan – modelo D68 / 2 fases/ 110-220 V;
- Uma balança digital Micronal B6000 (6kg) – resolução: 0,1 g;
- Válvula de três vias;
- Reservatório de água (43 L);
- Reservatório de Diesel (20 L);
- Fonte Hewlett Packard - modelo E 3617A;
- Reservatório de captação (2 L e 5 L)
- Computador de Bordo BLUE BIRD - IBM;
- Computador portátil IBM – Thinkpad com software de interface com o Blue Bird;
- Filtro de água e óleo diesel (Fran);
- Mangueiras com  $\frac{1}{4}$  " de diâmetro;
- Conexões;
- Abraçadeiras.

O esquema de montagem dos equipamentos para o ensaio do Econovias e do protótipo está no anexo III. Uma foto da montagem segue abaixo:



**Figura B21 - Foto da instalação.**

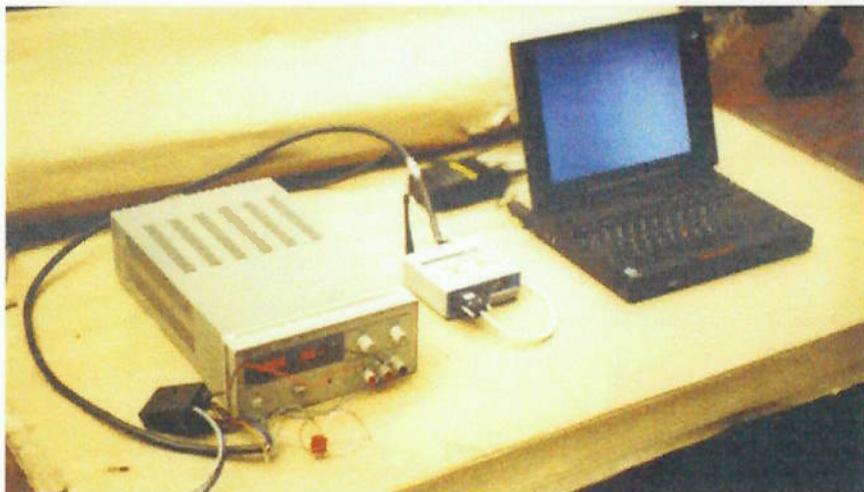
Descrição:

O líquido que passa pela bomba dosadora, proveniente do reservatório, atinge a válvula de três vias, de onde pode passar pelo filtro e medidor de vazão, e ser descarregado no recipiente de captação. Outro caminho que a válvula permite é o retorno ao reservatório.

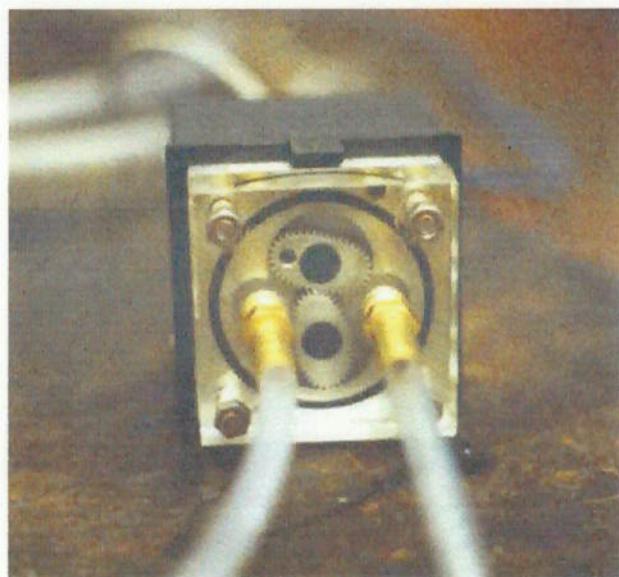
A fonte alimenta o computador de bordo e o sensor magnético. Este envia os sinais captados no medidor ao Blue Bird, que os totaliza e os fornece ao notebook.

## B.7. DADOS EXPERIMENTAIS

A tabela dos dados experimentais com suas respectivas incertezas para cada situação de ensaio está no anexo I.



**Figura B22 - Fonte, Blue Bird e computador.**



**Figura B23 - Econovias durante ensaio.**



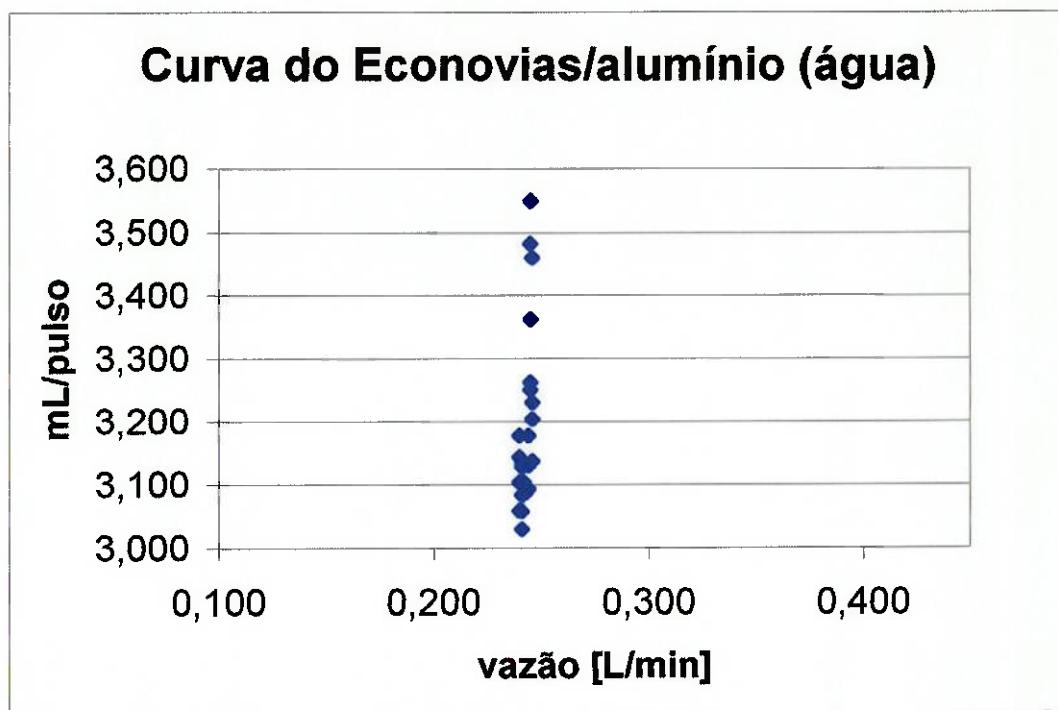
**Figura B24 - Protótipo durante o ensaio.**

## B.8. RESULTADOS

Os gráficos e cálculos do desempenho dos ensaios estão descritos para cada situação.

### ***B.8.1 Ensaios do Econovias com engrenagem de alumínio***

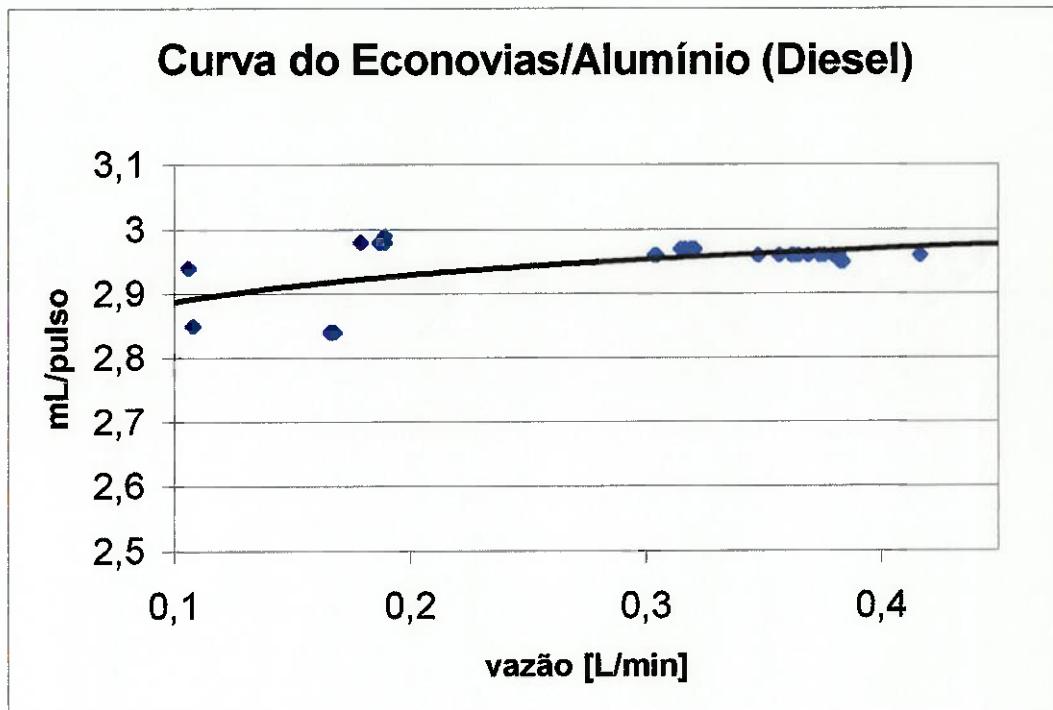
#### ***B.8.1.1 Ensaios com água***



**Figura B25 - Gráfico do ensaio do Econovias com água.**

Neste ensaio não realizou-se uma análise numérica, pois este serviu para os primeiros ajustes e configurações do sistema. Além disso, a tomada de dados não foi feita com condições fixas de ensaio.

### B.8.1.2 Ensaios com diesel



**Figura B26 - Gráfico do ensaio do Econovias com diesel.**

Aplicou-se uma análise estatística utilizando-se a variável t de Student para se encontrar a repetitividade das amostras com 95 % de confiabilidade.

Calculou-se também um erro dado pela variação percentual entre o maior e o menor valor da amostra para uma dada vazão.

A seguir apresenta-se a tabela com todos os cálculos:

**Tabela B6 - Resultados do ensaio do Econovias com engrenagem de alumínio (diesel).**

Faixa de vazão	Média	Desvio padrão	Intervalo de confiança	Repetitividade	Erro
L/min	mL/pulso		mL/pulso	%	%
0,17	2,92	0,076	2,84 - 2,99	2,4	5,1
0,31	2,97	0,005	2,96 - 2,97	0,14	0,33
0,35	2,96	0	2,96 - 2,96	0	0
0,37	2,96	0,005	2,95 - 2,96	0,15	0,34
Todas	2,95	0,043	2,93 - 2,97	0,54	5,1

