

**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

12

# **CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA DE TESTES PARA UMA CVT**

Flamínio Alves Fávero Maranhão  
Gustavo Henrique Fayad Nicolosi

São Paulo  
2004

**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

# **CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA DE TESTES PARA UMA CVT**

Trabalho de formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade  
de São Paulo para a obtenção do  
título de Graduação em Engenharia

Flamínio Alves Fávero Maranhão  
Gustavo Henrique Fayad Nicolosi

**Orientador:** Prof. Dr. Marcelo Leal  
Alves

**Área de Concentração:**  
Engenharia Mecânica

São Paulo  
2004

## **RESUMO**

O presente trabalho reúne elementos para o estudo de CVTs polia / correia que são utilizadas na maioria dos veículos tipo “Mini Baja” que participam das competições da SAE, porém não existem informações precisas sobre condições de desempenho máximo, influência da calibração, etc. Com a construção desta bancada de testes será possível obter estas informações, tais como a influência da rotação do motor na relação de transmissão; a influência do torque resistivo na relação de transmissão; testar as diversas combinações de massas / molas das polias para se obter a melhor configuração de desempenho para a aplicação desejada; analisar efeitos de desalinhamento / angulação no desempenho; analisar efeitos de variação do entre-centros no desempenho, com o objetivo de melhorar os projetos de transmissão da Equipe Poli de Mini Baja, além de manter uma bancada permanente para que seja possível testar outras CVTs quando necessário.

## **ABSTRACT**

The present work congregates elements for the study of CVTs pulley/belt that are used in the majority of the vehicles type "Mini Baja" that participate of the competitions of the SAE, however there are not available the necessary information of the conditions of maximum performance, influence of the calibration, and others. With the construction of this workbench of tests it will be possible to get these information, such as the influence of the rotation of the engine in the transmission relation; the influence of the resistive torque in the transmission relation; to test the diverse combinations of masses/springs of the pulleys to get the best configuration of performance for the desired application; to analyze bad line up/angulations effects in the performance; to analyze the effect of variation of center distance in the performance, with the objective to improve the projects of transmission of the "Equipe Poli de Mini Baja", besides keeping a permanent workbench, so that it is possible to test other CVTs when necessary.

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 2-1: Funcionamento de uma CVT tipo polia de raio variável I.....	3
Fig. 2-2: Funcionamento de uma CVT tipo polia de raio variável II .....	3
Fig. 2-3: Correia metálica .....	4
Fig. 2-4: CVT com correia metálica.....	4
Fig. 2-5: CVT “Half Toroidal” .....	5
Fig. 2-6: Detalhe de funcionamento do fluido da CVT “Half Toroidal” .....	6
Fig. 2-7: Foto de uma CVT “Half Toroidal” .....	6
Fig. 2-8: CVT tipo discos planos .....	7
Fig. 2-9: Funcionamento de uma “Crank CVT” .....	8
Fig. 2-10: Modelo de uma “Crank CVT” .....	9
Fig. 2-11: Funcionamento de uma CVT Hidrostática .....	9
Fig. 3-1: CVT modelo COMET 790.....	10
Fig. 3-2: Polia motora .....	11
Fig. 3-3: Polia movida.....	11
Fig. 3-4: Polia motora aberta .....	12
Fig. 3-5: Alavanca da polia motora I .....	13
Fig. 3-6: Alavanca da polia motora II.....	13
Fig. 4-1: Curva de torque do motor .....	15
Fig. 4-2: Gráfico $T_s$ x $W_s$ .....	16
Fig. 4-3: Gráfico $T_s$ x $W_s$ para um câmbio de 4 marchas .....	16
Fig. 4-4a: Gráfico $i$ x $w_e$ para uma CVT ideal .....	17
Fig. 4-4b: Gráfico $T_s$ x $W_s$ para a situação da figura 4-4a .....	18
Fig. 4-5a: Gráfico $i$ x $w_e$ para uma CVT qualquer .....	18
Fig. 4-5b: Gráfico $T_s$ x $W_s$ para a situação da figura 4-5a.....	19
Fig. 5-0: Bancada de testes .....	20
Fig. 5-1: Coxins.....	21
Fig. 5-2: Rasgo fresado I .....	21
Fig. 5-3: Rasgo fresado II.....	21
Fig. 5-4: Parafusos de regulagem.....	22
Fig. 5-5: Detalhe da Fig. 5-4 .....	22

<b>Fig. 5-6: Berço do motor fresado .....</b>	<b>22</b>
<b>Fig. 5-7: Tacômetro I.....</b>	<b>23</b>
<b>Fig. 5-8: Tacômetro II .....</b>	<b>23</b>
<b>Fig. 6-1: Freio dinamométrico .....</b>	<b>26</b>
<b>Fig. 6-2: Dinamômetro Hidráulico.....</b>	<b>28</b>
<b>Fig. 6-3: Freio .....</b>	<b>31</b>
<b>Fig. 6-4: Forças no eixo movido .....</b>	<b>32</b>
<b>Fig. 6-5: Mesa .....</b>	<b>35</b>
<b>Fig. A: Alinhamento da CVT .....</b>	<b>II</b>
<b>Fig. B: Parafusos de regulagem do alinhamento.....</b>	<b>III</b>
<b>Fig. C: Parafusos de regulagem do entre-centros e angulação.....</b>	<b>III</b>
<b>Fig. D: Parafuso de regulagem do freio.....</b>	<b>IV</b>

## SUMÁRIO

### LISTA DE FIGURAS

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	ENTENDIMENTO DA CVT.....	2
2.1	Conceito:.....	2
2.2	Tipos principais.....	3
2.2.1	Polias com raios variáveis.....	3
2.2.2	Toroidal.....	5
2.3	Outros tipos de CVT .....	7
2.3.1	Discos Planos .....	7
2.3.2	“Crank CVT” .....	8
2.3.3	Hidrostática .....	9
3	DETALHAMENTO DA CVT UTILIZADA.....	10
4	ANÁLISE DO DESEMPENHO .....	14
4.1	Aspectos gerais .....	14
4.2	Análise de uma transmissão.....	15
5	BANCADA DE TESTES .....	20
5.1	Componentes da bancada .....	21
5.2	Funcionamento.....	23
6	SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS .....	25
6.1	Escolha do motor .....	25
6.2	Freio Dinamométrico ou Dinamômetro .....	26
6.2.1	Dinamômetro Hidráulico .....	27
6.2.2	Dinamômetro de Correntes Parasitas .....	29
6.2.3	Dinamômetro de Corrente Contínua .....	29
6.2.4	Freio de Prony .....	30
6.3	Outras Peças.....	32
6.3.1	Eixos .....	32
6.3.2	Mancais.....	34
6.3.3	Mesa.....	35
7	PLANILHA DE CÁLCULOS.....	36
7.1	Levantamento dos dados .....	36
7.2	Cálculos .....	36
7.3	Planilha de cálculos.....	37
8	CONCLUSÃO.....	38
9	BIBLIOGRAFIA .....	40
	APÊNDICE A – PLANILHA DE CUSTOS DA BANCADA.....	I
	APÊNDICE B – MANUAL DE INSTRUÇÕES DA MESA.....	II
	APÊNDICE C – GUIA DO FABRICANTE DA CVT COMET.....	V
	APÊNDICE D – DESENHOS DE FABRICAÇÃO .....	VII

## 1 INTRODUÇÃO

As CVTs polia / correia, objetos deste estudo são utilizadas na maioria dos veículos tipo “Mini Baja” que participam das competições da SAE, porém não se tem informações precisas sobre condições de desempenho máximo, influência da calibração, etc.

Com a construção desta bancada de testes será possível obter estas informações para melhorar os projetos de transmissão da Equipe Poli de Mini Baja, além de manter uma bancada permanente para que seja possível testar outras CVTs quando necessário.

O objetivo deste Trabalho de Formatura é projetar e construir uma bancada de testes para uma CVT tipo disco / correia, que permita levantar os seguintes dados:

- Influência da rotação do motor na relação de transmissão;
- Influência do torque resistivo na relação de transmissão;
- Testar as diversas combinações de massas / molas das polias para se obter a melhor configuração de desempenho para a aplicação desejada;
- Analisar efeitos de desalinhamento / angulação no desempenho;
- Analisar efeitos de variação do entre-centros no desempenho.

Para isso foram seguidas as seguintes etapas:

1. Seleção de equipamentos utilizados;
2. Seleção e equacionamento do dinamômetro;
3. Caracterização e funcionamento da CVT;
4. Lay out e elementos de fixação da CVT;
5. Aquisição de materiais e equipamentos;
6. Dimensionamento de eixos, mancais e estrutura da mesa;
7. Construção e montagem da mesa;
8. Testes e obtenção de dados preliminares.



## 2 ENTENDIMENTO DA CVT

### 2.1 Conceito:

A CVT (*Continuously Variable Transmission – Transmissão Continuamente Variável*) é um mecanismo de transmissão que permite uma variação contínua na sua relação de redução, em oposição a uma caixa de câmbio, que permite apenas um número finito de relações.

O conceito de CVT é bem antigo, apesar de aparecer como novidade na indústria automotiva, como por exemplo no *Honda Fit*. No começo do século XX já existiam alguns carros que a utilizavam, porém com pouco sucesso, devido ao grande número de problemas em sua utilização, como desgaste excessivo de suas peças e baixos rendimentos. De fato, a maior limitação ao seu uso era o fato de permitir uma potência de transmissão muito baixa, devido, em boa parte, à precariedade dos mecanismos e aos materiais utilizados. Com o passar do tempo, a CVT foi sendo estudada e atualmente, aliado às modernas tecnologias disponíveis, surge como uma alternativa viável às caixas de câmbio convencionais. Dois grandes exemplos das evoluções sofridas pelas CVTs são a correia metálica, utilizada nas CVTs do tipo polia com raio variável (item 2.2.1) e o uso de lubrificantes que mudam sua composição química sob grandes pressões, permitindo um maior atrito, utilizado em CVTs toroidais (item 2.2.2).

Em geral, para uma mesma faixa de operação, uma CVT é mais compacta que uma caixa de câmbio, além de possuir menos peças, o que diminui em parte os custos de montagem e aumenta a confiabilidade. Além disso, a ausência de um câmbio e por permitir que os motores de combustão operem em faixas mais econômicas, a CVT apresenta grandes vantagens sobre as caixas de câmbio em automóveis, e seu uso na indústria automotiva vem crescendo nos últimos anos. Porém o uso de CVTs é muito mais abrangente, indo desde móbiles, snow-móbiles, e também em aplicações estáticas, como compressores.

## 2.2 Tipos principais

Existem diversos tipos de CVTs, cada um com um mecanismo diferente de operação que permite variar as relações de redução.

### 2.2.1 Polias com raios variáveis

Este tipo de CVT utiliza uma correia e duas polias cônicas partidas ao meio, de modo que suas faces podem se aproximar ou se afastar uma da outra.

