



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE FÍSICA GLEB WATAGHIN (IFGW)

F609 A – Tópicos de Ensino de Física

Aluno: Anderson Rodrigo de Freitas 070134

*Orientador: Pedro Raggio

*Coordenador: José J. Lunazzi



2º Semestre de 2009

“FREIO DE PRONY”

09/12/2009

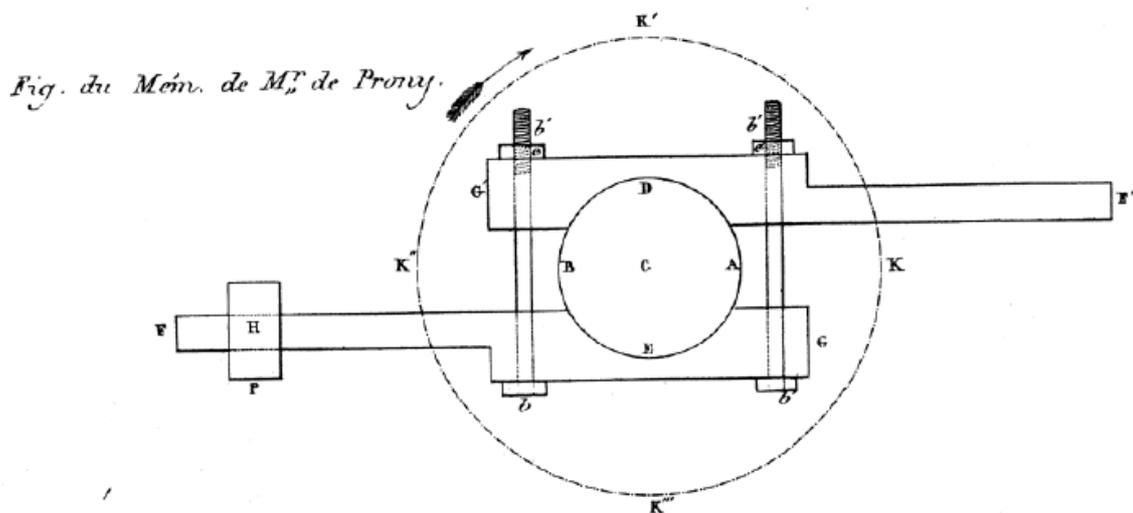
I. O FREIO DE PRONY (Resenha Histórica)

É o dispositivo mais antigo, utilizado até os dias de hoje para medir a potência do motor, é constituído por um volante circundado por uma cinta conectada a um braço cuja extremidade se apóia sobre a plataforma de uma balança. O volante acionado pelo motor tem o seu movimento restringido pela pressão aplicada à cinta, que transmite o esforço ao braço apoiado sobre a balança. A partir das leituras da balança, calcula-se o esforço despendido pelo motor. Esse dispositivo é conhecido como FREIO DE PRONY.

*Resenha História:



Gaspard Clair François Marie Riche de Prony



Desenho apresentado por Prony numa Comunicação à Academia de Ciências em 1821



Gaspard Riche de Prony (1755–1839)

Gaspard Riche de Prony nasceu em 1755 e faleceu em 1839. Frequentou o curso de Engenharia da École de Ponts e Chaussées. Durante a sua vida estudou e desenvolveu vários métodos ligados à Mecânica das Estruturas. Publicou um livro sobre A Nova Arquitetura Hidráulica. Atingiu grande fama - sendo considerado a personificação da arte do engenheiro - tendo aconselhado Napoleão Bonaparte em várias e grandes Obras de Construção. Inventou o freio em 1821 como um instrumento capaz de “medir o efeito dinâmico das máquinas de rotação”.

O Freio de Prony é um instrumento que consiste em dois blocos de madeira (cepos) [G; G'] que circundam grande parte da periferia de um tambor [A, D, B, E] que está solidário com o veio do motor. A cada ceppo que está ligado uma barra [G'-F'] e [G, F] que terá como função de alavanca. Os cepos podem ser apertado em torno do tambor por ação de parafusos [b,b'] com porcas de orelha.

A potência do motor é medida convertendo todo o seu trabalho em calor, por meio de atrito do tambor em movimento rotativo sobre os cepos de madeira. O calor produzido é retirado por meio de um sistema refrigerador que, habitualmente, consiste num caudal de água que envolve o tambor (interiormente).

São necessários muito cuidados durante o funcionamento do freio de Prony, pois há tendência para o freio acompanhar o movimento do tambor ou da água correr para fora do tambor (encharcando o operador!)