### B.8.2 Ensaios no Econovias com engrenagem de resina

#### B.8.2.1 Ensaios com diesel

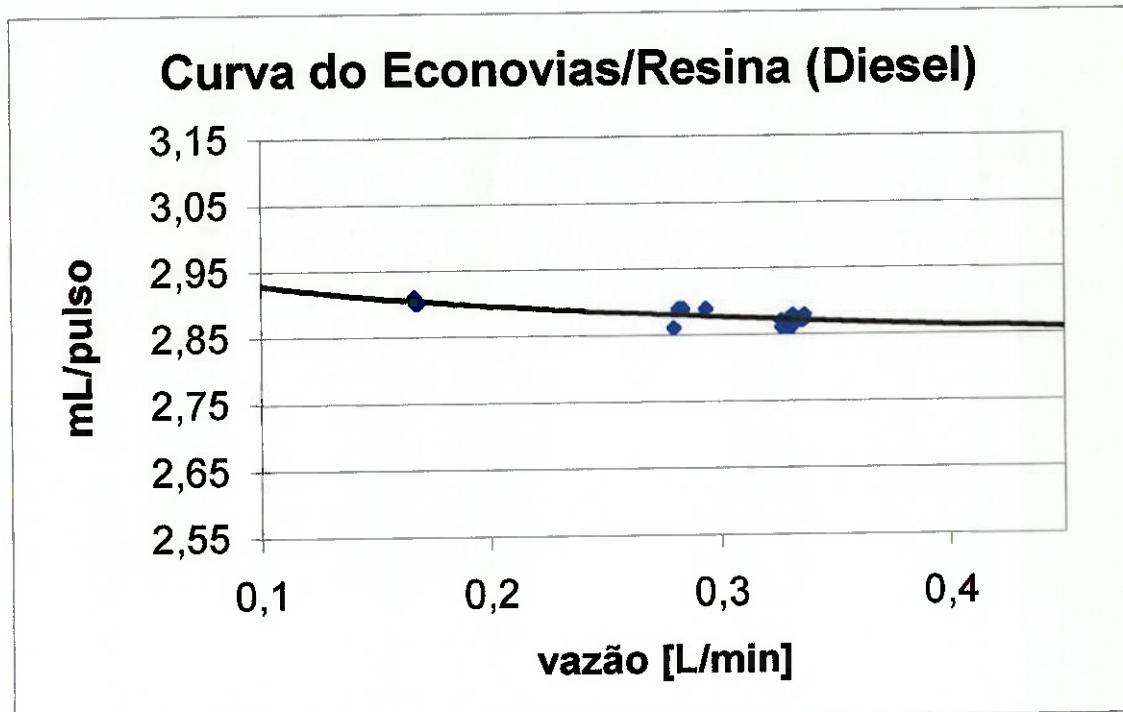


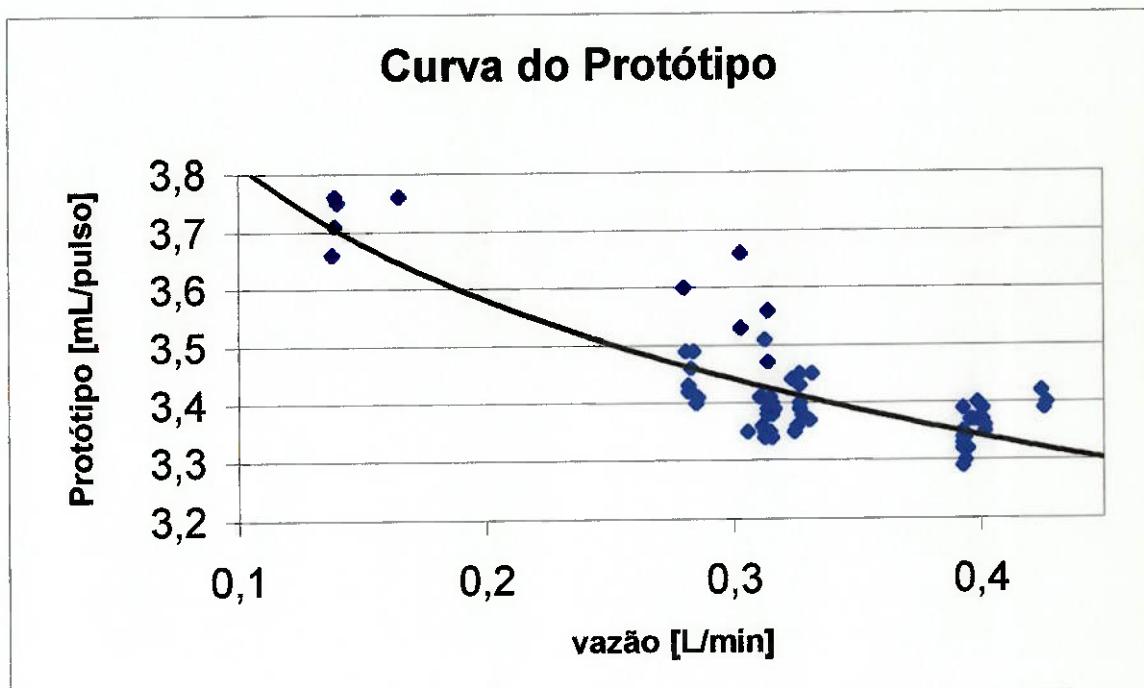
Figura B27 - Gráfico do ensaio do Econovias com diesel.

Tabela B7 - Resultados do ensaio do Econovias com engrenagem de resina (diesel).

Faixa de vazão L/min	Média mL/pulso	Desvio padrão 0,005	Intervalo de confiança 2,89 - 2,91	Repetitividade %	Erro %
0,16	2,9	0,005	2,89 - 2,91	0,27	0,34
0,27	2,89	0,011	2,88 - 2,90	0,35	0,1
0,32	2,87	0,009	2,82 - 2,84	0,19	0,7
Todas	2,88	0,015	2,87 - 2,89	0,22	1,7

### **B.8.3 Ensaios no Protótipo**

### B.8.3.1 Ensaios com diesel



**Figura B28 - Gráfico do ensaio do protótipo com diesel.**

**Tabela B8 - Resultados do ensaio do protótipo (diesel).**

Faixa de vazão	Média	Desvio padrão	Intervalo de confiança	Repetitividade	Erro
L/min	mL/pulso		mL/pulso	%	%
0,13	3,72	0,044	3,68 - 3,76	1	2,7
0,27	3,46	0,063	3,41 - 3,50	1,4	5,7
0,3	3,41	0,083	3,37 - 3,45	1	9,1
0,32	3,4	0,034	3,38 - 3,42	0,55	3
0,39	3,35	0,031	3,34 - 3,36	0,46	3
0,42	3,4	0,015	3,36 - 3,44	1	0,9
Todas	3,43	0,113	3,40 - 3,46	0,75	10,3

## B.9. ANÁLISE E COMENTÁRIOS DOS RESULTADOS

### ***B.9.1 Ensaios do Econovias com engrenagem de alumínio.***

#### **B.9.1.1 Ensaios com água**

Nos ensaios com água foram verificados os primeiros problemas com o Econovias operando.

Foi necessário fazer um filtro com tela metálica para reter as impurezas da água, mas mesmo assim alguns detritos atrapalhavam o movimento das engrenagens, que constantemente engripavam não contabilizando a vazão, tendo como resultado uma falta de repetitividade, com uma dispersão muito grande na coleta dos dados.

Para tentar amenizar isto, foi colocado na saída do Econovias uma pequena válvula que aumentou a pressão na câmara interna do medidor. Esta válvula simulava a contrapressão gerada nos bicos injetores. Isto contribuiu para um melhor desempenho na rotação das engrenagens, diminuindo em muito a pulsação do escoamento e melhorando a amostra dos dados, mas ainda não satisfatoriamente.

O valor de vazão nestes ensaios esteve entre 0,240 L/min e 0,246 L/min, sendo que a constante K atingiu um valor médio de 3,22 mL/pulso e sua amplitude de variação foi de 3,03 mL/pulso a 3,55 mL/pulso.

A câmara foi aberta para uma limpeza geral, principalmente nos dentes das engrenagens. Foi imposto um maior aperto na tampa de acrílico no medidor a fim de se diminuir os vazamentos. O resultado foi interessante, mas os ensaios nessa configuração não se prolongaram pois o mais importante eram os ensaios com diesel.

#### **B.9.1.2 Ensaios com diesel**

Estes ensaios com diesel foram excepcionais. Não houve travamentos das engrenagens e a repetitividade das medições foram ótimas, conforme pôde-se verificar nos gráficos. Estas atingiram valores da ordem de 0,15% para

vazões acima de 0,3 L/min. A repetitividade global para todas as vazões foi de + ou - 0,54%.

### ***B.9.2 Ensaios no Econovias com engrenagem de resina***

#### ***B.9.2.1 Ensaios com diesel***

O par de engrenagens de resina teve um bom desempenho na câmara metálica, uma vez que estava bem ajustado.

Este ajuste foi obtido após se observar que nos primeiros ensaios as engrenagens raspavam na câmara. Como não se podia alargar a câmara, foi necessário uma pequena redução nas extremidades da engrenagem. O material a ser removido era muito pequeno portanto utilizou-se uma lixa de granulação 400.

Com as engrenagens apresentando um bom ajuste na câmara, outro problema passou a existir : o engripamento.

O processo de fabricação destas não apresentou boa precisão visto que o processo de secagem da resina não era uniforme, o que abria a possibilidade da engrenagem se apresentar de forma ligeiramente cônica.

As correções das imperfeições e dos contatos entre os dentes foram realizados com lixas (granulação 400) e pequenas "limas" odontológicas. Assim o medidor passou a apresentar um bom rendimento nas revoluções de tal maneira que a repetitividade da constante K para toda a faixa de vazão atingiu um valor da ordem de 0,22 %. Valor excelente se comparado aos ensaios com as engrenagens de alumínio. Este valor camufla um pouco o desempenho geral pois o número de pontos tomados para vazões abaixo de 0,3 L/min foi muito pequeno. Assim, essa repetitividade reflete a resposta do medidor a vazões acima de 0,3 L/min.

Pelo gráfico observou-se que para vazões abaixo de 0,2 L/min a constante do medidor aumentava, ao contrário do que se verificou no gráfico do Econovias com engrenagens de alumínio, onde a constante diminuía. Isso pode ser explicado por dois fatores:

- Atrito da engrenagem de resina com a base de aço inox , o que diminui consideravelmente a rotação à baixa vazão.
- Maior folga entre a engrenagem e a parede da câmara, o que permite um vazamento mais sensível à baixa vazão.

### ***B.9.3 Ensaios no Protótipo***

#### **B.9.3.1 Ensaios com diesel**

O protótipo foi testado com água onde enfrentou-se também o problema de vazamento que a princípio parecia ser devido à falta de vedação do anel de borracha. Os anéis foram substituídos por outros mais largos dando-se um maior aperto na tampa, mas foi visto que o problema foi na usinagem da peça, que deixou um pequeno orifício no canal de entrada do medidor. Isso permitia o vazamento do fluido antes mesmo que este chegassem à câmara de medição.

Verificou-se que as engrenagens além de se movimentarem com dificuldade, devido ao atrito, atingiam uma situação de instabilidade.

O fluxo incidente atingia diretamente uma das engrenagens de forma que transmitia uma quantidade de movimento e consequentemente um torque, que se opunha às forças resultantes da distribuição de pressão estática nas engrenagens. Assim, a distribuição de pressão do líquido nesta configuração do protótipo impôs uma condição de distribuição de forças que impossibilitava as engrenagens de girarem.

Em vista disso foi decidido voltar à idéia inicial que era posicionar os espigões (entrada e saída) na parte de cima da tampa de acrílico. Voltou-se assim à primeira câmara confeccionada que fora retrabalhada a fim de aceitar as primeiras engrenagens.

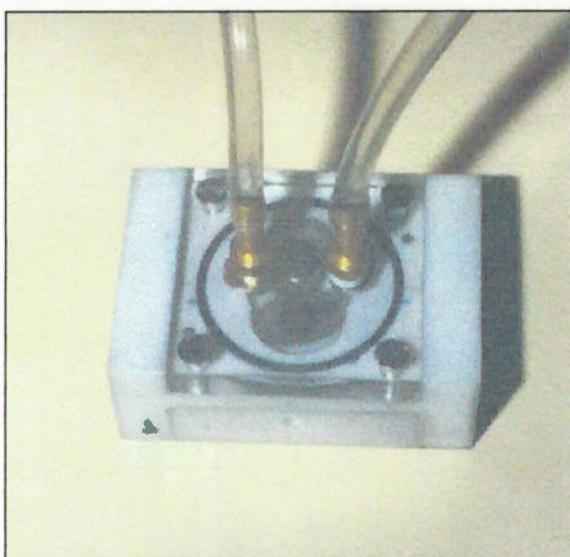


Figura B29 - Protótipo montado.

Ainda assim, corrigidos estes problemas, percebeu-se que havia um forte atrito entre a bucha e a engrenagem contra base da câmara, devido ao pequeno “esfarelamento” do grafite, aliado às microsoldas formadas da combinação da resina da engrenagem e do poliacetal (superfícies levemente polidas). Isto resultava numa dificuldade de rotação das engrenagens.

Uma das idéias para se contornar este problema foi alterar o acabamento das superfícies de forma a reduzir o atrito. Como implicaria em alterações dimensionais na engrenagem, aumentando as folgas na câmara, esta hipótese foi descartada.

A solução adotada para contornar o problema foi utilizar uma “arruela” de papel alumínio com diâmetro externo igual ao da bucha de grafite. Esta arruela foi colocada entre a base e a engrenagem de modo a criar um espaçamento da espessura do papel alumínio (0,015 mm). Assim diminuiu-se o contato e o atrito da engrenagem com a base de poliacetal.

Mais um problema perturbou a rotação das engrenagens: o atrito entre seus dentes. Através de diversas combinações de todos os pares de engrenagem e de ajustes utilizando a “lima odontológica” conseguiu-se um ajuste satisfatório.

Após estas soluções, o equipamento foi remontado e ensaiado de modo definitivo. Com isso atingiu-se um desempenho satisfatório para o protótipo, com repetitividade da ordem de + ou - 1% para faixas de vazão acima de

0,3 L/min. A repetitividade da constante K atingiu valores de + ou - 0,75 %, considerando todos os ensaios, onde refletiu a resposta do medidor nos ensaios com vazões acima de 0,3 L/min visto que os pontos tomados para vazões abaixo de 0,3 L/min foram em menor número.

Para vazões abaixo de 0,2 L/min, a repetitividade piorava e constatou-se que as engrenagens engripavam com freqüência.

## B.10. ENSAIOS EM UM MOTOR DIESEL

Foi disponibilizado um motor Mercedes-Benz 6 cilindros no Laboratório de Motores do IPT para a realização de testes de repetibilidade do protótipo. Para tal, instalou-se o medidor em duas situações:

- Protótipo na linha de admissão do motor, entre o tanque e a bomba de combustível;
- Protótipo na linha de retorno.