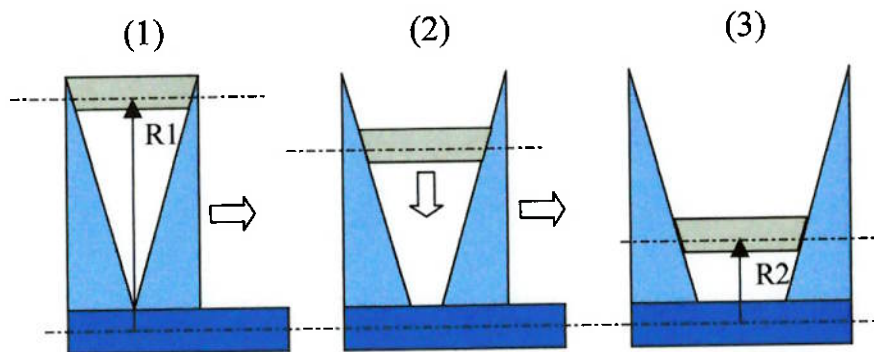


Fig. 2-1: Funcionamento de uma CVT tipo polia de raio variável I

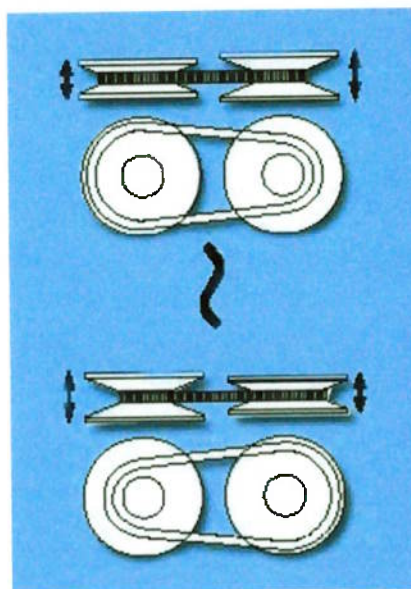
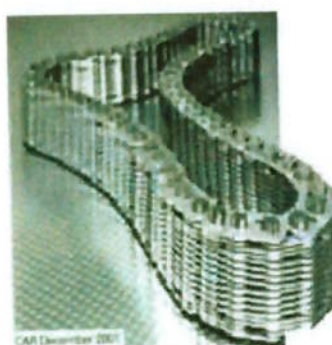


Fig. 2-2: Funcionamento de uma CVT tipo polia de raio variável II

A aproximação e afastamento destas polias fazem com que a correia suba ou desça, alterando assim seu raio efetivo. Neste tipo de CVT a correia e o tratamento superficial dos discos são os fatores determinantes da potência transmitida. A maioria destes modelos utiliza correias de borracha, o que limita a potência a baixos valores, no entanto recentemente a Audi desenvolveu correias metálicas (Fig. 2-3), que permitem aplicações que exigem altos torques de funcionamento, o que foi um dos fatores que contribuíram para que as CVTs pudessem ser utilizadas em automóveis.



**Fig. 2-3: Correia metálica**

A variação na relação de redução é feita alterando a distância entre as polias, e esta alteração pode ser feita por atuadores, como no caso das CVTs utilizadas em automóveis, com sensores e controle eletrônico, ou então por mecanismos de massas e molas no interior das polias, que forçam o afastamento das polias por combinações de forças de inércia e de restituição elástica. O Modelo Comet 790, (Fig. 3-1) que é o estudado neste trabalho, utiliza este mecanismo, e maiores detalhes do seu funcionamento estão no Item 3.



**Fig. 2-4: CVT com correia metálica**

### 2.2.2 Toroidal

As CVTs Toroidal e “Half Toroidal” (Fig. 2-5) possuem o mesmo princípio de funcionamento. Trata-se de dois discos frontais, com uma superfície esférica em suas faces, unidos por um disco que pode mudar sua inclinação, alterando o raio de contato entre os discos e conseqüentemente a relação de transmissão. A diferença da “Half Toroidal” para a Toroidal é que a superfície de contato é somente a metade da superfície esférica, daí o nome “Half Toroidal”.

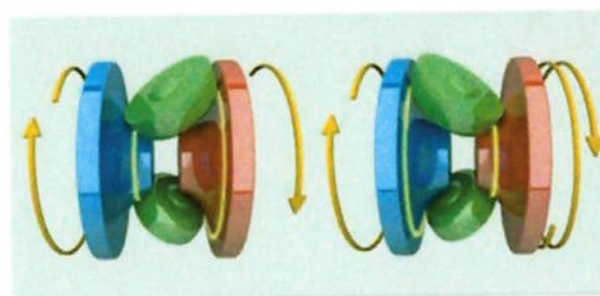
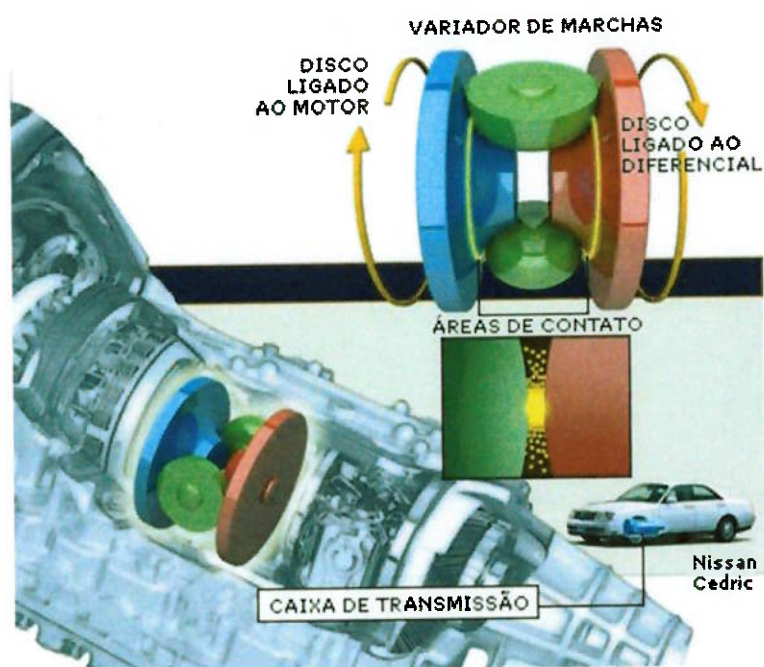


Fig. 2-5: CVT “Half Toroidal”

A variação nas relações de redução é regulada pela inclinação do mecanismo em verde da Fig. 2-5. O disco azul é a entrada do mecanismo e o vermelho a saída. A linha amarela mostra o contato entre o mecanismo e o disco.

Um dos fatores limitantes ao uso deste modelo é a necessidade de uma força de atrito muito alta entre os contatos. O grande salto tecnológico deste modelo se deu quando a NSK do Japão desenvolveu um fluido de trabalho que se solidifica sob altas pressões de contato, permitindo um maior atrito entre as superfícies que transmitem torque e, ao mesmo tempo, pode lubrificar o mecanismo.

Atualmente este modelo é encontrado em alguns veículos de luxo, como o Nissan Cedric automático. A Fig. 2-6 ilustra como o fluido funciona.



**Fig. 2-6: Detalhe de funcionamento do fluido de trabalho da CVT "Half Toroidal"**



**Fig. 2-7: Foto de uma CVT "Half Toroidal"**

## 2.3 Outros tipos de CVT

### 2.3.1 Discos Planos

Este é o mecanismo mais simples de uma CVT. Trata-se de dois discos perpendiculares, onde um deles pode se mover, mantendo sua lateral em contato com a face do outro disco.

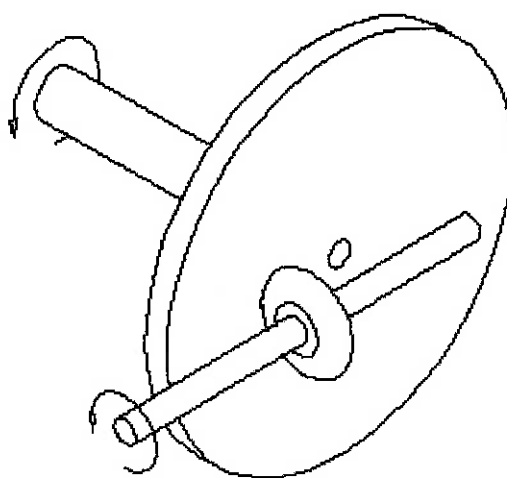


Fig. 2-8: CVT tipo discos planos

### 2.3.2 “Crank CVT”

Esta CVT é composta de um excêntrico ligado a um mecanismo de 4 barras, como o esquema mostrado na Fig. 2-9.

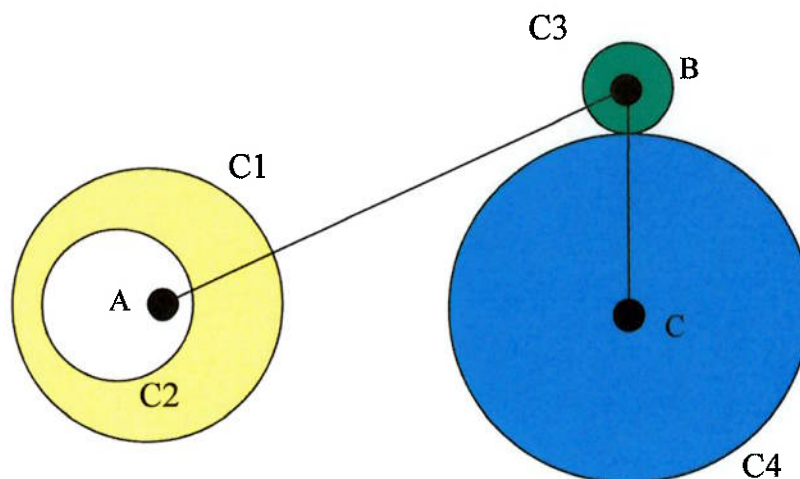


Fig. 2-9: Funcionamento de uma “Crank CVT”

A circunferência C1 recebe a rotação do motor, e a circunferência C2 pode girar em relação a C1. A distância do ponto A até o centro de C1 gera as variações na relação de transmissão, e quando estes pontos coincidem o mecanismo está em ponto morto. A barra AC e BC estão ligadas à roda livre C3, que só transmite a rotação em uma direção. A circunferência C4 é a saída do movimento e está ligada à C3, mas não está ligada à barra BC.



A rotação de saída não é constante, por isso estes mecanismos podem ter 2, 4 ou 8 barras, para aumentar a linearidade da saída. A Fig. 2-10 mostra um modelo de “Crank CVT”.



Fig. 2-10: Modelo de uma “Crank CVT”

### 2.3.3 Hidrostática

A CVT hidrostática utiliza um fluido para transmitir a potência. O motor fica acoplado a uma bomba, que faz o fluido circular, e este alimenta uma turbina, aonde se deseja obter o movimento. A variação na transmissão se faz através de válvulas no circuito hidráulico, que regulam a vazão de fluido. Pode ser encontrada em veículos de grande porte que tenham problemas espaciais para transmissão, como por exemplo tanques militares ou tratores. Existem também motos com tração dianteira que utilizam este princípio, e até mesmo algumas bicicletas a utilizam em substituição a corrente e ao câmbio.