Também são necessários cuidados durante o ato de medida das grandezas, porque, no caso dos motores elétricos, quando o sistema está em equilíbrio, simultaneamente, têm de ser lidos os valores da tensão, da intensidade de corrente, e da potência, juntamente com o valor da velocidade de rotação do tambor.

A potência mecânica será dada por:

$$\text{Pot} = \omega \cdot T = 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{n}{60}\right) \cdot (L \cdot P)$$

$$\text{Pot} = \left[2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{n}{60}\right) \cdot L\right] \cdot P$$

$$[\text{W}; (\text{rot} / \text{min}), \text{ m}, \text{ N}]$$

Ao longo dos séculos foram introduzidas várias modificações engenhosas ao freio de Prony, como a construção com uma única barra, como comprimento fixo.

Como foi mencionado na resenha histórica, o Freio inventado por Prony, difere-se um pouco do qual apresentará este projeto. Um dos aperfeiçoamentos feitos no freio foi a utilização de uma única barra, a qual será fixada em um volante ligado junto ao motor que desejamos descobrir a potência. Essa barra será chamada daqui pra frente de 'Braço', o qual, após ser acionado o motor, irá desenvolver uma força que será mostrada em uma balança de precisão. Este dispositivo serve para calcular a potência de motores PEQUENOS.

II. Desenvolvimento do projeto

- **Importância didática do trabalho:**

Potência é um assunto muito difundido nos materiais de Ensino médio. Exercícios que trabalham com potência de motores elétricos aparecem com alta frequência em provas de vestibular. Junto com essa nuvem teórica a respeito de potência, fica faltando uma análise prática, um experimento que demonstre, de uma maneira razoavelmente fácil, como é determinada a Potência de um Motor Elétrico.