Segue abaixo o esquema de ligação:

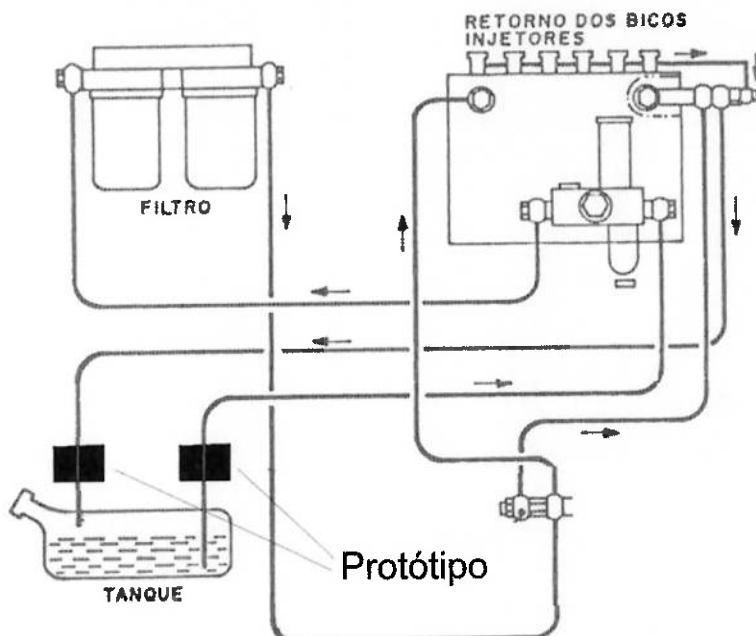


Figura B30 - Esquema da instalação do protótipo no IPT.



**Figura B31 - Protótipo no IPT.**

#### **B.10.1 Procedimento de ensaio**

O ensaio foi realizado configurando-se o motor para uma condição de carga e de rotação (no painel de instrumentos da bancada) a fim de atingir vazões de consumo na faixa de 0,15 a 0,50 L/min. Cada medição tinha duração de 100 segundos.

O padrão de referência para determinar a vazão (consumo) de combustível no ensaio realizado no motor diesel foi um sistema de medição de massa. Ele possuía um reservatório associado a uma célula de carga (balança), que media a massa que era efetivamente consumida durante um período de tempo pré-determinado. Para tanto o reservatório onde a variação de massa era medida recebia uma massa inicial, e no início da contagem do período de tempo ele cedia combustível para o motor e recebia o retorno deste.

A resolução do sistema de pesagem era de 0,1 g e a capacidade máxima do reservatório era aproximadamente 750 g. Os períodos de tempo eram avaliados por cronômetro interno ao sistema.

A idéia inicial consistia em ensaiar o protótipo para um mesmo intervalo de tempo, na linha de admissão e na linha de retorno, fixando-se uma condição de carga e rotação para o motor (condição de vazão de combustível).

Conhecendo-se a massa de diesel consumida proveniente do medidor mássico da bancada, a densidade e o número de pulsos da medição nas duas configurações, desejava-se estimar a relação L/pulso do medidor para aquela dada condição do motor (carga e rotação), fato que não acabou acontecendo.

Hipóteses para estimar a relação L/pulso:

- Intervalo de tempo de medição com o protótipo tanto na admissão quanto no retorno é o mesmo.
- A solicitação de carga no motor e o consumo para ambas as configurações são semelhantes.

$$L / \text{pulso} = \frac{m}{\rho \cdot (\text{pulsos\_admissão} - \text{pulsos\_retorno})}$$

#### **B.10.2 Dados experimentais**

Foram ensaiadas cinco condições de carga do motor ( 5 faixas de vazão) e tomadas duas medições para cada uma dessas faixas, conforme a tabela no anexo I.

#### **B.10.3 Análise e comentários dos resultados**

Nos ensaios realizados no IPT constatou-se qualitativamente que:

- Protótipo na admissão – presença significativa de bolhas de ar no retorno e baixa vazão de retorno.
- Protótipo no retorno – baixa presença de bolhas neste tubo e vazão de retorno maior.

Avaliando-se quantitativamente os resultados da tabela tem-se que, para uma mesma rotação na mesma aplicação de carga, o número de voltas

registrado com o protótipo instalado no retorno maior do que o do protótipo na admissão, considerando-se tempos iguais em ambas as situações.

Aparentemente era um resultado incoerente, indicando que havia vazão no retorno maior que na admissão. Pensou-se em falha no medidor, o que foi imediatamente descartado pois a confirmação visual desmentia isso.

Foram calculadas as vazões mássicas nas duas situações de instalação e constatou-se que a vazão mássica de retorno com o protótipo instalado nessa própria linha era maior do que na situação onde o medidor estava instalado na linha de admissão.

A justificativa pode ser dada pelo aumento de perda de carga imposta pelo medidor na linha de admissão. Supondo-se que o motor consome a mesma vazão em ambas as instalações do medidor, pode-se concluir que a perda de carga imposta pelo medidor na admissão faz com que a vazão nesta linha diminua e consequentemente o retorno também.

Quando o medidor está instalado no retorno ocorre que uma perda de carga é introduzida nesta linha. Verifica-se visualmente uma maior continuidade do fluxo pois não existe mais a perda de carga da primeira situação. Supondo-se que o motor está consumindo a mesma taxa de combustível, o retorno consequentemente será maior, diminuindo assim a quantidade de bolhas na linha de retorno.

Os valores encontrados indicaram que a faixa de vazão na admissão de um motor diesel com um medidor instalado é de aproximadamente 0,9 L/min.

Para o cálculo dessas vazões foi adotado um valor fixo da constante K L/pulso extraído da curva dos ensaios com diesel do protótipo na bomba FILSAN. Foi escolhido um valor médio ( $K = 0,335 \text{ L/pulso}$ ) da curva para uma faixa de vazão acima de 0,3 L/min, visto que o escoamento nas linhas de alimentação do motor indicavam valores iguais e superiores a este. É válido relembrar que a vazão máxima obtida com a bomba dosadora atingiu valores da ordem de 0,4 L/min.

$$m_{R1} = \rho \cdot K_m \cdot P_{A1} - m_{C1} \quad \text{--- IPT}$$

$$m_{R2} = \rho \cdot K_m \cdot P_{R2}$$

Onde:

$m_{R1}$  = Massa de retorno com protótipo na linha de admissão.

$m_{R2}$  = Massa de retorno com protótipo na linha de retorno.

$K_m$  = 0,335 litros/pulso.

$m_{c1}$  = Massa consumida pelo motor.

$\rho$  = densidade.

$P_{A1}$  = Número de pulsos com protótipo na linha de admissão.

Situação1 - Perda de carga grande na linha de admissão → retorno baixo

Situação2 - Perda de carga na linha de retorno ( $m_A$  aumenta) → retorno aumenta em relação a situação 1

Hipótese:  $\dot{m}_c \equiv cte$

Os valores das vazões mássicas e volumétricas para o retorno e a admissão nas duas situações de instalação do protótipo estão apresentados em tabelas no anexo I.

#### B.10.4 Conclusões

Infelizmente o objetivo principal deste ensaio na bancada de motores do IPT não pôde ser avaliado. A mudança de comportamento do sistema imposta pelo protótipo impossibilitou o estudo da repetibilidade deste, uma vez que passaram a existir duas situações distintas (medidor na admissão e medidor no retorno) que não puderam ser utilizadas conjuntamente em uma única análise. Além disso quando o protótipo esteve instalado no retorno, a presença constante de bolhas nesta linha impossibilitou qualquer tipo de análise do medidor volumétrico dedicado a líquidos. Portanto, a idéia de construção de um protótipo com duas câmaras fica adiada, valendo-se então a proposta de instalação da Metroval.

É difícil de se afirmar, mas se houvesse a possibilidade de se instalar dois protótipos ao mesmo tempo, um na linha de admissão e outro na linha de retorno, talvez seria possível avaliar a repetibilidade do aparato, pois um

compensaria a interferência do outro. Esta é uma discussão que não pode ser estendida no momento já que não existem ferramentas experimentais para uma avaliação mais profunda.

Fazendo-se uma análise mais abrangente, o ensaio acabou sendo muito proveitoso e esclarecedor quanto aos aspectos de instalação na linha do motor e quanto ao comportamento dessa linha com a presença do protótipo.

Os esquemas de montagem do Econovias em diversos motores à diesel (anexo III) revelam que não existem medidores na linha de retorno do combustível, somente na admissão. Verifica-se também pela figura do esquema de instalação do veículo Mercedes 1929 - 1933 do anexo III que o excesso da vazão é separada em direção ao tanque através de uma válvula de desvio na entrada do Econovias. Uma pequena parcela pós bomba injetora retorna ao tanque também, mas deve ser considerada para efeitos de medição de consumo.

A única localização disponível para inserir o protótipo na linha de alimentação na bancada do motor foi entre o tanque e a bomba de combustível. Se fosse possível instalá-lo entre o filtro e a bomba injetora simular-se-ia as condições conforme o Econovias é empregado normalmente.

## B.11. CONCLUSÃO FINAL E COMENTÁRIOS.

Grande parte do desenvolvimento do projeto foi concluído satisfatoriamente onde pôde-se atingir resultados que justificaram todo o investimento técnico realizado.

Uma vez em contato com um medidor existente no mercado, deparou-se com vários aspectos de funcionalidade, onde, através da observação crítica e dos ensaios preliminares, pôde-se atuar de forma decisiva na fabricação do protótipo.

Pelos dados experimentais concluiu-se que o desempenho do projeto esteve dentro do esperado, uma vez que alguns de seus elementos constituintes foram produzido de uma forma artesanal e outros, mesmo através de processos de usinagem, não puderam seguir um padrão rígido de determinação dimensional.

Isto pode indicar o motivo de um menor desempenho do protótipo em relação ao Econovias, especialmente para baixas vazões.

Para se fazer uma comparação adequada foi necessário descartar os dados do fabricante e submeter ambos os aparelhos às mesmas condições de ensaio.

A repetitividade do K de ambos foi muito próxima ( $< 1\%$ ) para vazões acima de 0,3 L/min, mas quando se observou a variação percentual de K nos pontos extremos dos gráficos apresentados, o desempenho do protótipo situou-se abaixo do Econovias.

O protótipo apresentou uma variação muito grande na sua constante ao longo das faixas de vazões, notando-se um aumento acentuado da curva quando se reduzia a vazão abaixo de 0,3 L/min. Para que os resultados do protótipo fossem totalmente satisfatórios, a diferença percentual da constante em vazões baixas para a constante em vazões altas não poderia ser superior a 2% (valor do medidor Metroval). Infelizmente esse valor atingiu os 9%, o que pode diminuir a confiabilidade no projeto.

Obviamente este valor pode ser reduzido sensivelmente se levar-se em conta todos os problemas enfrentados no desenvolvimento do trabalho.

Três fatores foram primordiais no desempenho do medidor:

1. Atrito entre as engrenagens e a base.
2. Engripamento entre as engrenagens.
3. Folgas entre as engrenagens e a câmara.

Como os métodos aplicados na fabricação das engrenagens foram totalmente artesanais, não se obteve a precisão esperada na sua forma. Além disso, a secagem não se deu de uma forma uniforme, o que abriu margens à imperfeições no contorno da engrenagem. Assim, à baixas vazões, as forças exercidas não eram suficientes para evitar o engripamento.

As folgas na câmara resultaram de uma usinagem que não seguiu de forma correta as especificações do desenho. Tentou-se contornar o problema com um par de engrenagens ligeiramente maior, de modo que o ajuste fora realizado manualmente, lixando-se as bordas da parede da câmara. Mesmo assim, pequenas folgas existiram.

O atrito entre a engrenagem e a câmara foi o fator determinante no desempenho do protótipo, pois interferia em muito no funcionamento do medidor, especialmente para vazões baixas. O uso da "arruela" de papel alumínio foi uma solução paliativa que surtiu bons resultados.

No desenvolvimento do presente trabalho existem ainda etapas a serem cumpridas. Atingiu-se uma fase onde muitos caminhos foram abertos e esclarecidos. Obviamente não se chegou ainda à um resultado definitivo. As possibilidades de sucesso são grandes, uma vez que o protótipo demonstrou muitos aspectos positivos, como:

- Resultados satisfatórios para medições com vazão acima de 0,3 L/min;
- Excelente comportamento do sistema eletrônico;
- Perfeita integração com o sistema de aquisição de sinal;
- Baixo custo do protótipo( < R\$ 150 );

Para uma futura complementação do projeto faz-se necessário a construção de engrenagens de poliacetal e de um novo corpo do medidor,

construídos preferencialmente por injeção plástica. Satisfeitas as condições de tolerância, partir-se-ia à todos os ensaios experimentais novamente, e, dependendo-se dos resultados, uma resposta conclusiva quanto a viabilidade do projeto poderia ser dada.