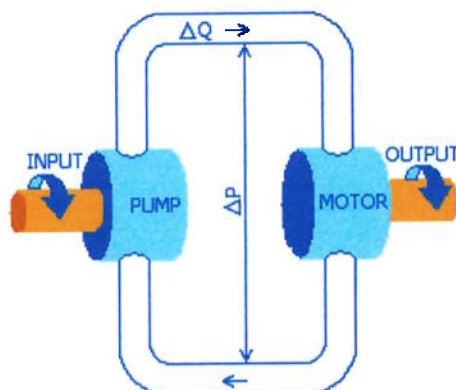
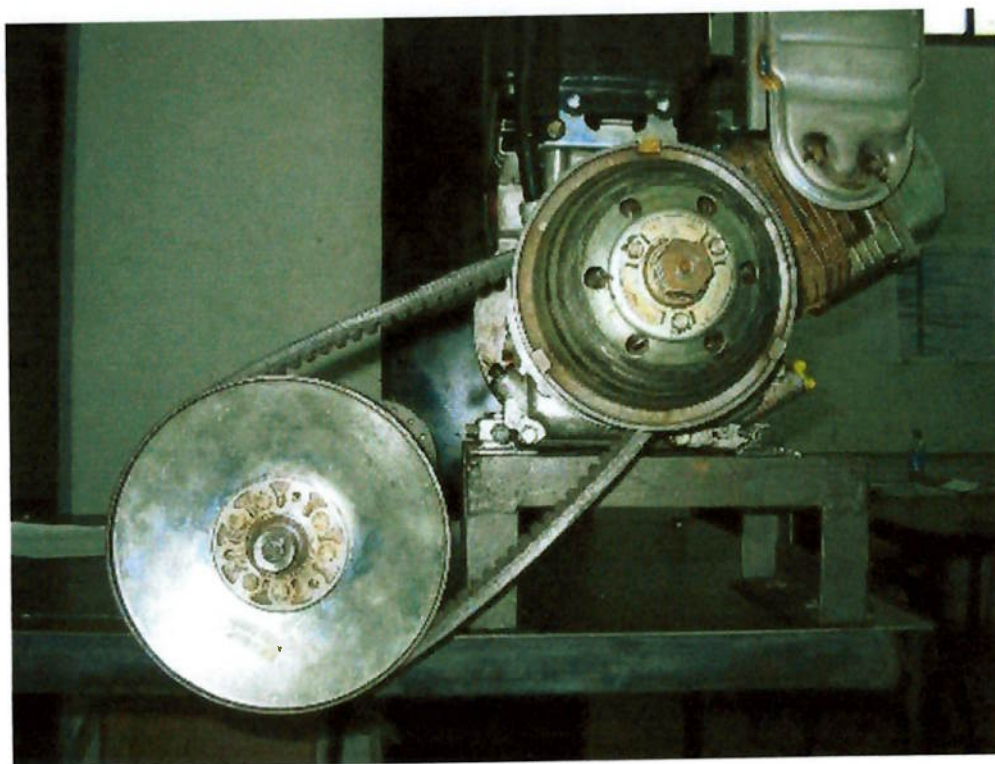


Fig. 2-11: Funcionamento de uma CVT Hidrostática



### 3 DETALHAMENTO DA CVT UTILIZADA

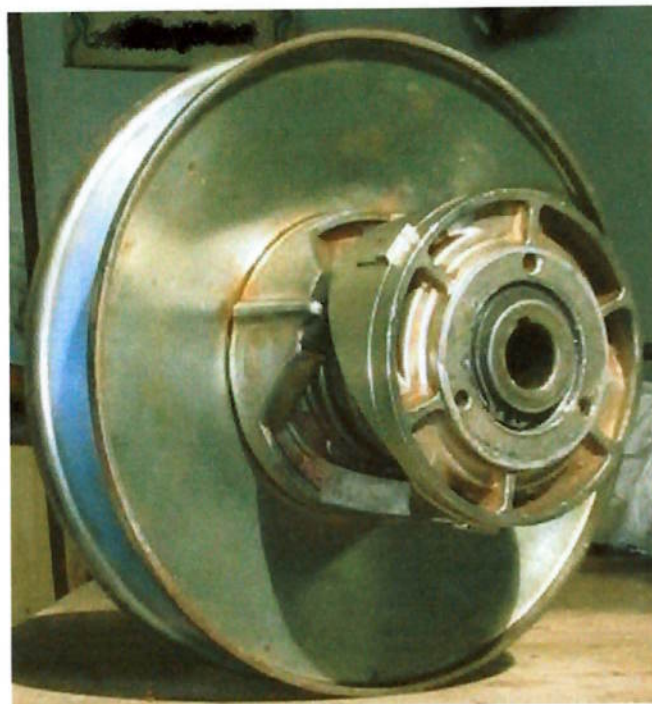
A CVT usada neste estudo é a COMET 790 (Fig. 3-1), utilizada atualmente pela Equipe Poli de Mini Baja. Trata-se de um modelo tipo polias com raios variáveis, com correia de borracha e abertura controlada com um mecanismo de massas e molas no interior da polia motora (Fig. 3-4) e uma mola de torção na polia movida (Fig. 3-3).



**Fig. 3-1: CVT modelo COMET 790**



**Fig. 3-2: Polia motora**



**Fig. 3-3: Polia movida**

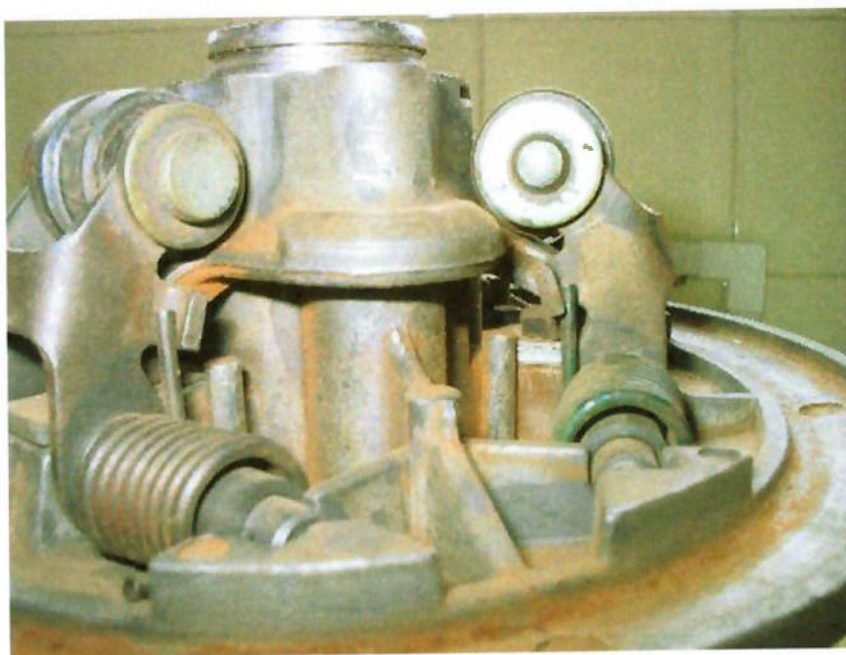


**Fig. 3-4: Polia motora aberta**

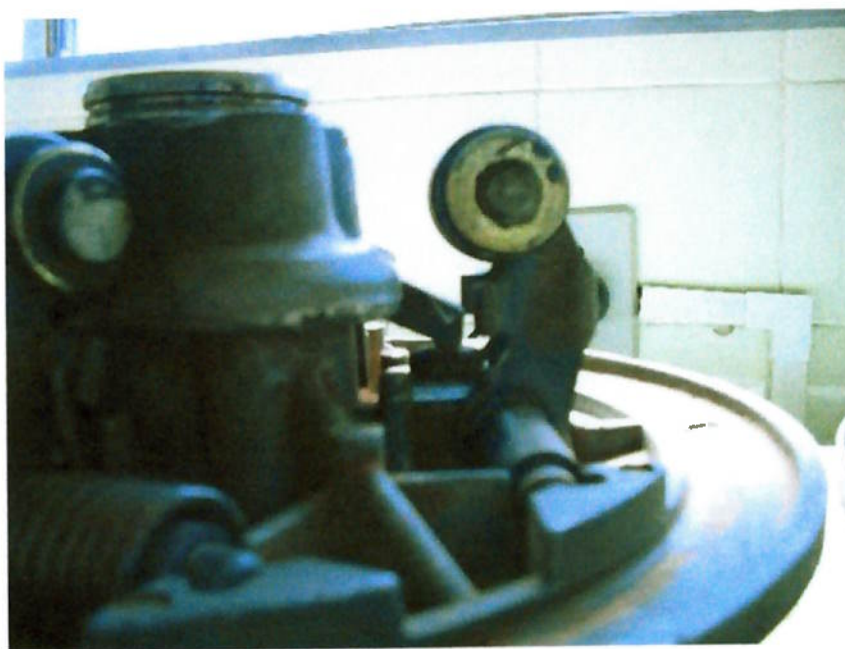
Na polia motora (Fig. 3-2), as forças de inércia fazem com que as alavancas do mecanismo se abram (Fig. 3-5 e Fig. 3-6), e rolem sobre a carcaça externa da CVT, o que força a base do mecanismo a se aproximar da outra face. O equilíbrio do mecanismo ocorre quando as forças de inércia, a restituição elástica das molas e a força exercida pela correia se equilibram. Na polia movida (Fig. 3-3), a mola força a aproximação dos discos, e o afastamento dos mesmos é realizado pela força que a correia exerce.

As diferentes combinações de massas e molas possíveis fazem com que a CVT possa ter um bom desempenho para uma certa aplicação e um desempenho insatisfatório para outras.





**Fig. 3-5: Alavanca da polia motora I**



**Fig. 3-6: Alavanca da polia motora II**

## **4 ANÁLISE DO DESEMPENHO**

### **4.1 Aspectos gerais**

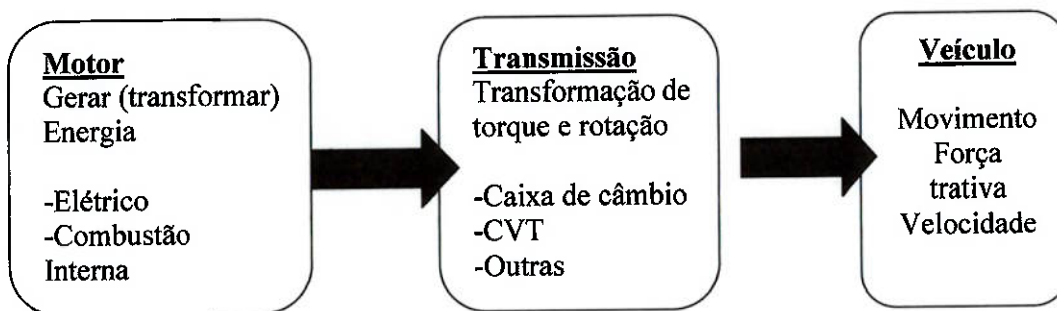
Para analisar o desempenho da CVT é necessário estabelecer quais são os critérios de avaliação. Por exemplo, se uma determinada aplicação visa economia de combustível a CVT será eficiente se conseguir minimizar o consumo de combustível, do mesmo modo que operando numa aplicação que visa maximizar a potência de saída, ela será eficiente se conseguir manter o motor na rotação de potência máxima.

No caso da CVT ser controlada eletronicamente, os programas contidos em seu controlador e os sensores de operação permitem que ela opere a maior parte do tempo num regime de eficiência máxima, seja qual for o critério de operação. Isso pode ser visto, por exemplo, nos carros de luxo equipados com CVT que possuem dois tipos de direção, a econômica, que visa economizar combustível, e a esportiva, que visa maximizar a aceleração.

Porém, no caso das CVTs que não possuem atuadores eletrônicos, onde a operação é regida por ajustes de massas e molas, a calibragem deve ser feita para um único regime de operação.