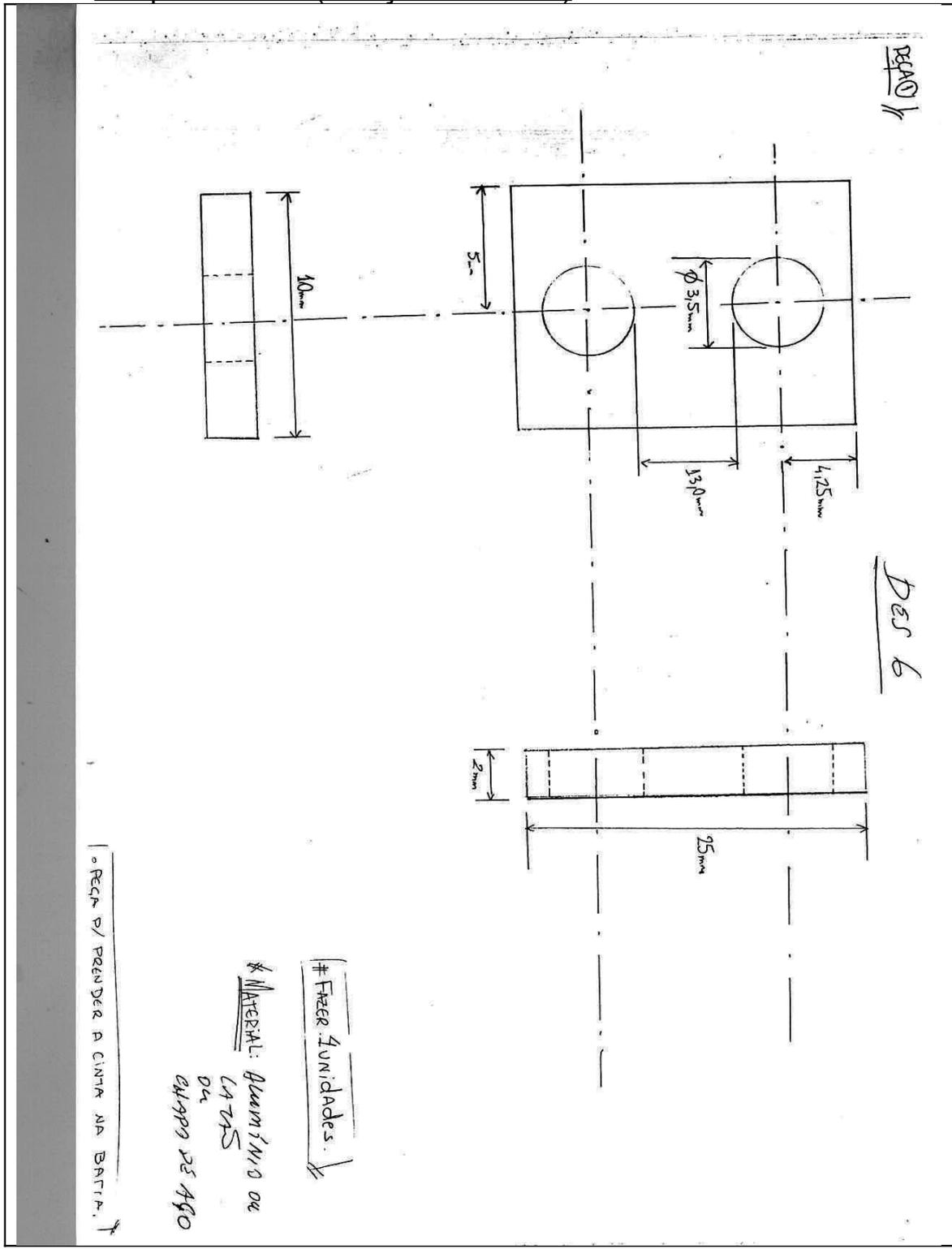
- **Lista de materiais:**

1. Motor elétrico de 9V – DC (diâmetro eixo = 2mm)
2. Volante de Latão (Diâmetro = 50mm)
3. 2 Blocos de Plástico (Fixação do motor)
4. Barra de alumínio (12,7mm x 12,7mm)
5. Balança de precisão
6. Voltímetro e Amperímetro
7. Fonte de Tensão Regulável (0 - 15V)
8. Estroboscópio
9. Cinta de tecido áspero
10. Parafusos, porcas e ruelas (*de acordo com os desenhos técnicos)
11. Chapa Metálica

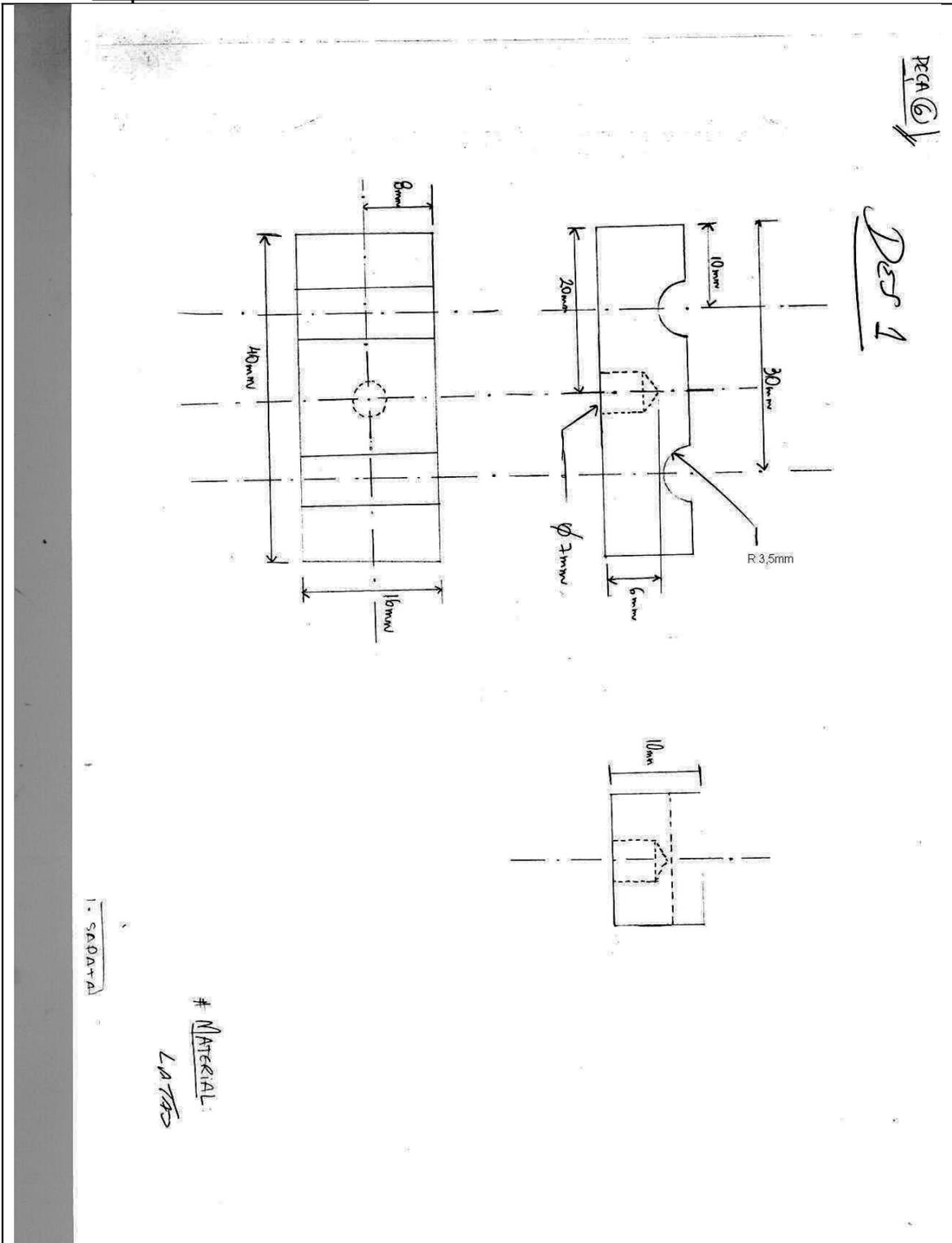
Alguns materiais da lista não apresentam as dimensões especificadas. Para obter as dimensões basta analisar os desenhos técnicos expostos a seguir.