## B.12. ANEXO I

### Tabelas dos dados dos ensaios

**Tabela B9 - Ensaios do Econovias em água com engrenagem de alumínio**

Ensaios	Massa (g)	Q (L/min)	$\delta Q$ (L/min)	K (mL/pulso)	$\delta K$ (mL/pulso)
1	621,4	0,248	0,002	1,79	0,01
2	879,8	0,243	0,001	2,52	0,01
3	894,8	0,293	0,002	2,83	0,01
4	2043,0	0,246	0,001	2,63	0,01
5	2017,2	0,247	0,001	2,69	0,01
6	2083,9	0,249	0,001	2,78	0,01
7	2082,1	0,248	0,001	2,70	0,01
8	18000,0	0,248	0,000	2,46	0,01
9	74500,0	0,239	0,000	2,48	0,01
10	2092,0	0,245	0,001	2,82	0,01
11	2036,4	0,126	0,000	3,32	0,01
12	2038,1	0,126	0,000	2,05	0,01
13	2581,5	0,244	0,001	3,22	0,01
14	2044,2	0,243	0,001	3,14	0,01
15	1980,7	0,243	0,001	2,38	0,01
16	2020,9	0,243	0,001	2,93	0,01
17	2016,2	0,241	0,001	2,78	0,01
18	2055,9	0,245	0,001	3,36	0,01
19	2054,1	0,246	0,001	3,46	0,01
20	2049,5	0,245	0,001	3,48	0,01
21	2050,1	0,245	0,001	3,55	0,01
22	2041,2	0,243	0,001	4,33	0,01
23	2045,6	0,244	0,001	4,57	0,01
242	2031,9	0,242	0,001	4,75	0,01
52	2048,5	0,245	0,001	4,61	0,01
6	2042,0	0,246	0,001	3,20	0,01
27	2046,0	0,246	0,001	3,14	0,01
28	2045,5	0,246	0,001	3,23	0,01
29	2044,0	0,245	0,001	3,26	0,01
30	2043,0	0,245	0,001	3,25	0,01
31	2000,0	0,240	0,001	3,18	0,01
32	2046,6	0,240	0,001	3,10	0,01
33	2017,6	0,240	0,001	3,06	0,01
34	2030,0	0,241	0,001	3,08	0,01

35	2056,3	0,241	0,001	3,06	0,01
36	2012,8	0,241	0,001	3,03	0,01
37	2012,3	0,240	0,001	3,14	0,01
38	2015,6	0,241	0,001	3,13	0,01
39	2022,4	0,241	0,001	3,13	0,01
40	2030,7	0,242	0,001	3,10	0,01
41	2035,6	0,242	0,001	3,09	0,01
42	2038,7	0,243	0,001	3,09	0,01
43	2042,7	0,244	0,001	3,09	0,01
44	2051,2	0,244	0,001	3,13	0,01
45	2044,8	0,244	0,001	3,18	0,01
46	4542,1	0,243	0,000	3,08	0,01
47	4751,9	0,243	0,000	3,20	0,01
48	4712,0	0,241	0,000	3,22	0,01
49	5030,2	0,249	0,000	3,33	0,01
50	5041,5	0,247	0,000	3,35	0,01
51	5001,5	0,246	0,000	3,28	0,01
52	5031,4	0,245	0,000	3,28	0,01
53	5076,7	0,252	0,000	3,38	0,01
54	5123,4	0,250	0,000	3,42	0,01
55	5037,9	0,248	0,000	3,43	0,01
56	5016,4	0,248	0,000	3,45	0,01
57	5263,2	0,247	0,000	3,43	0,01
58	5041,8	0,249	0,000	3,36	0,01
59	5105,8	0,251	0,000	3,40	0,01
60	4972,7	0,249	0,000	3,46	0,01

**Tabela B10- Ensaios do Econovias em diesel com engrenagem de alumínio.**

<b>Ensaio</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>Q (L/min)</b>	<b><math>\delta Q</math> (L/min)</b>	<b>K (mL/pulso)</b>	<b><math>\delta K</math> (mL/pulso)</b>
1	4150,0	0,105	0,000	2,94	0,01
2	4526,7	0,305	0,001	2,96	0,01
3	4307,4	0,304	0,001	2,96	0,01
4	4402,5	0,321	0,001	2,97	0,01
5	4352	0,321	0,001	2,97	0,01
6	4373,8	0,320	0,001	2,97	0,01
7	4347,2	0,319	0,001	2,97	0,01
8	4319,8	0,317	0,001	2,97	0,01
9	4285,0	0,315	0,001	2,97	0,01
10	4273,5	0,417	0,002	2,96	0,01
11	4224,0	0,384	0,002	2,95	0,01
12	4249,1	0,383	0,002	2,95	0,01
13	4317,0	0,382	0,002	2,96	0,01
14	4264,0	0,380	0,002	2,96	0,01
15	4241,8	0,369	0,002	2,96	0,01
16	4246,6	0,348	0,002	2,96	0,01
17	4161,8	0,374	0,002	2,96	0,01
18	4327,8	0,357	0,002	2,96	0,01
19	4353,7	0,363	0,002	2,96	0,01
20	4303,3	0,376	0,002	2,96	0,01
21	4292,6	0,189	0,001	2,99	0,01
22	4239,4	0,189	0,001	2,98	0,01
23	4283,5	0,187	0,001	2,98	0,01
24	4391,5	0,362	0,002	2,96	0,01
25	4287,7	0,365	0,002	2,96	0,01
26	4156,7	0,179	0,001	2,98	0,01

**Tabela B11 - Ensaios do Econovias em diesel com engrenagem de resina.**

<b>Ensaio</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>Q (mL/min)</b>	<b><math>\delta Q</math> (mL/min)</b>	<b>K (mL/pulso)</b>	<b><math>\delta K</math> (mL/pulso)</b>
1	4248,0	0,337	0,002	2,88	0,01
2	4247,8	0,336	0,002	2,87	0,01
3	4278,8	0,334	0,002	2,87	0,01
4	4207,5	0,332	0,002	2,88	0,01
5	4211,0	0,332	0,002	2,88	0,01
6	4229,2	0,332	0,002	2,88	0,01
7	4249,5	0,332	0,002	2,88	0,01
8	4160,8	0,329	0,002	2,86	0,01
9	3939,8	0,331	0,002	2,86	0,01
10	4281,8	0,327	0,001	2,86	0,01
11	4214,9	0,328	0,001	2,86	0,01
12	4270,3	0,327	0,001	2,87	0,01
13	4270,1	0,327	0,001	2,86	0,01
14	4216,7	0,280	0,001	2,86	0,01
15	4426,4	0,294	0,001	2,89	0,01
16	4209,5	0,282	0,001	2,89	0,01
17	4278,3	0,282	0,001	2,89	0,01
18	4195,2	0,282	0,001	2,89	0,01
19	4146,2	0,283	0,001	2,89	0,01
20	3612,2	0,284	0,001	2,89	0,01
21	3521,7	0,167	0,001	2,91	0,01
22	4090,6	0,168	0,001	2,90	0,01
23	4121,3	0,168	0,001	2,90	0,01
24	4119,4	0,168	0,001	2,90	0,01

**Tabela B12 - Ensaios do protótipo em diesel.**

<b>Ensaio</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>Q (mL/min)</b>	<b><math>\delta Q</math> (mL/min)</b>	<b>K (mL/pulso)</b>	<b><math>\delta K</math> (mL/pulso)</b>
1	4378,8	0,428	0,002	3,81	0,01
2	4306,1	0,429	0,002	3,83	0,01
3	4332,0	0,428	0,002	3,79	0,01
4	4389,5	0,429	0,002	3,85	0,01
5	4372,5	0,428	0,002	3,80	0,01
6	4413,6	0,428	0,002	3,83	0,01
7	4400,5	0,427	0,002	3,80	0,01
8	4413,7	0,425	0,002	3,42	0,02
9	4430,5	0,427	0,002	3,40	0,01
10	4412,0	0,426	0,002	3,39	0,01
11	4275,5	0,402	0,002	3,35	0,01
12	4293,8	0,402	0,002	3,36	0,01
13	4276,9	0,401	0,002	3,39	0,01
14	4369,3	0,401	0,002	3,37	0,01
15	4286,5	0,400	0,002	3,78	0,02
16	4266,8	0,399	0,002	3,40	0,01
17	4268,5	0,399	0,002	3,37	0,01
18	4270,5	0,397	0,002	3,37	0,01
19	4287,4	0,396	0,002	3,37	0,01
20	4235,9	0,396	0,002	3,37	0,01
21	4318,5	0,393	0,002	3,33	0,01
22	4279,4	0,393	0,002	3,29	0,01
23	4299,8	0,394	0,002	3,30	0,01
24	4283,0	0,394	0,002	3,32	0,01
25	4305,7	0,395	0,002	3,32	0,01
26	4310,0	0,394	0,002	3,34	0,01
27	4296,2	0,393	0,002	3,32	0,01
28	4308,0	0,393	0,002	3,35	0,01
29	4287,4	0,393	0,002	3,34	0,01
30	4269,7	0,393	0,002	3,39	0,01
31	4298,6	0,327	0,001	3,39	0,01
32	4270,0	0,327	0,001	3,40	0,01
33	4356,8	0,327	0,001	3,40	0,01
34	4363,1	0,327	0,001	3,40	0,01
35	4369,2	0,327	0,001	3,40	0,01
36	4396,2	0,328	0,001	3,38	0,01
37	4359,2	0,327	0,001	3,45	0,02
38	4281,5	0,327	0,001	3,43	0,02
39	4286,0	0,327	0,001	3,43	0,02
40	4405,5	0,331	0,002	3,37	0,01

41	4431,3	0,332	0,002	3,45	0,02
42	4298,4	0,317	0,001	3,39	0,01
43	4209,9	0,316	0,001	3,38	0,01
44	4264,2	0,315	0,001	3,38	0,01
45	4376,8	0,314	0,001	3,38	0,01
46	4223,1	0,314	0,001	3,35	0,01
47	4249,3	0,313	0,001	3,35	0,01
48	4317,1	0,326	0,001	3,36	0,01
49	4312,5	0,325	0,001	3,35	0,01
50	4333,1	0,325	0,001	3,35	0,01
52	4402,3	0,140	0,001	3,75	0,02
53	4389,2	0,139	0,001	3,71	0,02
54	4344,0	0,139	0,001	3,76	0,02
55	4239,2	0,139	0,001	3,71	0,02
56	4257,9	0,138	0,001	3,66	0,02
57	4127,5	0,138	0,001	3,66	0,02
58	4352,2	0,165	0,001	3,76	0,02
59	4245,7	0,286	0,001	3,41	0,01
60	4223,8	0,285	0,001	3,40	0,01
61	4247,0	0,284	0,001	3,49	0,02
62	4268,5	0,283	0,001	3,46	0,02
63	4272,7	0,283	0,001	3,42	0,02
64	4182,4	0,282	0,001	3,43	0,02
65	4264,0	0,282	0,001	3,42	0,02
66	4262,0	0,281	0,001	3,49	0,02
67	4162,4	0,280	0,001	3,60	0,02
68	4452,5	0,303	0,001	3,53	0,02
69	4217,3	0,303	0,001	3,66	0,02
70	4350,5	0,313	0,001	3,34	0,01
71	4340,4	0,316	0,001	3,40	0,01
72	4364,3	0,314	0,001	3,47	0,02
73	4343,9	0,314	0,001	3,56	0,02
74	4297,3	0,313	0,001	3,51	0,02
75	4454,3	0,312	0,001	3,41	0,01
76	4307,1	0,311	0,001	3,41	0,02
77	4328,0	0,315	0,001	3,41	0,01
78	4325,0	0,315	0,001	3,35	0,01
79	4288,7	0,314	0,001	3,39	0,01
80	4298,3	0,312	0,001	3,36	0,01
81	4382,2	0,324	0,001	3,44	0,02
82	4337,8	0,316	0,001	3,39	0,01
83	4349,0	0,306	0,001	3,35	0,01
84	4346,9	0,316	0,001	3,34	0,01

**Tabela B13 – Dados dos ensaios do IPT com o protótipo na linha de admissão.**

<b>Ensaio</b>	<b>Massa (g)</b>	<b><math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Q (L/min)</b>	<b>Pulsos</b>
1	224,1	848	1,67	0,159	389
2	232,4	848	1,67	0,164	416
3	275,4	848	1,67	0,195	454
4	261,2	848	1,67	0,185	449
5	430,8	848	1,67	0,305	440
6	432,5	848	1,67	0,306	444
7	542,7	848	1,67	0,384	461
8	521,2	848	1,67	0,369	421
9	703,6	848	1,67	0,498	626
10	365,8	848	0,83	0,518	264