## 4.2 Análise de uma transmissão

O objetivo de uma transmissão é transformar o torque e a rotação gerados pelo motor para fornecer a velocidade e a força trativa necessárias à aplicação desejada.



Na Fig. 4-1 está o gráfico de torque (em laranja) e potência (em vermelho) do motor Intek da Briggs & Stratton, utilizado nas competições do Mini Baja. Ao se colocar uma redução fixa em sua saída, por exemplo, de 1:3, os torques de saída são multiplicados por 3 enquanto as rotações são divididas por 3 (Fig. 4-2). Ao se construir uma caixa de câmbio de quatro marchas, por exemplo, pode-se ver os torques de saída na Fig. 4-3.

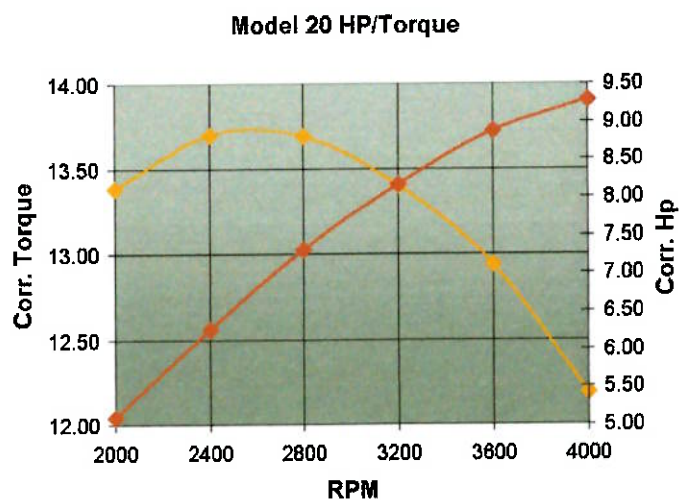
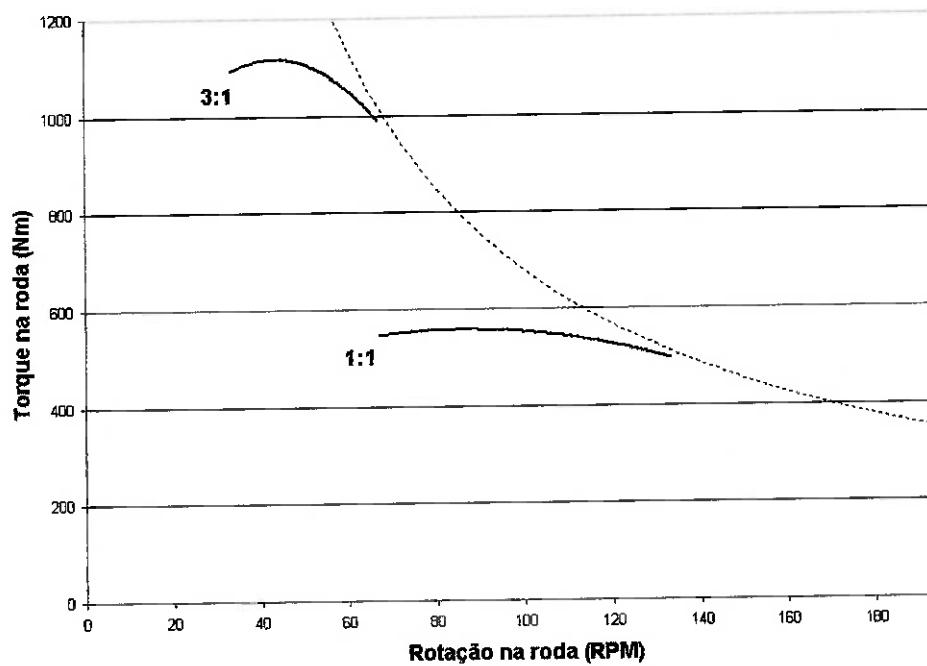
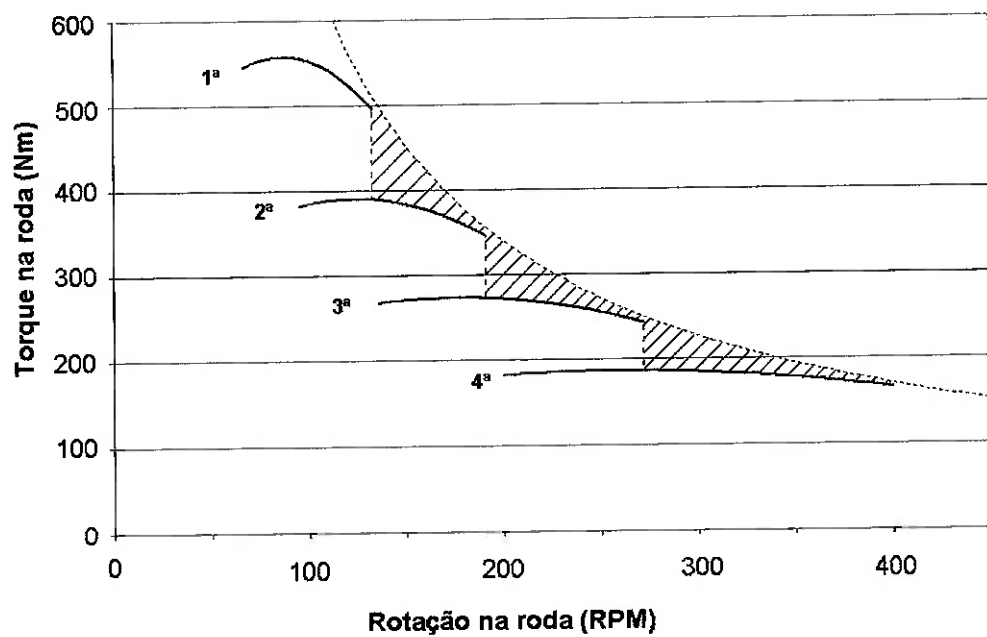


Fig. 4-1: Curva de torque do motor

Fig. 4-2: Gráfico  $T_s \times W_s$ Fig. 4-3: Gráfico  $T_s \times W_s$  para um câmbio de 4 marchas

Se o critério de projeto for maximizar a potência de saída, é desejável que a curva de torque de saída tangencie a hipérbole de potência máxima disponível do motor, como mostrado na Fig. 4-4b. Assim, numa transmissão por caixa de câmbio, a área hachurada da Fig. 4-3 indica a potência perdida, e pode ser usada para analisar o desempenho e comparar com outras transmissões.

Se nesta transmissão for utilizada, ao invés de uma caixa de câmbio, uma CVT ideal, que opere com uma relação constante até a rotação de potência máxima do motor, e depois varie sua relação de redução, mantendo a rotação do motor constante (Fig. 4-4a), o gráfico de saída da transmissão será o mostrado na Fig. 4-4b. Pode-se ver que neste caso a potência perdida é muito menor que numa caixa de câmbio.

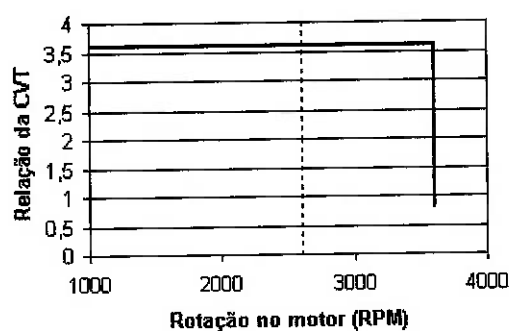
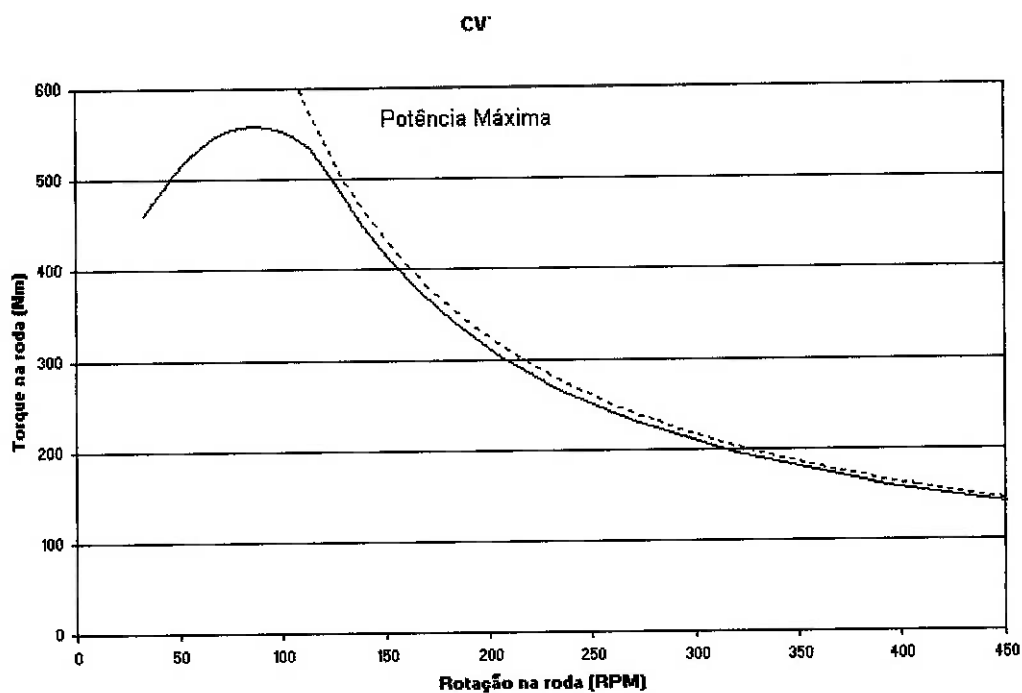


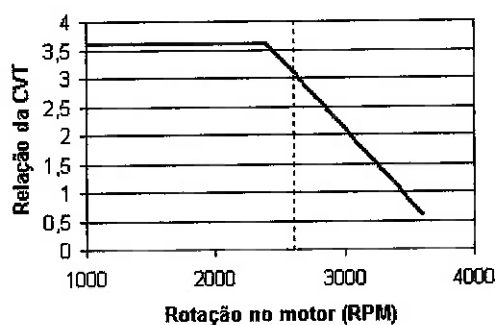
Fig. 4-4a: Gráfico  $i \times \omega_e$  para uma CVT ideal





**Fig. 4-4b: Gráfico  $T_s \times W_s$  para a situação da figura 4-4a**

Mas essa operação ideal não é necessariamente conseguida com a CVT. Em geral, sua abertura varia com a rotação do motor. Assim sendo, um dos fatores da calibração da CVT é ajustar o ponto de início de sua abertura. Supondo por exemplo que a relação de redução varie linearmente como mostrado na Fig. 4-5a, a saída da transmissão será a mostrada na Fig. 4-5b.