III. DESENHOS TÉCNICOS DAS PEÇAS

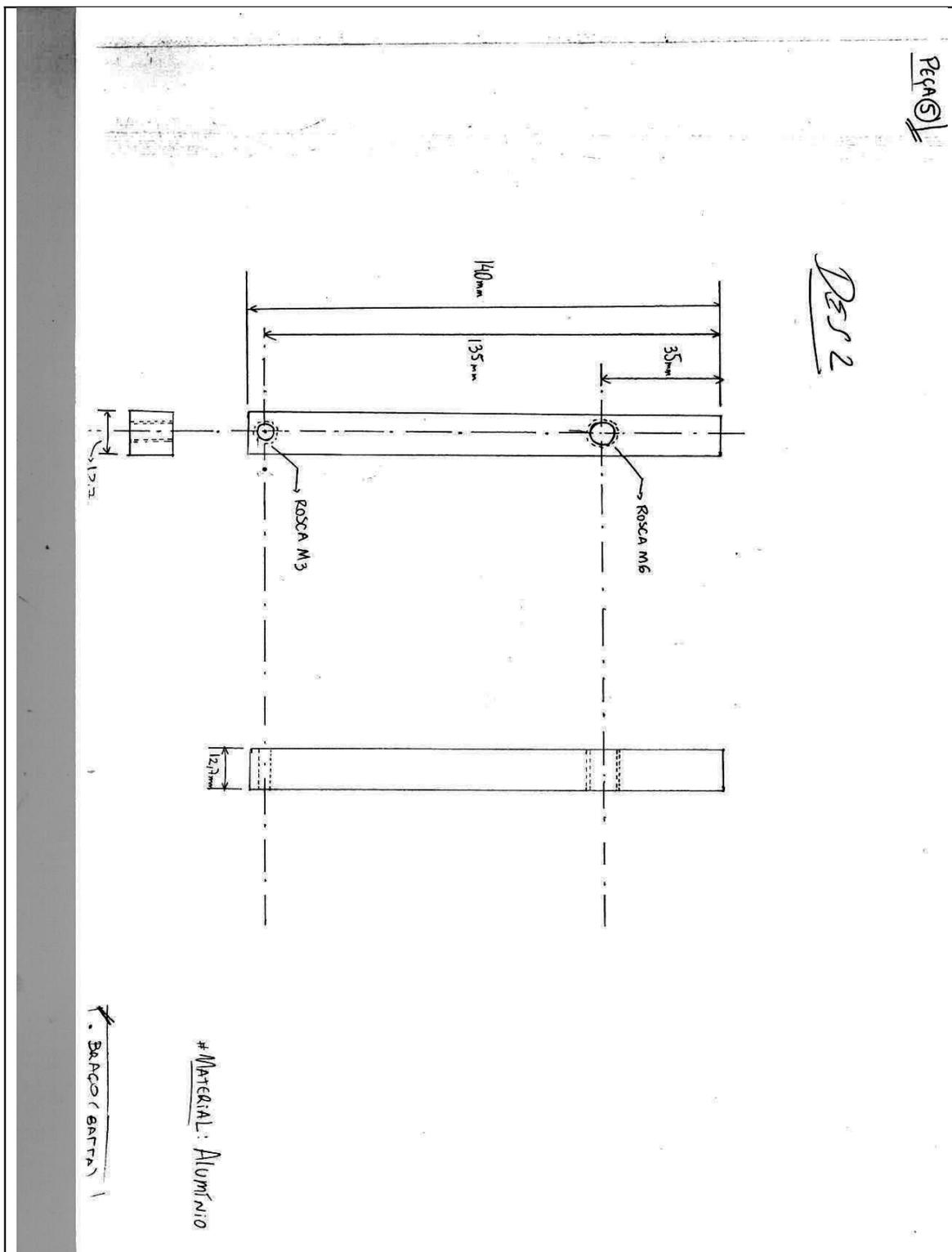
1. Chapa metálica (Fixação da Cinta)