**Tabela B14 – Dados dos ensaios do IPT com o protótipo na linha de retorno.**

<b>Ensaio</b>	<b>Massa (g)</b>	<b><math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Q (L/min)</b>	<b>Pulsos</b>
11	226,1	848	1,67	0,160	622
12	225,4	848	1,67	0,159	562
13	266,9	848	1,67	0,189	539
14	262,9	848	1,67	0,186	536
15	439,9	848	1,67	0,311	493
16	430,3	848	1,67	0,304	497
17	547,3	848	1,67	0,387	641
18	538,1	848	1,67	0,381	557
19	708,2	848	1,67	0,501	616
20	355,2	848	0,83	0,503	310

**Tabela B15 – Resultados dos ensaios do IPT com o protótipo na linha de admissão.**

<b>Massa na admissão (g)</b>	<b>Massa no retorno (g)</b>	<b>Vazão de admissão (L/min)</b>	<b>Vazão de retorno (L/min)</b>
1100,1	876,0	0,78	0,62
1176,5	944,1	0,83	0,67
1283,9	1008,5	0,91	0,71
1269,8	1008,6	0,90	0,71
1244,4	813,6	0,88	0,58
1255,7	823,2	0,89	0,58
1303,7	761,0	0,92	0,54
1190,6	669,4	0,84	0,47
1770,4	1066,8	1,25	0,75
746,6	380,8	1,06	0,54

**Nota:** Valores de massa na admissão calculados com valor de pulsos medidos no protótipo, utilizando-se constante  $K = 3,35$  (mL/pulso)

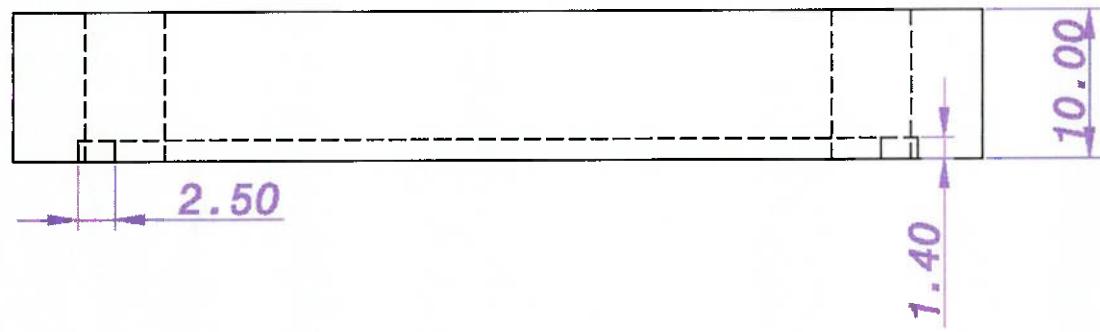
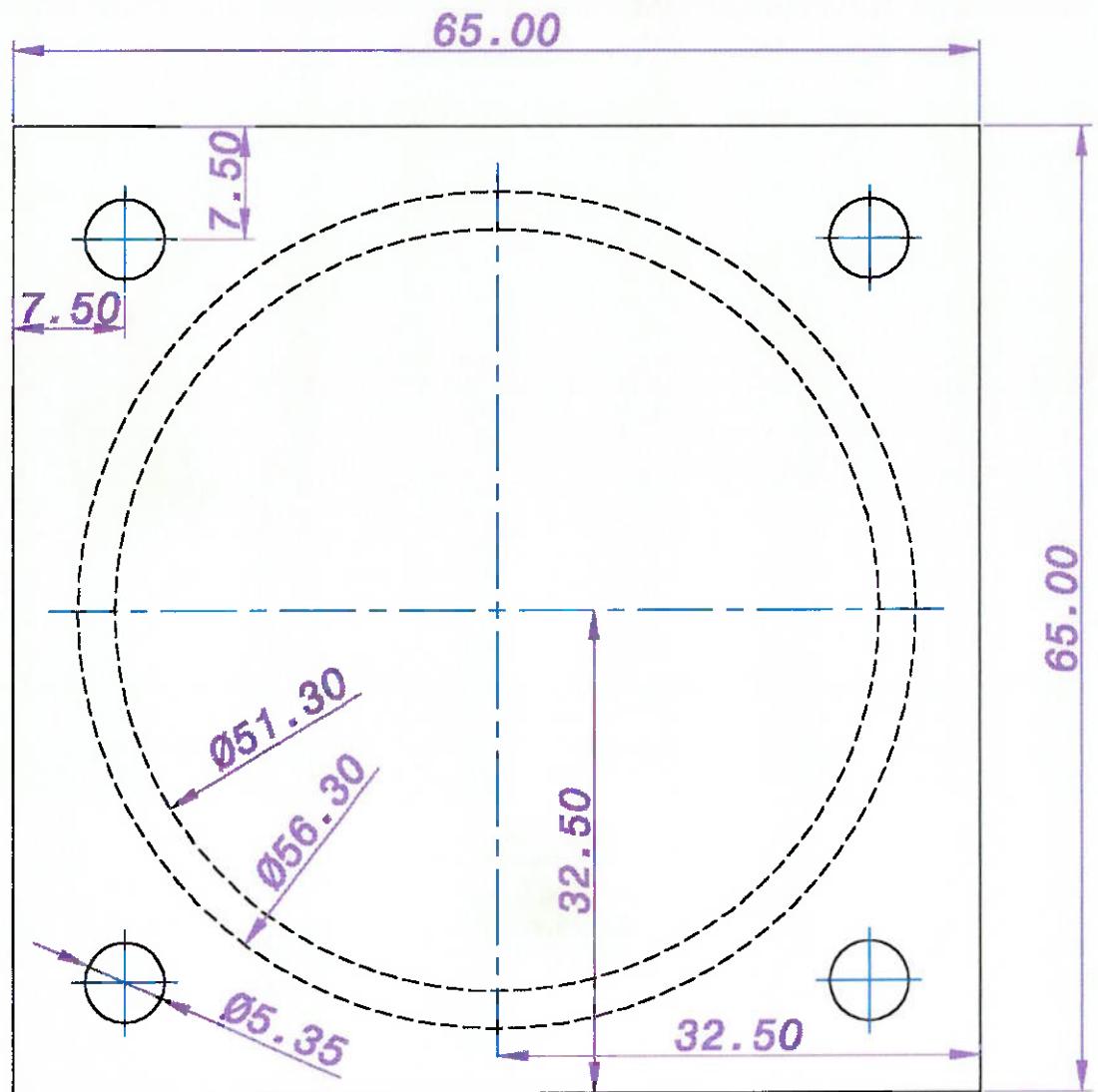
**Tabela B16 – Resultados dos ensaios do IPT com o protótipo na linha de retorno.**

<b>Massa no retorno (g)</b>	<b>Massa na admissão (g)</b>	<b>Vazão de retorno (L/min)</b>	<b>Vazão de admissão (L/min)</b>
1759,1	1759,3	1,08	1,24
1589,4	1589,6	0,97	1,12
1524,3	1524,6	0,89	1,08
1515,9	1516,1	0,89	1,07
1394,2	1394,7	0,68	0,99
1405,6	1406,0	0,69	0,99
1812,8	1813,3	0,90	1,28
1575,2	1575,8	0,73	1,11
1742,1	1742,8	0,73	1,23
876,7	877,1	0,74	1,24

**Nota:** Valores de massa no retorno calculados com valor de pulsos medidos no protótipo, utilizando-se constante  $K = 3,35$  (mL/pulso)

**B.13. ANEXO II**

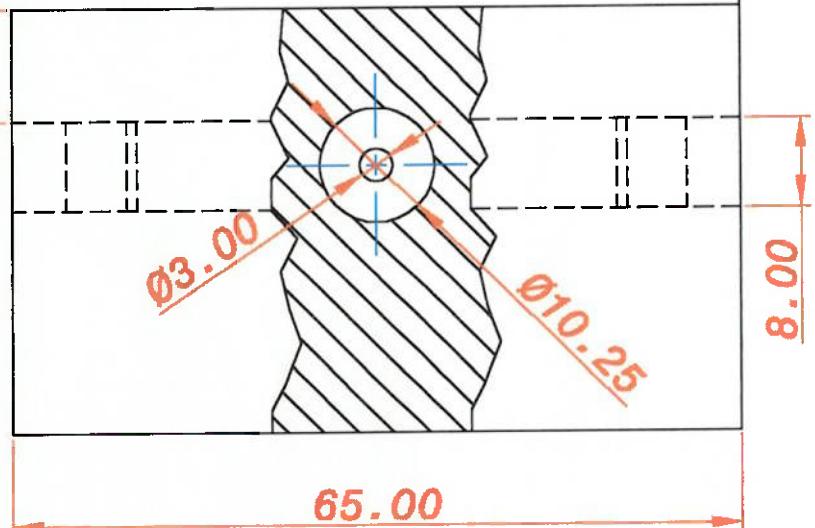
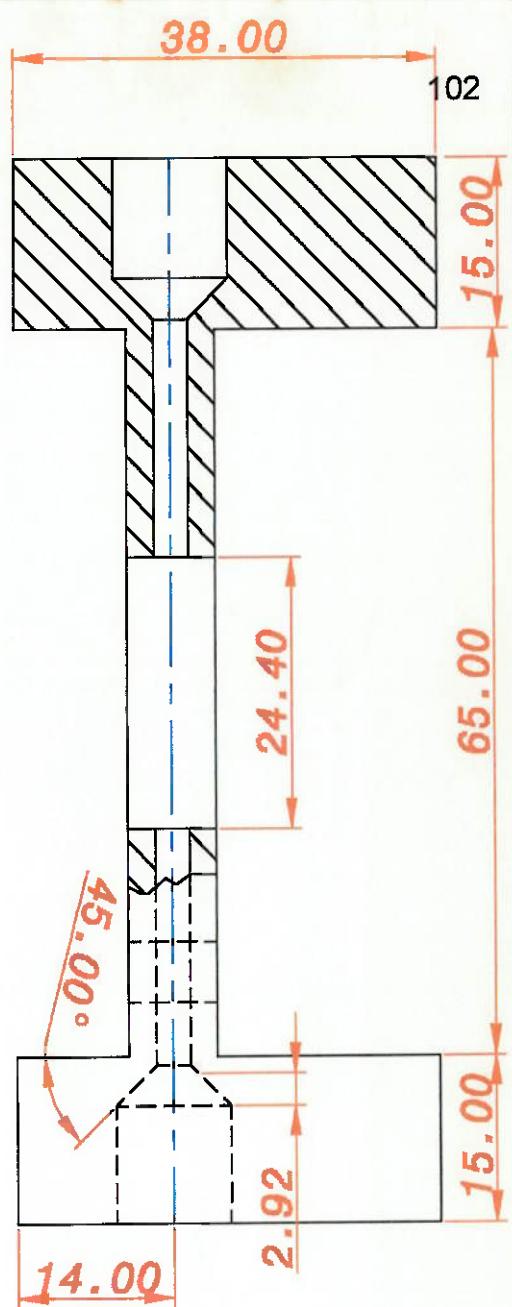
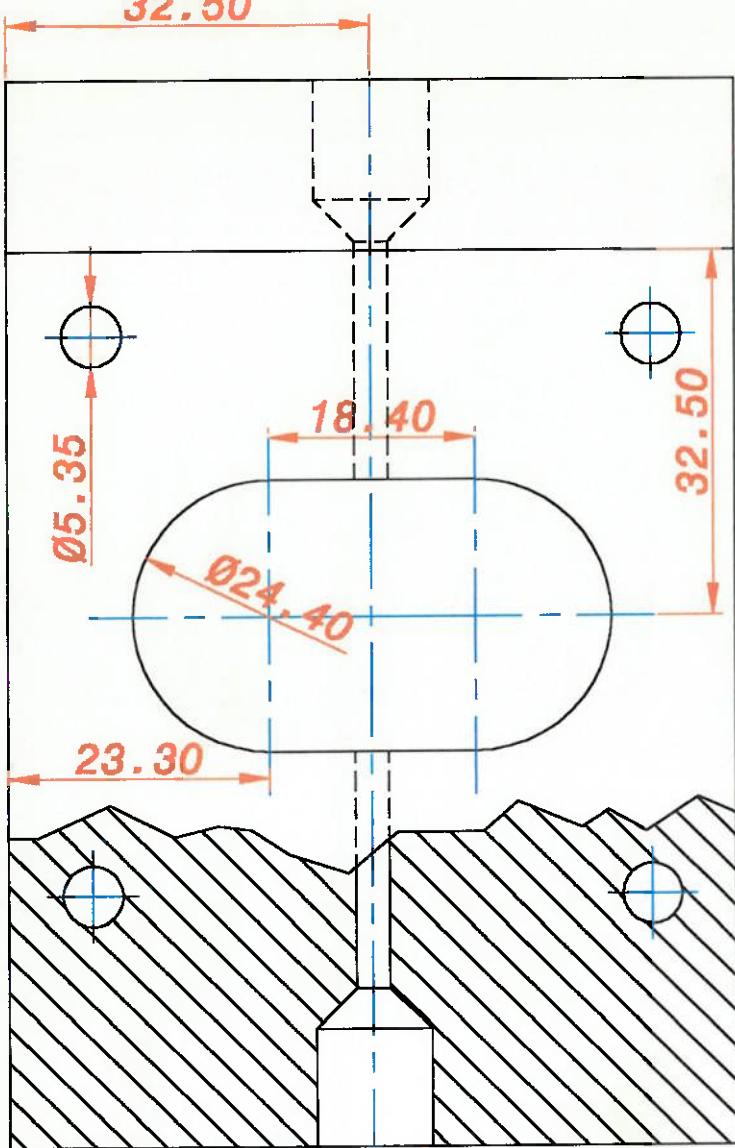
**Desenhos de fabricação**