**Fig. 4-5a: Gráfico  $i \times W_e$  para uma CVT qualquer**

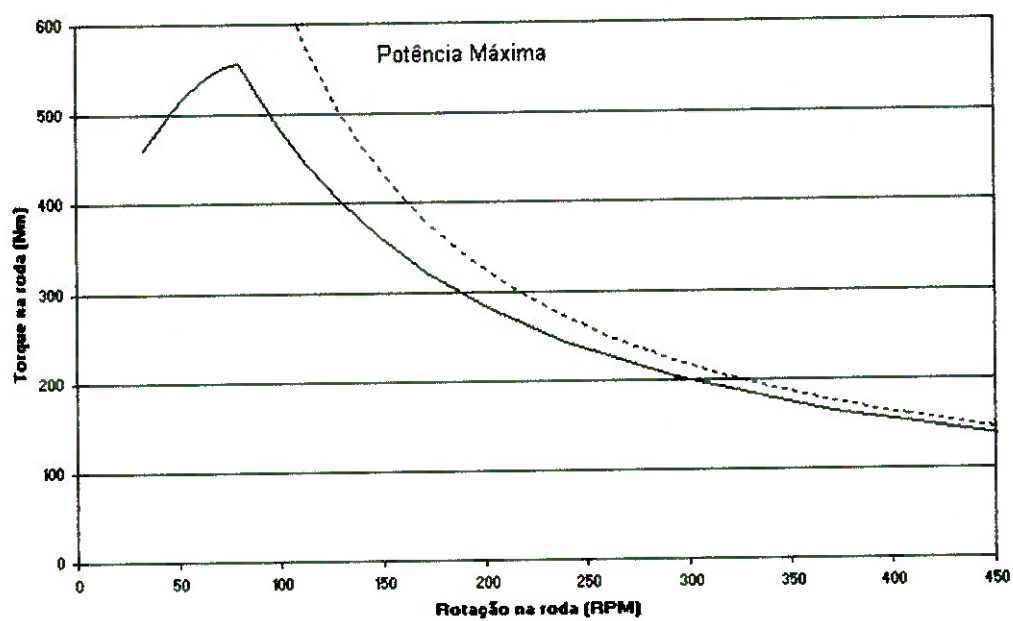


Fig. 4-5b: Gráfico  $T_s \times W_s$  para a situação da figura 4-5a

Pode-se notar claramente a potência perdida.

## 5 BANCADA DE TESTES

A bancada de testes tem como objetivo principal analisar a influência das diversas combinações de massas e molas descritas no Item 3 no funcionamento da CVT. Como objetivos secundários, é possível analisar a influência de fatores construtivos no desempenho, como por exemplo, a influência do desalinhamento entre as polias, da angulação entre elas ou da variação da distância entre-centros dos eixos; a influência do escorregamento da correia, que dá o rendimento da transmissão da CVT; e também a influência de fatores externos, como impurezas na correia.

Cada combinação de calibração gera um gráfico de torque x rotação de saída. A análise destes gráficos permite um estudo qualitativo sobre a influência de cada componente no mecanismo.



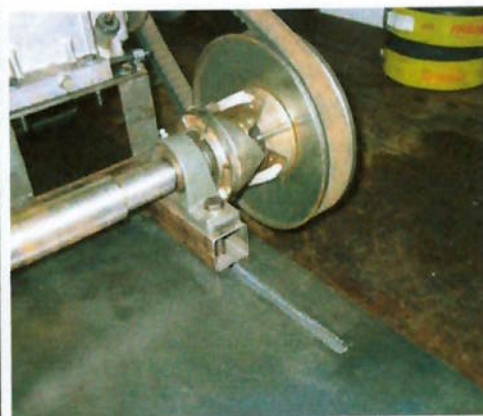
**Fig. 5-0: Bancada de testes**

### 5.1 Componentes da bancada

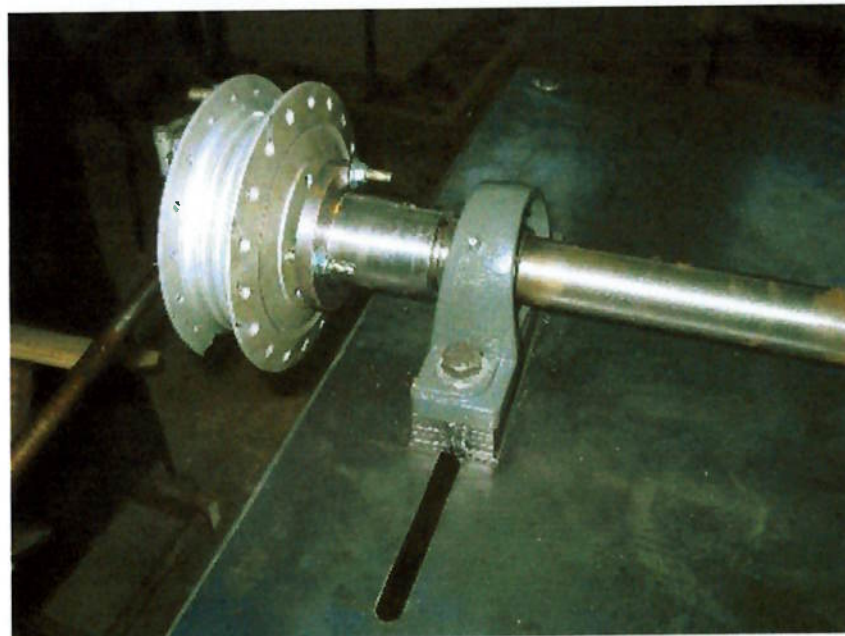
Além da base, a bancada é composta por uma chapa de aço, onde são apoiados todos os equipamentos. Entre a chapa e a base foram colocados coxins para evitar vibrações, como mostra a Fig.5-1. A chapa também foi fresada para permitir o ajuste de entre-centros das polias e alinhamento dos mancais. Esse detalhe pode ser observado na Fig.5-2 e Fig.5-3.



**Fig. 5-1: Coxins**

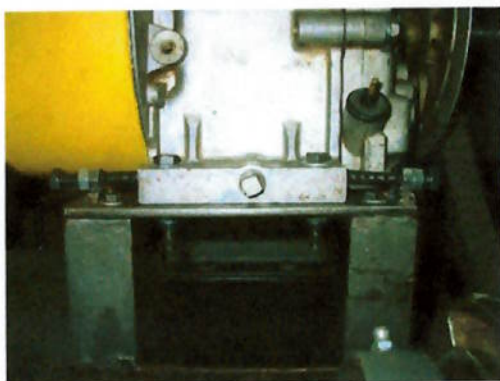


**Fig. 5-2: Rasgo fresado I**



**Fig. 5-3: Rasgo fresado II**

Para acomodar o motor, foi construído um berço metálico que permite a regulagem da distância do motor à borda da bancada. Esse ajuste é feito com o aperto ou desaperto de 4 parafusos conforme a Fig. 5-4 e Fig. 5-5.

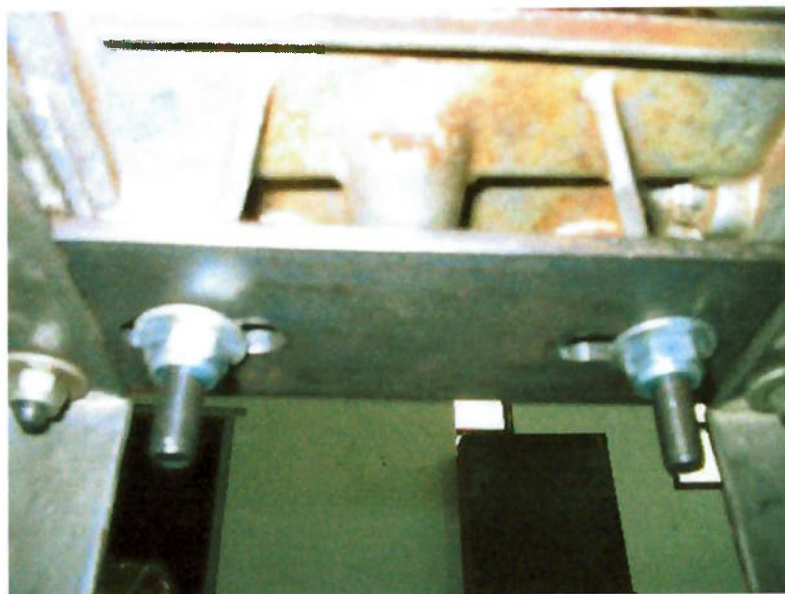


**Fig. 5-4: Parafusos de regulagem**



**Fig. 5-5: Detalhe da Fig. 5-4**

Para permitir esse ajuste as chapas também foram fresadas como mostra a Fig. 5-6. Também pode-se utilizar coxins na fixação do motor ao berço. Para trocar o motor, é preciso apenas construir outro berço, não necessitando nenhuma mudança na base ou chapa.



**Fig. 5-6: Berço do motor fresado**



## 5.2 Funcionamento

O motor aciona a polia motora da CVT, e na polia movida está preso um freio em balanço, com um braço que está apoiado numa balança. São medidos as rotações do motor e da polia movida, e o torque na saída. As rotações são medidas com tacômetros (Fig. 5-7 e Fig. 5-8) e o torque na saída é medido pela força na balança multiplicada pelo braço de freio, enquanto o torque do motor pode ser obtido através do seu próprio gráfico de torque. Estas medições são realizadas para diferentes posições do freio, e para cada leitura são anotados esses quatro valores, os dois torques e as duas rotações.



Fig. 5-7: Tacômetro I



Fig. 5-8: Tacômetro II

A partir destes dados é possível levantar os gráficos de torque de saída da transmissão, como o da Fig. 4-4b. Também podem ser obtidos outros gráficos, como o da relação de redução e da eficiência em função da rotação do motor. Para facilitar a manipulação destes dados foi criada uma planilha eletrônica (Item 7.3), que realiza todos os cálculos necessários e gera os gráficos automaticamente.

Após o levantamento dos dados pode ser feita a alteração desejada na CVT e se realizar novas medições, obtendo-se novos gráficos para comparação. Assim, cada condição de operação terá seus gráficos, que serão usados como critério para o projetista da transmissão.

## **6 SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS**

### **6.1 Escolha do motor**

A primeira escolha a ser feita é o tipo e motor: elétrico ou à combustão interna. Devido ao alto nível de ruído e a existência de emissões de poluentes a primeira escolha foi do motor elétrico. Isso não descartou a previsão do acoplamento do próprio motor do Mini-Baja (combustão) na bancada, pois eventualmente pode-se desejar conhecer o funcionamento da CVT neste motor.

Contudo, para efeito exclusivo com os ensaios da CVT pode ser utilizado um motor elétrico, com vantagens significativas em relação a ruídos e emissões, principalmente por que a bancada estará localizada num ambiente fechado, eliminando a necessidade de dutos para escape dos gases. Outra vantagem seria a eliminação dos riscos referentes à armazenagem e manuseio de combustíveis inflamáveis.

Feito isso, optamos também pelo motor elétrico trifásico, sendo a principal razão o custo do equipamento. O mais indicado é o motor de 2 pólos, que alcança velocidade compatível com motor original do Mini Baja (em torno de 3600 rpm).

Com o catálogo da Siemens de Motores Trifásicos de Baixa Tensão de 2004, foi escolhido o motor código 1LA7131-2EA9, com 10 CV. Sendo levado em consideração a faixa de rotação da CVT e a potência e torque do motor utilizado nas competições de Mini-Baja.

Convém dizer que até a conclusão deste trabalho não houve a doação deste motor, mas prevendo uma doação futura a bancada será dimensionada e contará com uma possível utilização desse motor, além do motor de combustão. Por isso a mesa e seus pertences foram dimensionados sempre levando em conta os dois tipos de motor, podendo ser adaptada a qualquer momento.