*senho de Fabricação*  
1.01.1999    Escala: 2:1

*Título:*  
**Tampa Superior Com Rasgo  
Para Anel De Vedação**

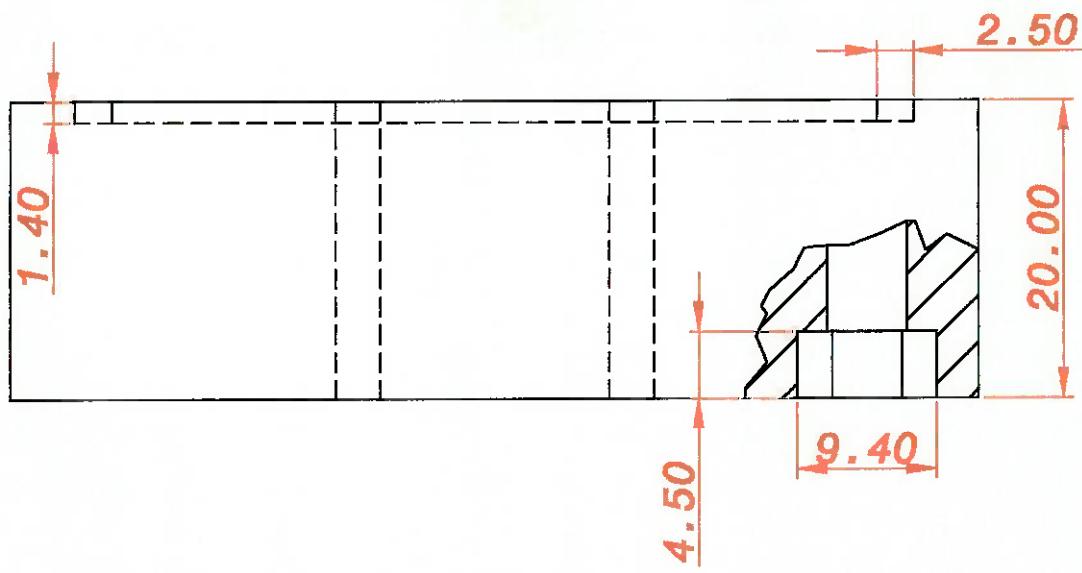
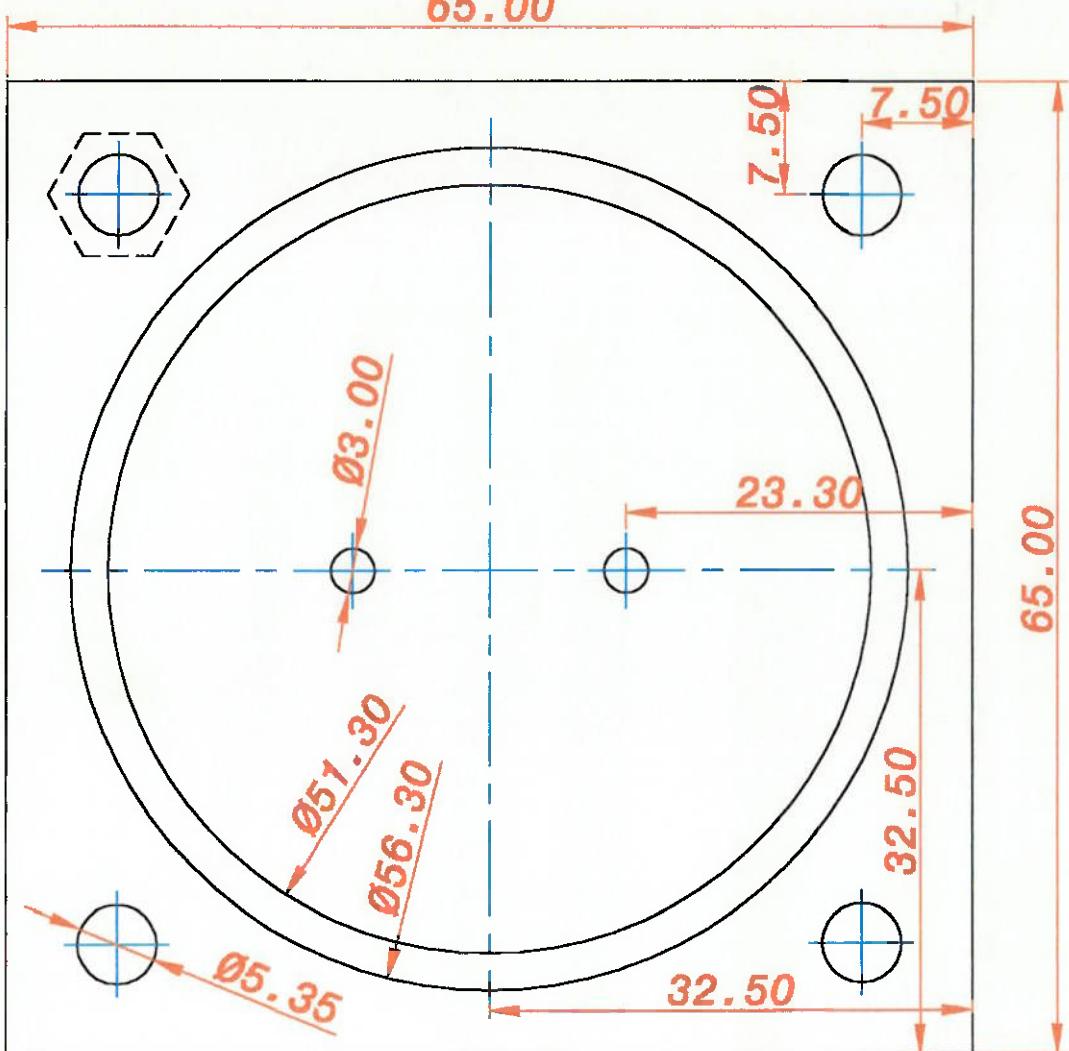
*cola Politécnica da Universidade de São Paulo*



senho de Fabricação  
1.01.1999 Escala: 1.5:1

Título: Câmara Com Dutos  
Para Entrada e Saída  
Do Fluido

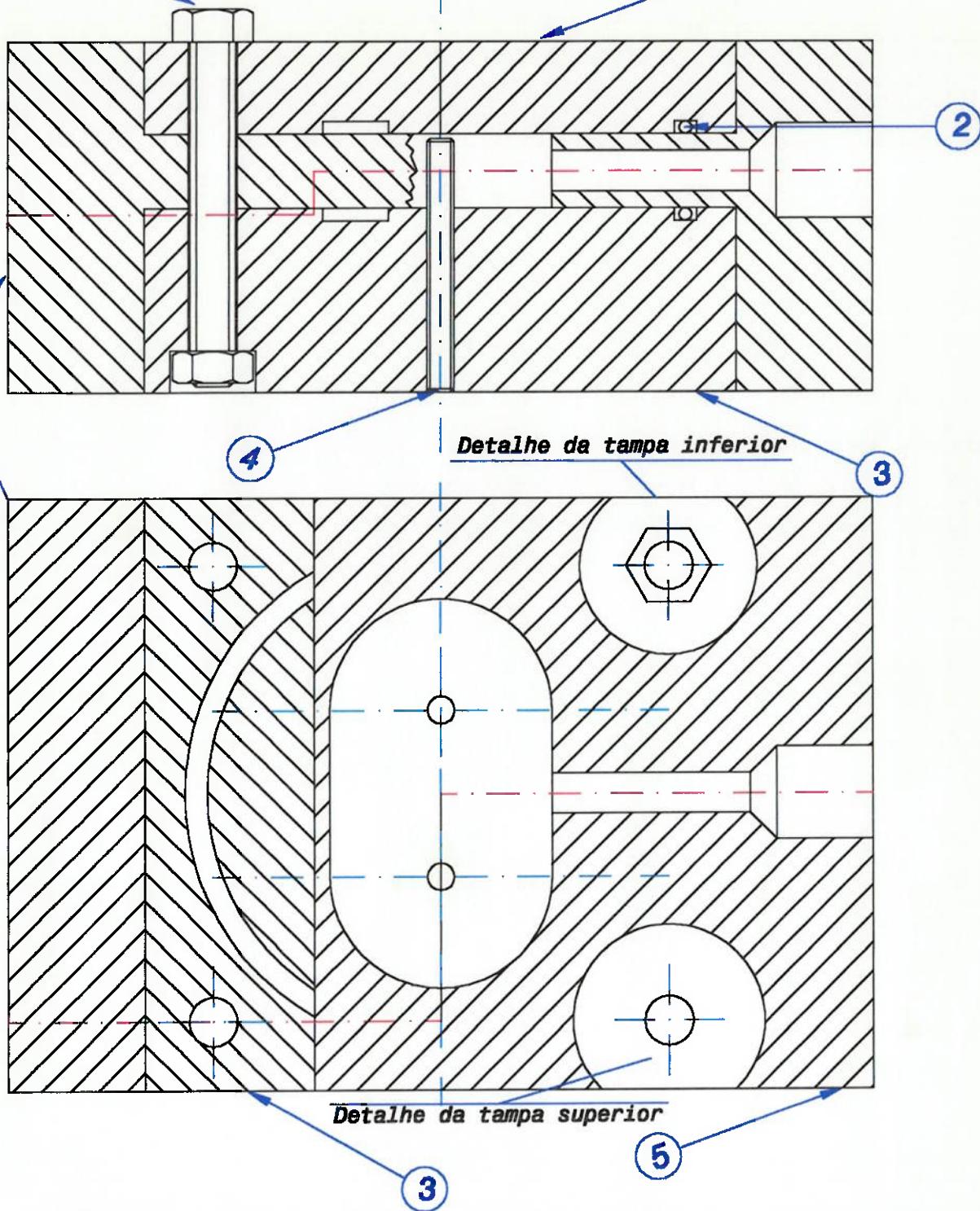
cola Politécnica da Universidade de São Paulo



*senho de Fabricação*  
1.01.1999      Escala: 2:1

*Título: Tampa Superior Com Rasgo  
Para Anel De Vedaçāo  
E Porca Embutida*

*cola Politécnica da Universidade de São Paulo*



Peca	Quant.	Descriçao	Dimensões	Materail	OBS.
1	1	Tampa Superior	65x65	Tecnil	Acrílico (Protótipo)
2	2	Anel de Vedação	50.52x1.78	Elastômero	
3	1	Tampa Inferior	65x65	Tecnil	
4	2	Eixo da engrenagem	3.00x41.25	Aço	
5	1	Tampa em H com Câmara		Tecnil	Medidas o Des. Fabricação
6	4	Parafuso	M5x40	Aço	

Desenho de Conjunto

Título: Medidor de Vazão  
de combustível

1.01.1999

Escala: 1.5:1

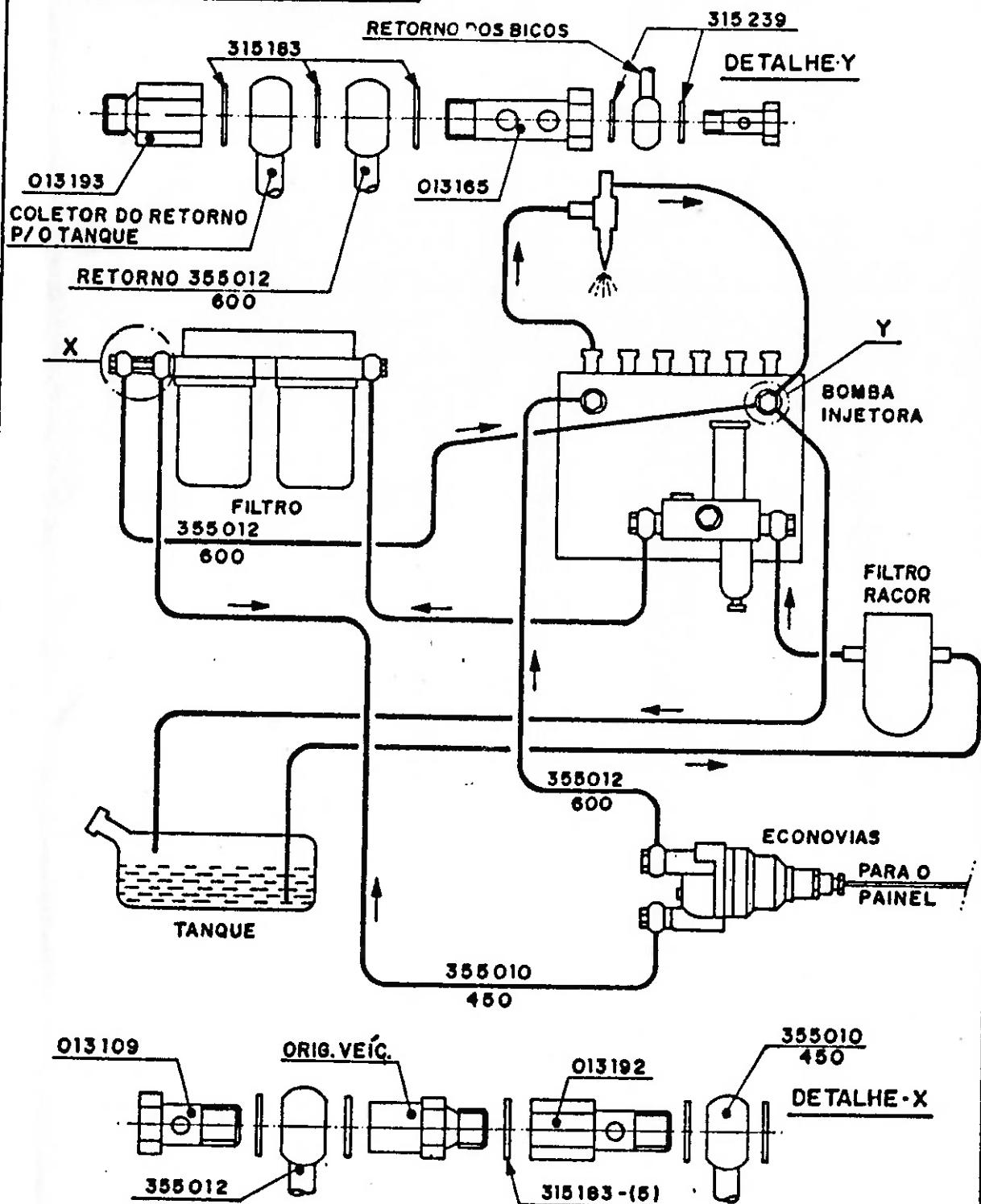
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

**B.14. ANEXO III**

**Esquema das instalações do medidor Econovias  
em motores.**

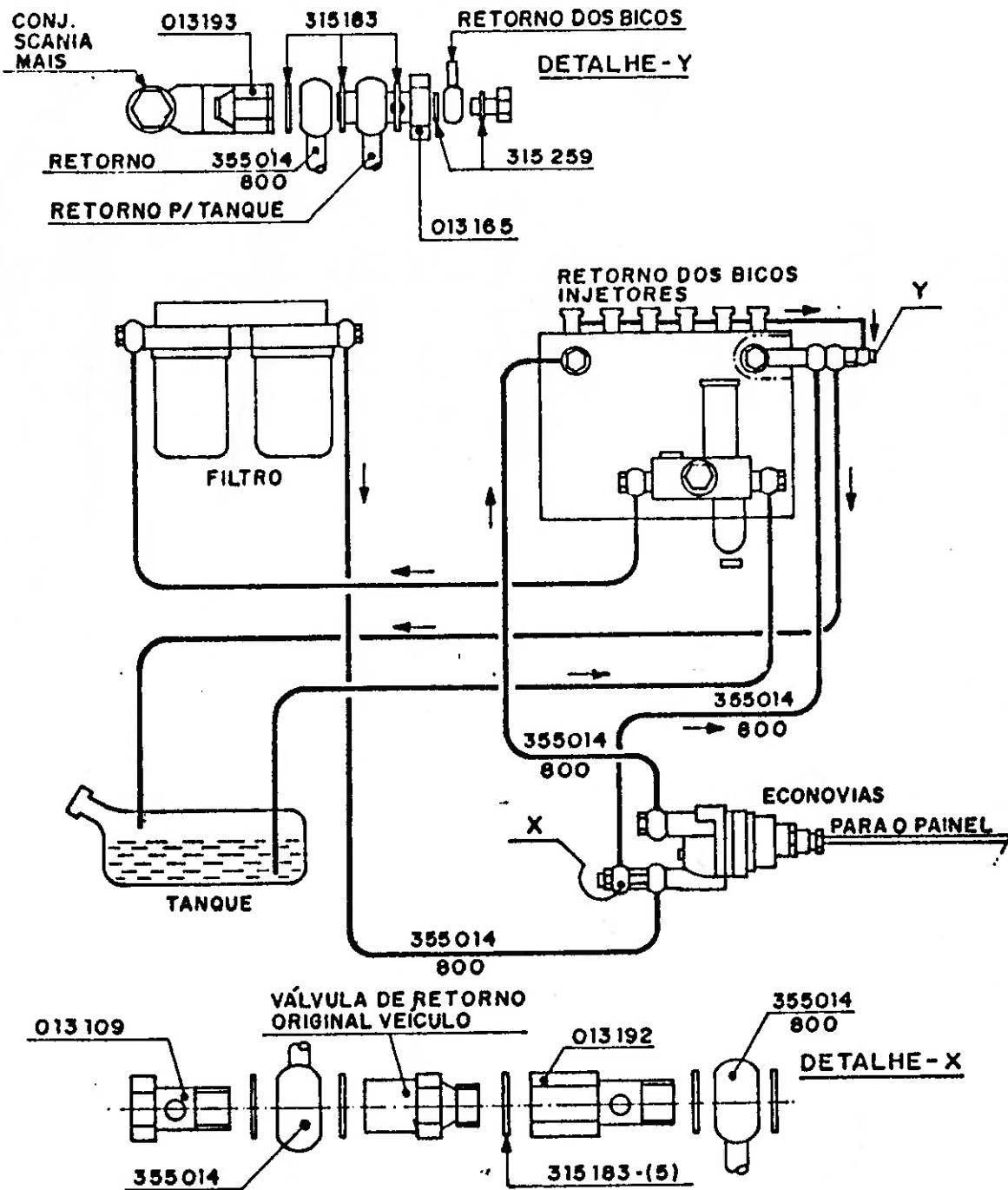
## ESQUEMA DE INSTALAÇÃO

VEÍCULO	SCANIA
MODELO	T 112; R112



## ESQUEMA DE INSTALAÇÃO

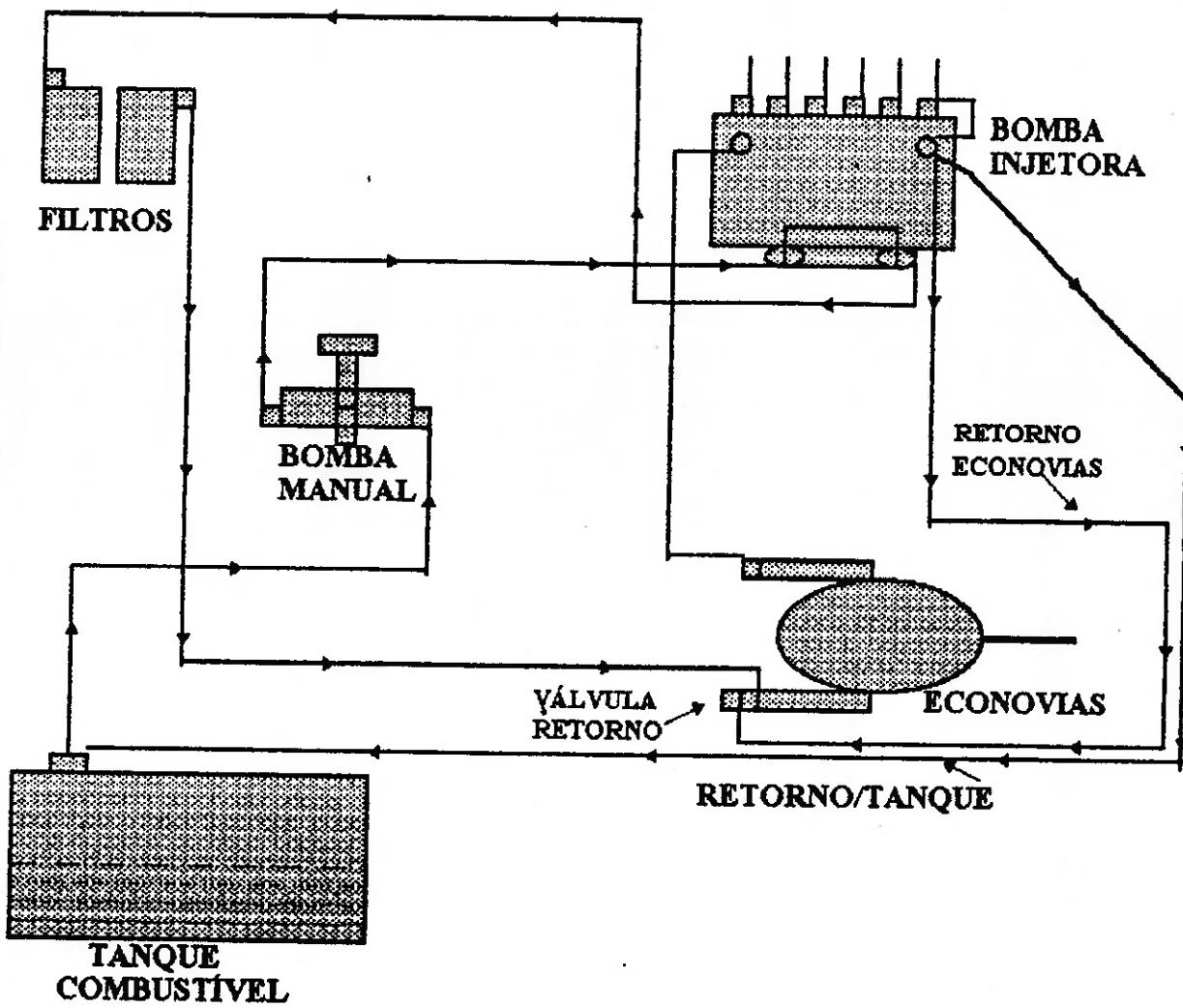
VEÍCULO	VOLVO
MODELO	N10, N12 - NL10, NL12



**FIXAÇÃO DO SUPORTE:** FIXAR NA CABINA, DO LADO DA BARRA DE DIREÇÃO OU NA LONGARINA PRÓXIMO A BOMBA INJETORA - SUPORTE N° 349 030