## 6.2 Freio Dinamométrico ou Dinamômetro

Para uma determinada condição de funcionamento de um motor (elétrico DC ou combustão interna), ele desenvolverá um certo torque, e se fosse desprezada as forças de atrito, não havendo nenhuma resistência no eixo, a rotação do eixo tenderia ao infinito, já que nada equilibra o torque do motor. Para medir o torque numa dada rotação, é preciso equilibrar o eixo nesta rotação. Isto é feito por meio de um momento externo resistente.

Este momento externo é conseguido com freios dinamométricos ou dinamômetros. O dinamômetro causa um momento resistente no eixo e sua reação pode ser propagada por um braço de tamanho conhecido até um dispositivo que mede força (balança, célula de carga, etc).

Então conhecendo-se o braço ( $b$ ) e a força ( $F$ ), temos o torque ( $T$ ) para uma determinada rotação:

$$T = F \times b \quad (6.1)$$

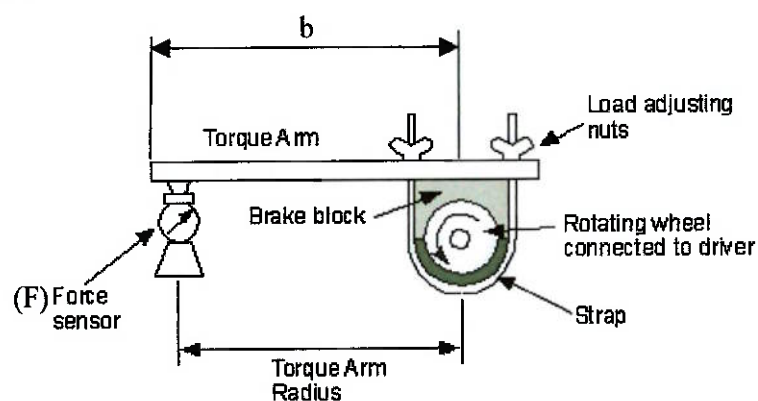


Fig. 6-1: Freio dinamométrico

E ainda, multiplicando esse torque (eq.(6.1)) pela rotação  $\omega$  (rad/s), encontramos a potência ( $P_e$ ) no eixo:

$$P_e = T \times \omega \quad (6.2)$$

Existem vários tipos de dinamômetros. O princípio de funcionamento é o mesmo explicado acima (e esse princípio será mais bem desenvolvido no item 6.2.4 **Freio de Prony**), o que varia, são as formas de equilibrar o torque do motor. Nos itens seguintes será dada uma breve explicação sobre alguns deles.

### 6.2.1 Dinamômetro Hidráulico

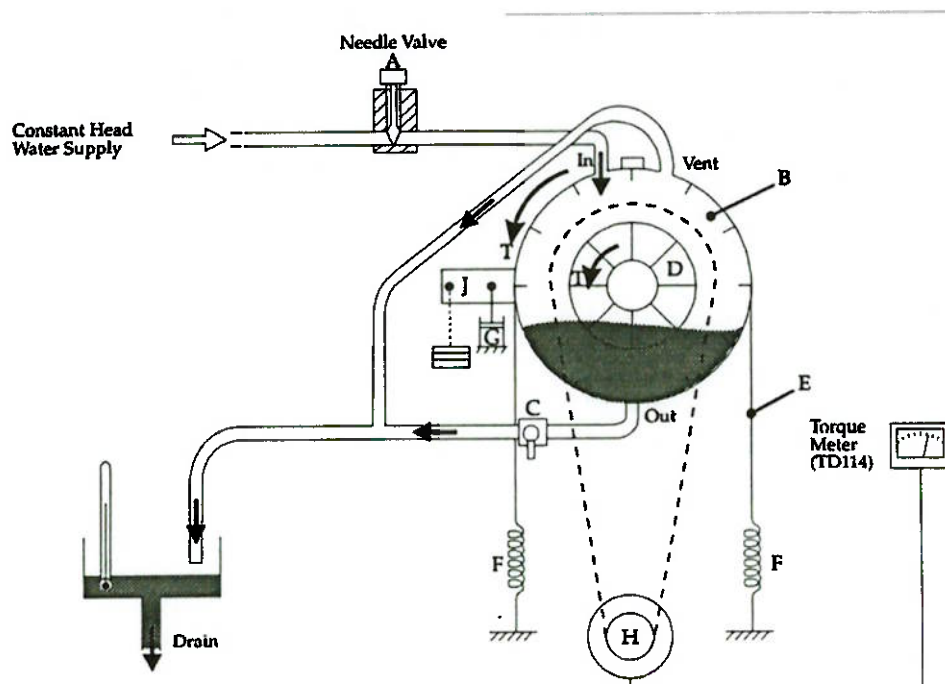


TFS-120

Este tipo de dinamômetro é constituído de uma carcaça metálica estanque apoiada em dois mancais coaxiais com os mancais do eixo. Isto permite que a carcaça fique livre para oscilar, sendo equilibrada pelo braço no apoio da balança. No eixo está engastado um rotor provido de uma série de conchas em ambas as faces laterais do mesmo. Na face interna da carcaça há uma série de conchas iguais e de oposição às do rotor. As conchas do rotor estão viradas para o sentido da rotação e as da carcaça no sentido oposto.

O espaço interno é cheio de água. Em funcionamento, o rotor impele água obliquamente, segundo a resultante da rotação do rotor e do movimento radial da água dentro da concha do rotor. A água entra na concha da carcaça tentando arrastá-la no sentido da rotação. Como a carcaça está presa, a água entra em violento movimento turbulento, transformando sua energia cinética em calor e é conduzida pelo formato da concha da carcaça de volta ao rotor na parte da concha mais próxima do eixo, então o ciclo se repete.

Para remover o calor assim gerado, a água quente é continuamente drenada pela parte superior da carcaça e a água fria de reposição é introduzida através de pequenos orifícios nas conchas do estator. O fluxo de água de reposição não deve ser obstruído, mas o fluxo de saída é que deve ter uma válvula de regulagem de fluxo para manter uma temperatura adequada da água dentro do dinamômetro, como indicado na Fig.6-2.



**Fig. 6-2: Dinamômetro Hidráulico**

Ambos os fluxos de água são conduzidos por mangueiras flexíveis para não afetar o equilíbrio da carcaça oscilante.

Permitindo a entrada de mais ou menos água na carcaça regula-se a força resistiva e assim a rotação do motor.

### 6.2.2 Dinamômetro de Correntes Parasitas



EA-10-L

Este tipo de dinamômetro tem o rotor em forma de uma grande engrenagem feita de material de alta permeabilidade magnética e o mesmo material em dois anéis solidários com o estator e separados por pequeno espaço livre do rotor. No centro do estator existe uma bobina que é alimentada por corrente contínua.

Quando ligado, a bobina gera um campo magnético que é concentrado nos “dentes” do rotor. Quando o rotor se move gera correntes parasitas nos anéis, que com isto se aquecem.

O calor gerado é absorvido pelo estator e removido deste pelo sistema adequado de resfriamento, a água. Este dinamômetro é bastante simples e regulado pela intensidade da corrente que passa pela bobina e permite a construção de dinamômetros de grande porte.

### 6.2.3 Dinamômetro de Corrente Contínua

Este é o dinamômetro mais indicado para sérios trabalhos de pesquisa, já que, além de extremamente sensível, pode assumir configuração ativa, virando o motor desligado para medir as resistências passivas do mesmo, conhecidas coletivamente como potência de atrito.

Este é simplesmente uma máquina elétrica de corrente contínua, que tanto pode funcionar como motor ou como gerador. A sua carcaça é suspensa em rolamentos coaxiais, os quais em modelos mais sofisticados estão suspensos em outros rolamentos, e o anel intermediário gira a velocidade constante para eliminar qualquer resistência passiva na oscilação do dinamômetro.

O campo deste dinamômetro é de oscilação independente e variando a alimentação do campo do rotor, consegue-se ampla gama de velocidades. Em geral, a variação da ação do freio é feita por resistências variáveis, isto é, por um reostato.

#### 6.2.4 Freio de Prony



Devido ao alto custo, maior necessidade de equipamentos auxiliares (rede de água, fonte de corrente contínua independente, etc) dos outros dinamômetros, acrescido da relativa baixa potência, baixo tempo de ensaio e simplicidade, foi optado pelo uso deste tipo de dinamômetro.

Este dinamômetro, é montado um freio de sapatas sobre uma polia solidária ao eixo do motor. Associado as sapatas está um braço que força a balança. Ao apertar o freio sobre a polia, aplica-se uma força de atrito sobre a mesma através da qual pode-se atingir uma situação de equilíbrio dinâmico, tal que  $\omega$  é constante.

Nesta situação, a solicitação motora  $T$  deve-se equilibrar com a solicitação resistente  $f_{at} \cdot r$ , já que não há aceleração angular, portanto similarmente a eq.(6.1):

$$T = f_{at} \times r \quad (6.3)$$

sendo  $f_{at}$  a força de atrito e  $r$  o raio da polia.

Pelo “Princípio da Ação e Reação” a força de atrito  $f_{at}$  transmite-se em sentido contrário no freio, que tenderia a girar no mesmo sentido do rotor, não fosse o apoio na balança que o mantém em equilíbrio estático. Logo:

$$f_{at} \times r = F \times b \quad (6.4)$$

onde  $F$  é a ação da balança no apoio do freio, que por outro lado corresponde à leitura da mesma.

Assim chegamos novamente à eq.(6.1):  $T = F \times b$ . Para o cálculo da potência usamos a eq.(6.2):  $P_e = T \times \omega$ , com  $\omega$  a rotação em rad/s dado por:

$$\omega = 2 \times \pi \times n \quad (6.5)$$

sendo  $n$  a rotação em rpm.

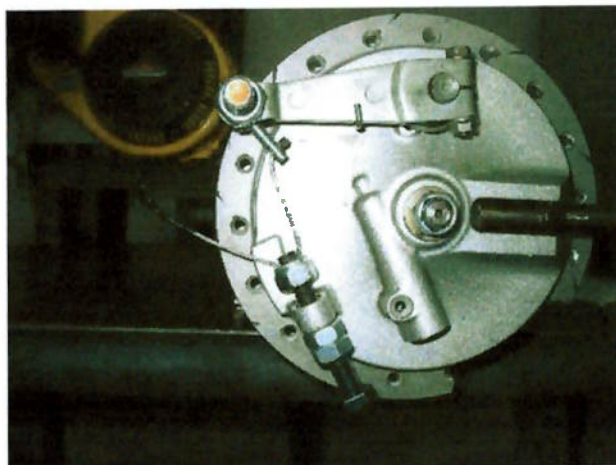
No caso em questão, será medida a força na balança em kgf e a rotação em rpm. Para obter o torque em Nm, será usada a seguinte equação:

$$T(Nm) = 9,8 \times F(kgf) \times b(m) \quad (6.6)$$

e a potência em kW:

$$P_e(kW) = \frac{T(Nm) \times 2 \times \pi \times n(rpm)}{1000} \quad (6.7)$$

Como Freio de Prony será adaptado um freio de sapatas dianteiro da Moto modelo CG - KS, da fabricante Honda, facilmente encontrado no mercado de peças de reposição. A peça é mostrada na Fig. 6-3.



**Fig. 6-3: Freio**

### 6.3 Outras Peças

#### 6.3.1 Eixos

Com essa configuração da bancada, temos apenas dois eixos, o do motor, que não necessita de nenhuma adaptação para receber a CVT e o eixo movido que foi projetado para ligar a polia movida da CVT ao freio de Prony.

O dimensionamento do eixo foi feito utilizando o critério de Von Mises e considerando apenas esforços de momento fletor e torsor. A Fig.6-4 mostra como foram consideradas as forças.

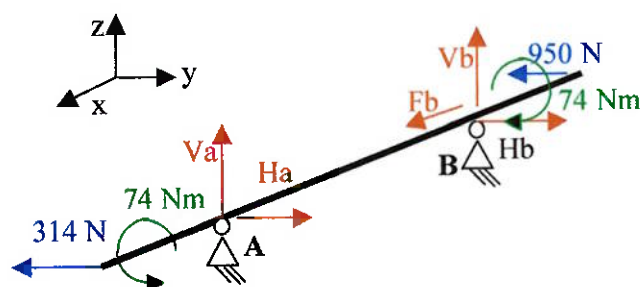


Fig. 6-4: Forças no eixo movido

As forças em azul foram obtidas transferindo o torque para o raio externo das polias, o torque em verde é o torque máximo do motor elétrico escolhido anteriormente (normalmente maior do que o do motor de combustão interna) multiplicado pela máxima relação de redução da CVT.

A distância do ponto A até o extremo inferior do eixo é de 116 mm, entre o ponto A e B temos 600 mm e a distância entre o ponto B e o extremo superior do eixo é de 80 mm. Igualando a somatória de forças nas direções x, y e z a zero, e da somatória de momentos em B (eixos x e z) obtemos:

$$Fb = 0$$

$$Va = 0$$

$$Vb = 0$$

$$Ha = 248N$$

$$Hb = 1016N$$

Construindo o diagrama de momento, temos  $M_x^{max} = 70Nm$  e  $M_z^{max} = 0Nm$ . Escolhendo o material do eixo com aço SAE 1045 trefilado ( $S_y = 530 \text{ MPa}$ ) e utilizando a fórmula:

$$d \geq \sqrt{\frac{\sqrt{M^2 + (\alpha T)^2}}{0,1S_y}} \quad (6.8)$$

sendo  $d$  o diâmetro do eixo,  $M$  o momento fletor,  $T$  o momento torsor,  $S_y$  a tensão de escoamento do aço e  $\alpha = 1/1,155$  (Von Mises), encontramos  $d = 13 \text{ mm}$ .

O tamanho da chaveta da polia movida já é determinado pelo catálogo da CVT e vale 100mm. Agora pode ser calculado o tamanho da chaveta do flange que fixa o freio pela fórmula:

$$L = \frac{4T}{b.d.S_y} \quad (6.9)$$

sendo  $L$  o comprimento da chaveta e  $b$  a largura da chaveta.

Assim obtemos  $L = 4 \text{ mm}$  para  $b = 8 \text{ mm}$  (foi escolhido esta largura de chaveta, pois já existia o material disponível para fabricação da mesma).



### 6.3.2 Mancais

Foram utilizados mancais da marca NSK devido a seu acordo de patrocínio com a equipe Poli Mini Baja. Para o cálculo da capacidade do rolamento será considerado  $H$  (potência) igual a 7,5 kW e vida útil do rolamento 8000 horas. Segundo manual da NSK, temos as expressões:

$$\begin{aligned}
 M &= 9550000H / n \dots\dots\dots (N.mm) \\
 P_k &= M / r \\
 K_b &= F_r = f_b \cdot P_k \\
 f_h &= f_n \cdot \frac{C}{P}
 \end{aligned}
 \tag{6.10}$$

sendo  $M$ , o torque atuante na polia,  $P_k$  a força efetiva de acionamento da correia,  $n$  a rotação e  $r$  o raio da polia. Considerando  $f_b=2,5$  (constante de correia) e  $f_h$  e  $f_n$  constante de vida do rolamento (obtidos através de 8000 horas de uso).

Então das expressões acima, obtemos um valor de Capacidade de Carga Básica do rolamento de 3500 N. Assim por requisitos dimensionas das polias e eixos e observando a carga máxima acima, escolhemos os rolamentos correspondentes (tipo base) UCP 205, com diâmetro interno de 25 mm e UCP 208, com diâmetro interno de 40 mm.

### 6.3.3 Mesa

A mesa foi construída com uma estrutura tubular (tubos de 1" de diâmetro com 1,25 mm de espessura) e uma chapa de aço SAE 1020, com 3,8 mm de espessura, fixa no topo por parafusos (M10), para acomodar os equipamentos, como mostra a Fig.6-5.



Fig. 6-5: Mesa

## 7 PLANILHA DE CÁLCULOS

### 7.1 Levantamento dos dados

As medições são feitas da seguinte maneira: Com o freio totalmente aberto, mede-se a rotação do motor, a rotação da polia movida e a carga aplicada na balança, para se calcular o torque na saída. O torque do motor é obtido diretamente de sua curva de torque. Em seguida são feitas sucessivas medições, cada uma com o freio um pouco mais apertado, até o motor não conseguir mais suportar o carregamento.

### 7.2 Cálculos

Os dados obtidos com o ensaio devem ser manipulados de forma a se apresentarem de maneira conveniente para posterior estudo e análise. As medições de torque e rotação são suficientes para se obter a curva de torque x rotação da saída. Porém com as informações obtidas é possível se obter outros dados, como por exemplo, o rendimento da correia em função da relação da CVT, ou a potência real transmitida.

Para o cálculo do rendimento é necessário estabelecer duas relações de transmissão diferentes:

Seja  $i_w$  a relação entre as rotações, ou seja:  $i_w = \frac{w_e}{w_s}$ , onde  $w_e$  e  $w_s$  são as rotações de entrada e saída, respectivamente; e  $i_T$  a relação entre os torques:  $i_T = \frac{T_s}{T_e}$ , onde  $T_s$  e  $T_e$  são os torques de saída e entrada, respectivamente. Seja também  $\eta \leq 1$  a eficiência da transmissão,  $P_s = \eta P_e$ , onde  $P_e$  é a potência de entrada e  $P_s$  a potência de saída. Com isso, temos que:

$$Pe = we \times Te$$

$$Ps = ws \times Ts$$

$$Ps = \eta \times Pe \Rightarrow ws \times Ts = \eta \times we \times Te$$

$$\eta = \frac{ws \times Ts}{we \times Te}$$

$$\eta = \frac{i_r}{i_w}$$

Assim é possível calcular o rendimento. Podemos verificar também que  $i_r \leq i_w$ , ou seja, sempre haverá um escorregamento da correia, pois o valor em que a rotação é dividida é maior do que o valor pelo qual o torque é amplificado.

### 7.3 Planilha de cálculos

Para facilitar a manuseio de todos os dados, foi elaborada uma planilha eletrônica que recebe as medições realizadas e calcula os dados relevantes e gera automaticamente os gráficos necessários.

A entrada da tabela são os dados observados, além da tara da balança e do braço do dinamômetro. Em seguida é gerada uma tabela com os valores convertidos e outra com cálculos de relação de transmissão, rendimento e potência transmitida. A partir destas tabelas pode-se obter qualquer gráfico pretendido.

## 8 CONCLUSÃO

A grande “caixa preta” da Equipe Poli de Mini Baja, chamada CVT, agora pode ser estudada com mais clareza e os projetos de transmissões da Equipe podem ficar mais precisos. Com o protótipo da bancada construído, podem ser feitos diversos ensaios com o objetivo de entender melhor o funcionamento da CVT e o quanto estamos efetivamente transmitindo de torque através dela, lembrando que algumas curvas obtidas são relativas ao conjunto motor/CVT, e não exclusivamente da CVT.

Algumas sugestões para estes ensaios:

- Levantamento de curvas para o motor em cargas parciais, já que a literatura traz apenas curvas para carga total;
- Simulação com carga fixa e variando a abertura da borboleta do motor.

A qualidade maior dessa bancada é a versatilidade: ela pode ser adaptada a diversos motores sem precisar de muitas modificações. Existem diversos tipos de regulagens, como a distância entre-centros das polias da CVT, alinhamento do eixo movido em relação ao eixo motor e o alinhamento entre as polia motora e movida.

As substituições e adaptações na bancada sempre devem levar em conta os limites máximos de projeto: O torque no eixo não deve exceder 20Nm e sempre se deve observar os limites de operação da CVT testada.

A bancada também permite adaptações de telemetria, já existe um tacômetro digital para o motor do Mini Baja, também é possível a adaptação de uma célula de carga a mesa (disponibilizada pelo Professor Marcelo Alves), descartando o uso da balança na medição do torque.

Para o uso efetivo da bancada essa telemetria deve ser preparada para leitura de dados e regulagens à distância, para operação remota: Os cabos de regulação do freio e do acelerador podem ser esticados e os dados lidos com a telemetria; isso para

garantir a segurança do operador da bancada. Cabe ressaltar que é importante o uso de protetores auriculares, bem como utilizar a bancada em ambientes abertos, e sempre manter um extintor de incêndio próximo. É interessante também a colocação de um botão de parada de emergência do motor com fácil acesso.

As sapatas do freio da moto usado como dinamômetro são encontradas com facilidade para reposição. Além disso, pode ser substituído por um tambor com sapatas adaptadas, semelhantes ao Freio de Prony Original. Este freio deve ser refrigerado com um ventilador industrial, que garanta um fluxo contínuo de ar a uma velocidade alta (cerca de 80km/h), para que o aquecimento não influencie no fator de atrito das sapatas, e também para garantir que o aquecimento não danifique o equipamento inteiro. Se possível deve-se refrigerar o motor também, pois este estará operando em uma situação de alta carga.

Como sugestão para um melhor entendimento do mecanismo de funcionamento da CVT, pode-se fazer um modelo analítico que poderá ajudar a direcionar e reduzir o número de ensaios.

Apesar das dificuldades burocráticas para utilizar as máquinas do Departamento de Engenharia Mecatrônica, o PMR, sendo que o professor orientador deste trabalho pertence a outro departamento, o protótipo foi construído e a Equipe Poli de Mini Baja conta com a bancada para melhorar seus projetos.

Deixamos então um grande material e uma vasta possibilidade de continuação deste projeto, visando aperfeiçoar os conhecimentos técnicos sobre o funcionamento da CVT.