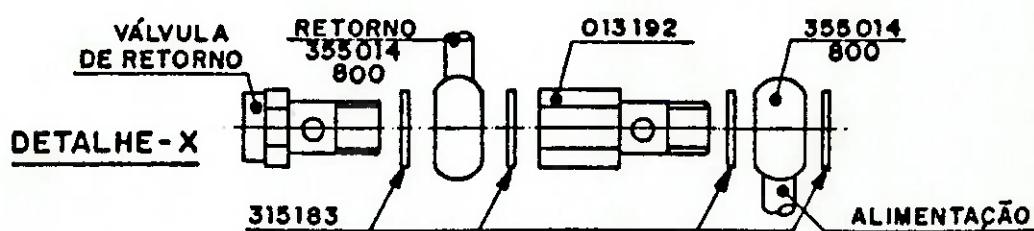
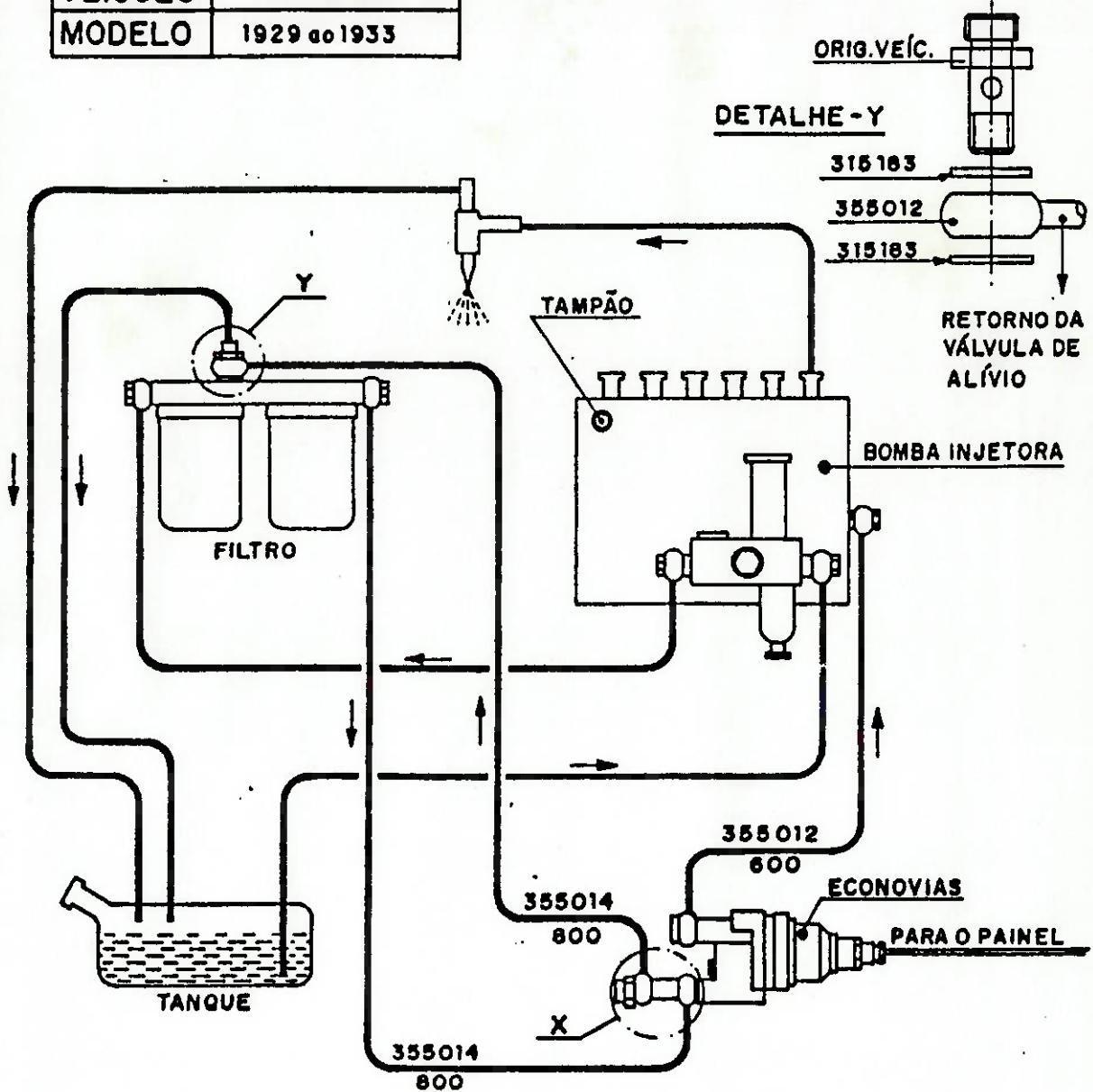
METROVAL MECÂNICA E MEDAÇÃO Ltda.

Rua Christiano Kilmeyers, 819 - Cx. P. 201 - CEP 13460 - NOVA ODESSA SP - Tel. (0194) 66-1859  
Telex - (19) 3104 OVAL BR - Telefax (0194) 66-2579

ESQUEMA DE INSTALAÇÃOMERCEDEZ BENZ: 1935 - 1941USAR CRITÉRIOS DO SISTEMA VOLVO.

ESQUEMA DE INSTALAÇÃO

VEÍCULO	MERCEDES
MODELO	1929 ao 1933



METROVAL MECÂNICA E MEDAÇÃO Ltda.

Rua Christiano Kilmeyers, 819 - Cx.P.201 - CEP 13460 - NOVA ODESSA S.P. - Tel. (0194) 66-1859  
Telex-(19) 3104 OVAL BR - Telefax (0194) 66-2579

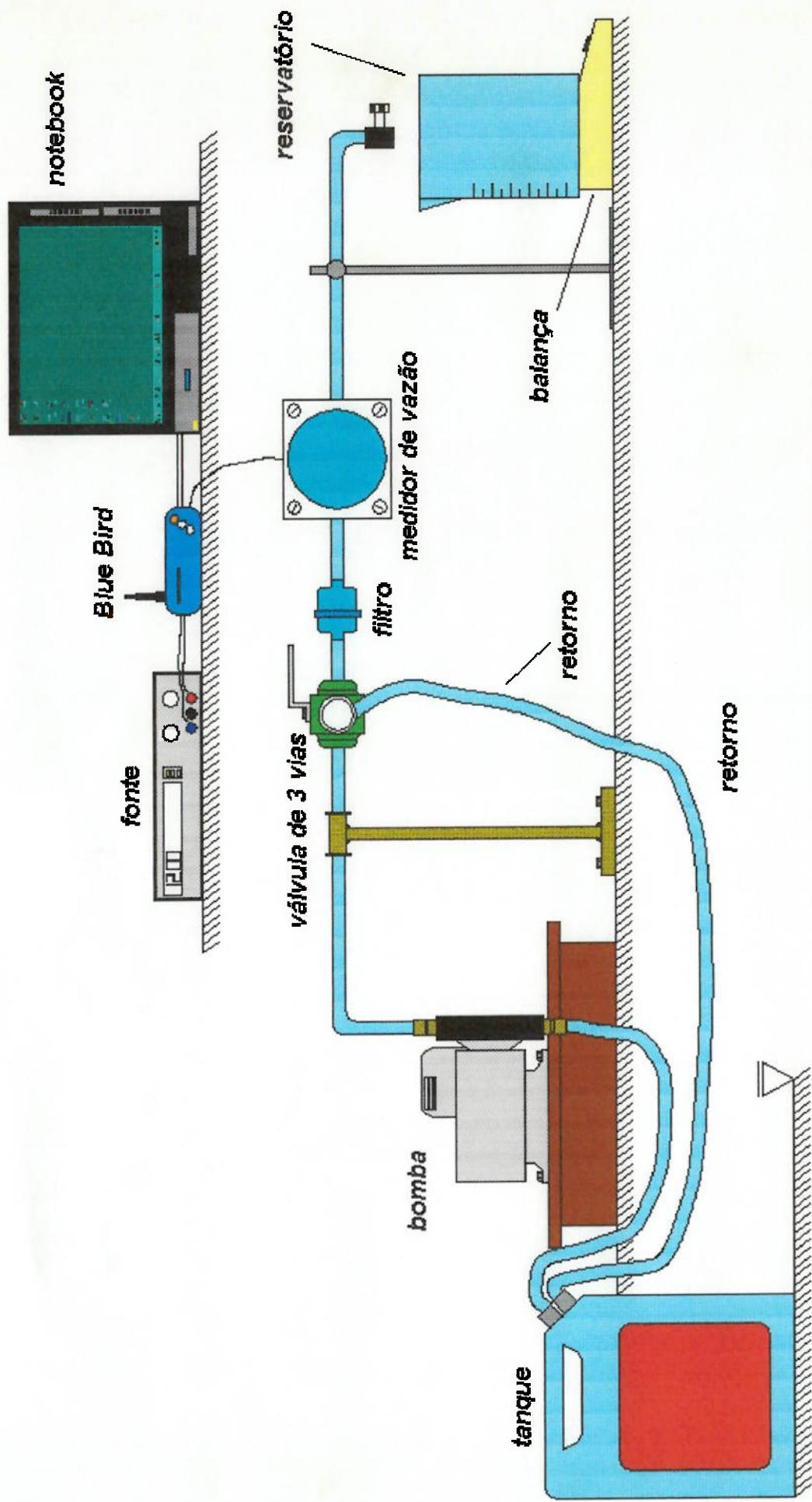


Figura B32 - Esquema de montagem dos ensaios no laboratório.

### B.15. ANEXO IV

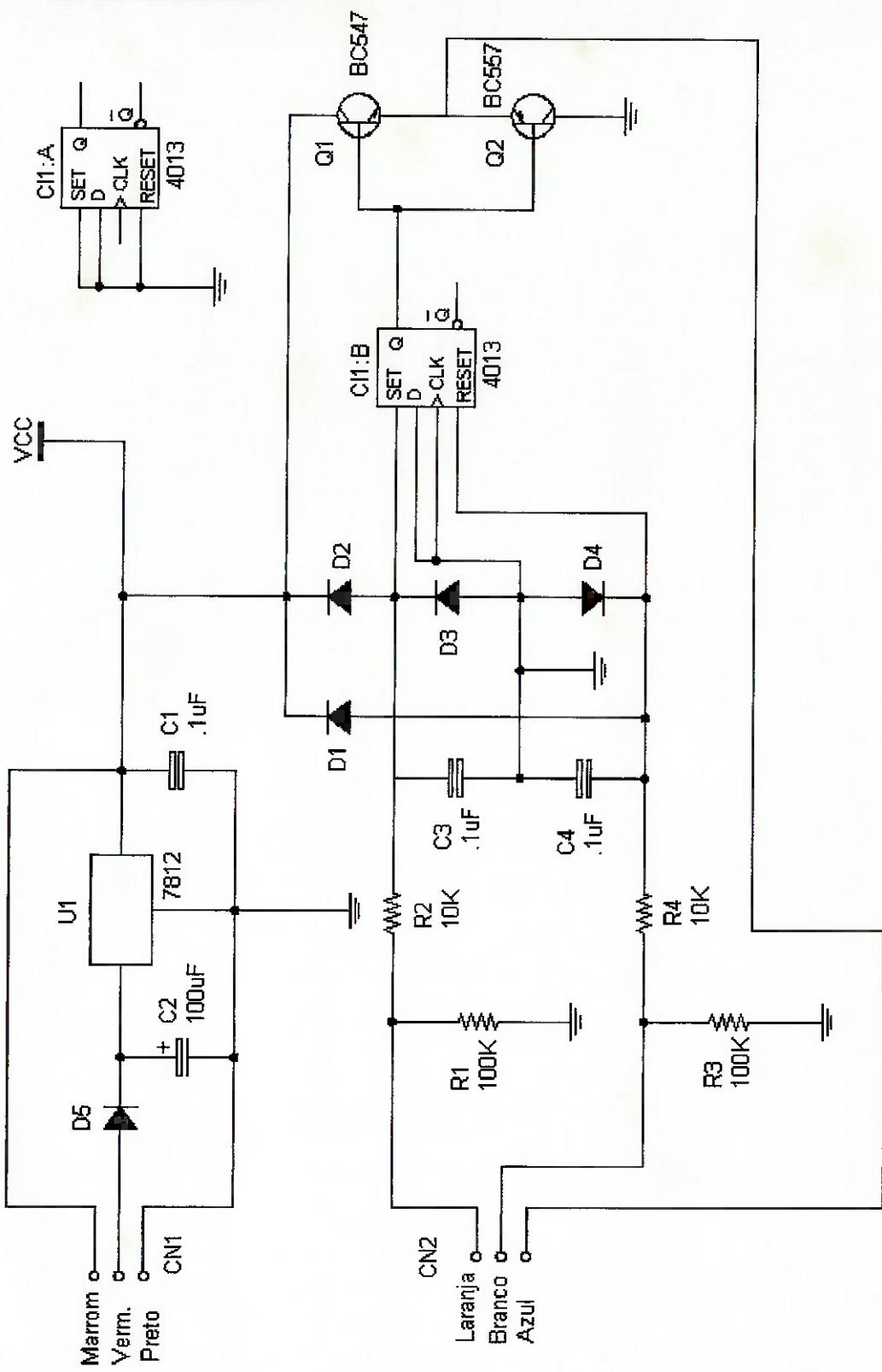


Figura B33 - Circuito eletrônico de contabilização para os sensores Namur.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] MILLER, R. W., *Flow Measurement Engineering Handbook*, 2<sup>a</sup> Ed. , New York, Mc Graw-Hill, 1989, 432p.
- [2] Simpósio Brasileiro de Medição de Vazão, São Paulo, IPT; 1989, 263p.
- [3]. MARIANI, Antonio L. C., BAPTISTA, Rui J. C., *Técnicas para Sensoriamento e Aquisição de Dados em Veículos Automotivos*, São Paulo, c1996 – publicação interna.
- [4]. NORTON, Harry N., *Handbook of Transducers for Electronic Measuring Systems*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., c1969.
- [5]. KUAE, Laura K. N., BONESIO, Maria C. M., VILLELA, Maria C., *Diretrizes para Apresentação de Dissertações e Teses*, Escola Politécnica da USP – Serviço de Bibliotecas, São Paulo - 1991.
- [6]. NIVETEC, Instrumentação e Controle Ltda., *Catálogo dos Produtos de Medição e Controle de Nível*.
- [7]. IBM, Blue Bird., Manual de Hardware do Computador de Bordo.
- [8]. Metroval, Medidores de Engrenagens Ovais - Série OI - Médias e Pequenas Vazões., *Catálogo dos Produtos de Medição de Vazão*.
- [9]. PALLÁS- ARENY, Ramón., WEBSTER, John G., *Sensors and Signal Conditioning*, 1<sup>a</sup> Ed., New York, John Wiley & Sons, Inc, 1991, 415 p.
- [10]. BRANDRUP J., IMMERMUT, E. H., *Polymer Handbook*, 3<sup>a</sup> Ed., New York, John Wiley & Sons.