## 9 BIBLIOGRAFIA

1. Apostila Motores de Combustão Interna, Garcia, Oswaldo e Brunetti, Franco. 2ª Edição, 1992.
2. Apostila PMR-2731: Elementos de Máquina I.
3. Álgebra Linear, Mário Barone Jr. – 3ª Edição, 1988
4. Siemens Catalog DA 12 – 2004, DC Motors.
5. Catálogo de Rolamentos NSK, 1998.
6. <http://cvt.com.sapo.pt/hydrostatic/hydrostatic.htm> (30/10/2004)
7. <http://quatorrodas.abril.com.br> (20/09/2004)
8. [http://www.luk.de/english/Bibliothek/Download/k7/luk\\_k7\\_chap08.pdf](http://www.luk.de/english/Bibliothek/Download/k7/luk_k7_chap08.pdf) (25/05/2004)
9. [www.siemens.com.br](http://www.siemens.com.br) (20/04/2004)
10. [www.tokyometer.co.jp/ product1/cat09e.htm](http://www.tokyometer.co.jp/product1/cat09e.htm) (23/04/2004)
11. <http://www.test-gmbh.de/spanisch/sdynamo.html> (24/04/2004)
12. <http://www.dfc.icae.upco.es/apoyo/mcia-potencia.pdf> (24/04/2004)
13. <http://www.global.estgp.pt/engenharia/Alunos/eSebentas/Tutoriais/ Motores - Bancada de Ensaios.doc> – (24/04/2004)

**APÊNDICE A – PLANILHA DE CUSTOS DA BANCADA**

<b>Material</b>	<b>Custo</b>
Chapa de aço 1000mm x 700mm	R\$100,00
Eixo 1000mm x $\Phi$ 50mm	R\$70,00
Flange 100mm x $\Phi$ 120mm	R\$20,00
Freio de moto (Honda CG)	R\$70,00
Parafusos (aço 8.8)	R\$27,00
Coxins e outras borrachas	R\$54,00
Usinagem externa (chavetar flange)	R\$30,00
Rolamentos	Doação
Motor	Empréstimo da equipe de Mini-Baja
CVT	Empréstimo da equipe de Mini-Baja



## APÊNDICE B – MANUAL DE INSTRUÇÕES DA MESA

Como utilizar a bancada:

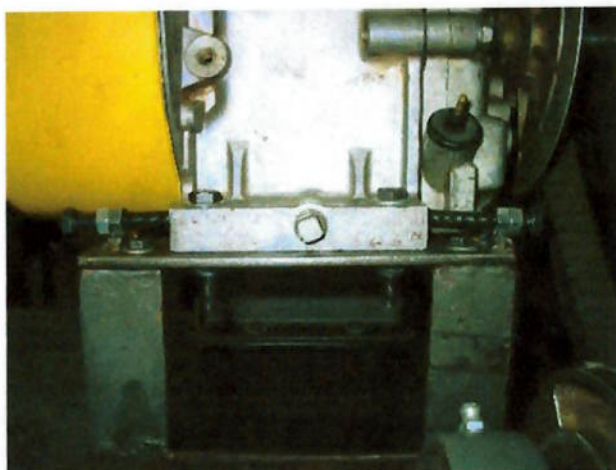
Primeiramente, deve-se colocar a bancada em um ambiente externo, pois o motor em uso é a combustão. Em seguida deve-se nivelar a mesa e a balança para que estejam num plano.

Em seguida deve-se montar o experimento desejado: Coloca-se a CVT no motor e no eixo do freio (Fig. A), em seguida deve ser feito todos os alinhamentos desejados, como uma eventual angulação, um desalinhamento ou uma variação no entre-centros.



**Fig. A: Alinhamento da CVT**

O ajuste de alinhamento é feito pelos parafusos da base do motor (Fig. B) e o entre-centros e a angulação desejada é feito pelos parafusos que prendem o mancal à mesa (Fig. C). Antes de iniciar ainda deve-se checar se todos os parafusos estão bem apertados.

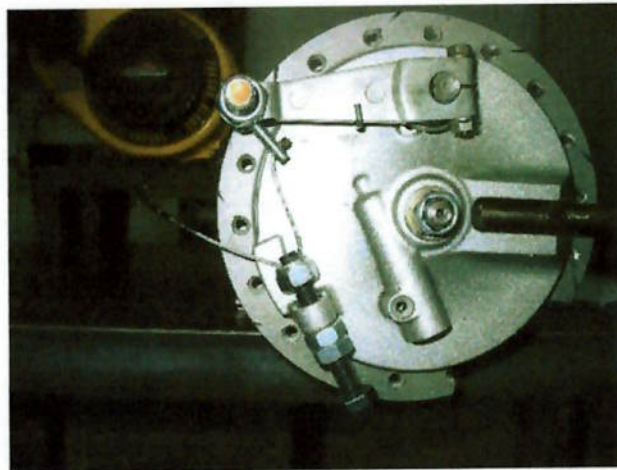


**Fig. B: Parafusos de regulagem do alinhamento**



**Fig. C: Parafusos de regulagem do entre-centros e angulação.**

Para iniciar o testes primeiramente deve-se anotar o braço utilizado no dinamômetro e a tara da balança. É recomendável a utilização de protetor auricular devido ao alto nível de ruído do motor a combustão. Em seguida deve-se checar se o freio está totalmente aberto. O ajuste do freio é feito pelo parafuso preso na carcaça externa (Fig. D).



**Fig. D: Parafuso de regulagem do freio**

Depois de todas as verificações, o motor pode ser ligado. Para cada anotação, deve-se medir a rotação do motor e da polia movida da CVT, utilizando um tacômetro, e ainda o peso lido na balança. Em seguida, deve-se apertar um pouco o freio e fazer nova medição. Este procedimento deve ser repetido até o motor não suportar a carga. Com estes valores em mãos, basta colocar os valores na planilha fornecida, juntamente com dados de torque do motor.

# APÊNDICE C – GUIA DO FABRICANTE DA CVT COMET

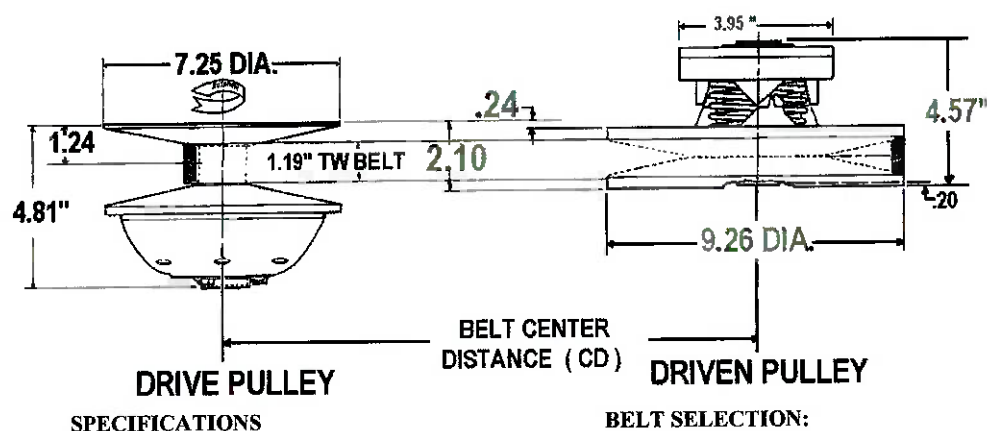
QDS-Mini-Baja "F"

02/02



## **MODEL 780** **AUTOMATIC** **TORQUE CONVERTER**

### LAYOUT DIMENSIONS:



<b>MAX ENGINE RATING:</b>	<b>MAX RPM:</b>	<b>PART NUMBER</b>
<b>BELT C.D.</b>		
2-Cycle - 30 H.P.	10,000	300780C
(704054)	8.59"	
4-Cycle - 16 H.P.	5,500	300634C
(704055)	9.62"	
(704060)	10.73"	300637C
<b>BORE SIZES</b>	<b>SPEC. NO.</b>	300638C
(704061)	11.08"	
DRIVE - 1"	302601C	
DRIVEN - 3/4"	301789C	

**PULLEY RATIOS:**  
**APPLIES TO MINI**  
 LOW - 3.71:1 (SHOWN ABOVE)  
**ONLY.**  
 HIGH - .69:1  
**NET\***

**DISCOUNTED NET**

**BAJA PROJECT**

**LIST**

OVERALL - 5.38:1  
\$ 155.00

**DRIVES** : \$260.00

**DRIVENS**: 225.00

145.00

**BELTS** : 75.00

45.00

**\*SHIPPING** : "PREPAID" (UPS OR PARCEL POST) OR  
"FRT. COLLECT" (AIR FRT) .

**NOTE: NEVER OPERATE A TORQUE CONVERTER WITHOUT A SUITABLE  
SAFETY SHIELD.**

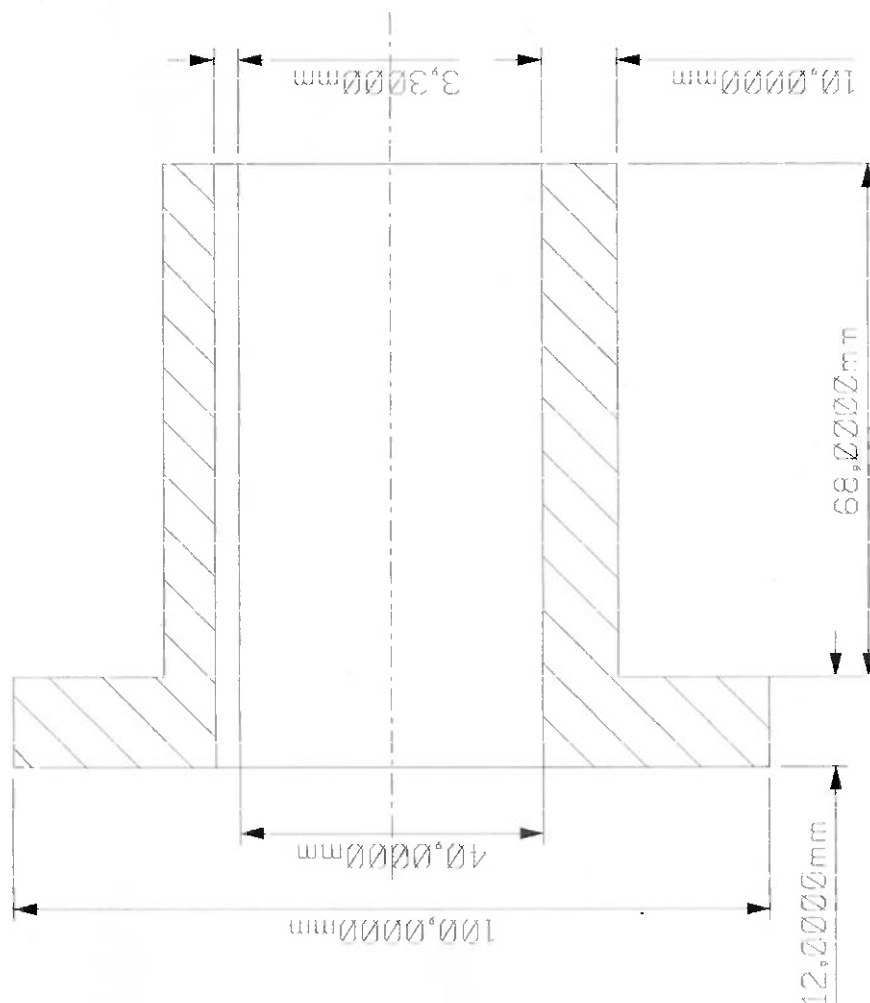
**NOTE: DO NOT RUN AN ENGINE EQUIPPED WITH A DRIVE PULLEY IF  
THE BELT IS NOT ENGAGED WITH THE DRIVEN PULLEY.**

**DISTRIBUTED**

**BY:**

**QDS P.O. BOX 6910 , ALHAMBRA , CALIFORNIA 91802 TEL. ( 626 ) 293-5770 / FAX. ( 626 ) 281-3392**

## **APÊNDICE D – DESENHOS DE FABRICAÇÃO**



Tol. Geral:  $\pm 0,1$

Furc:  $\pm 0,010$

Material: Aço SAE 1020

Chaveta:  $b=8\text{mm}$

3312786 | Gustavo Nicolosi | Prof. M. Alves

PME 2599: Projeto Integrado II

EPUSP

1:1

Flange eixo movido

10/10/2004