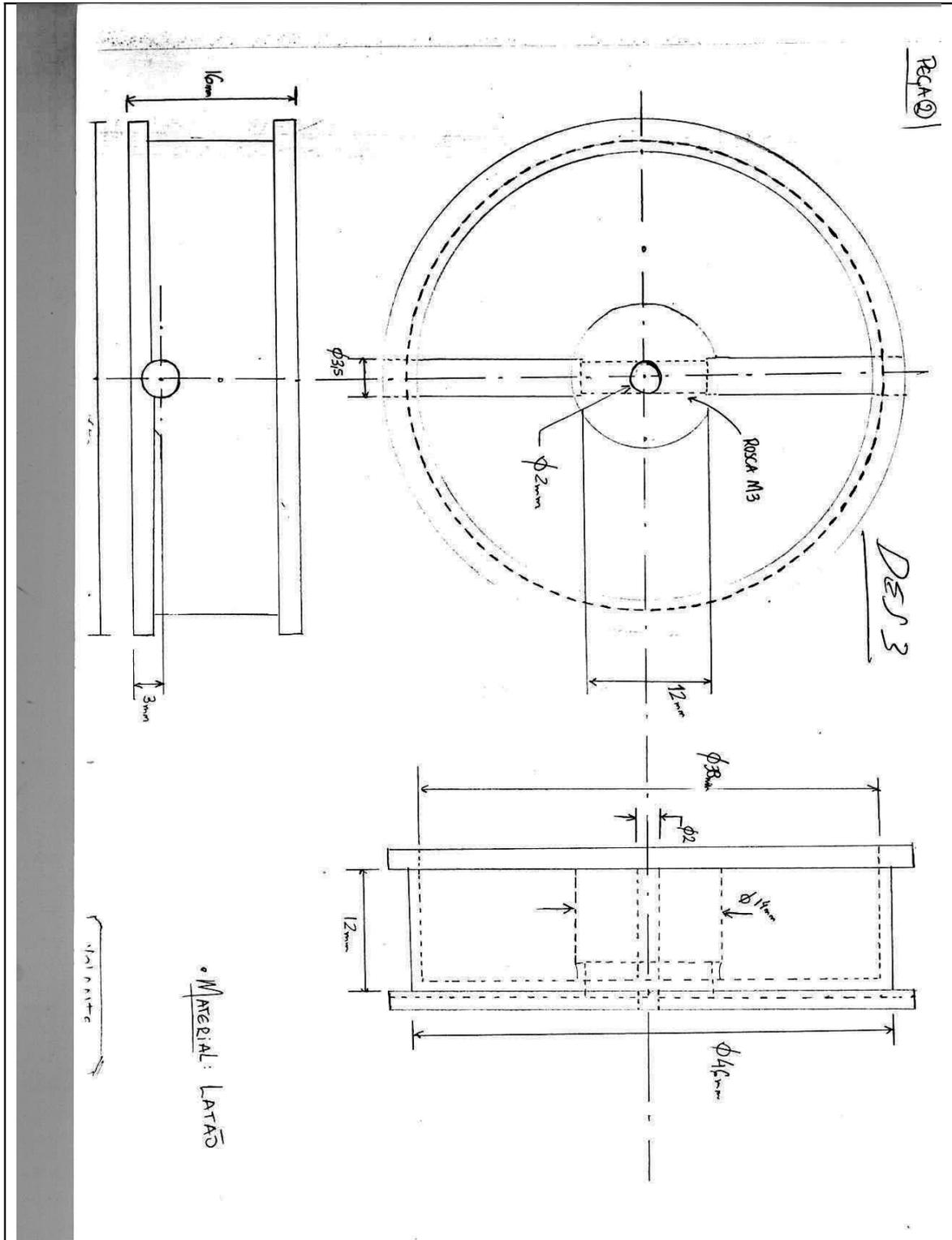
2. Suporte dos Roletes



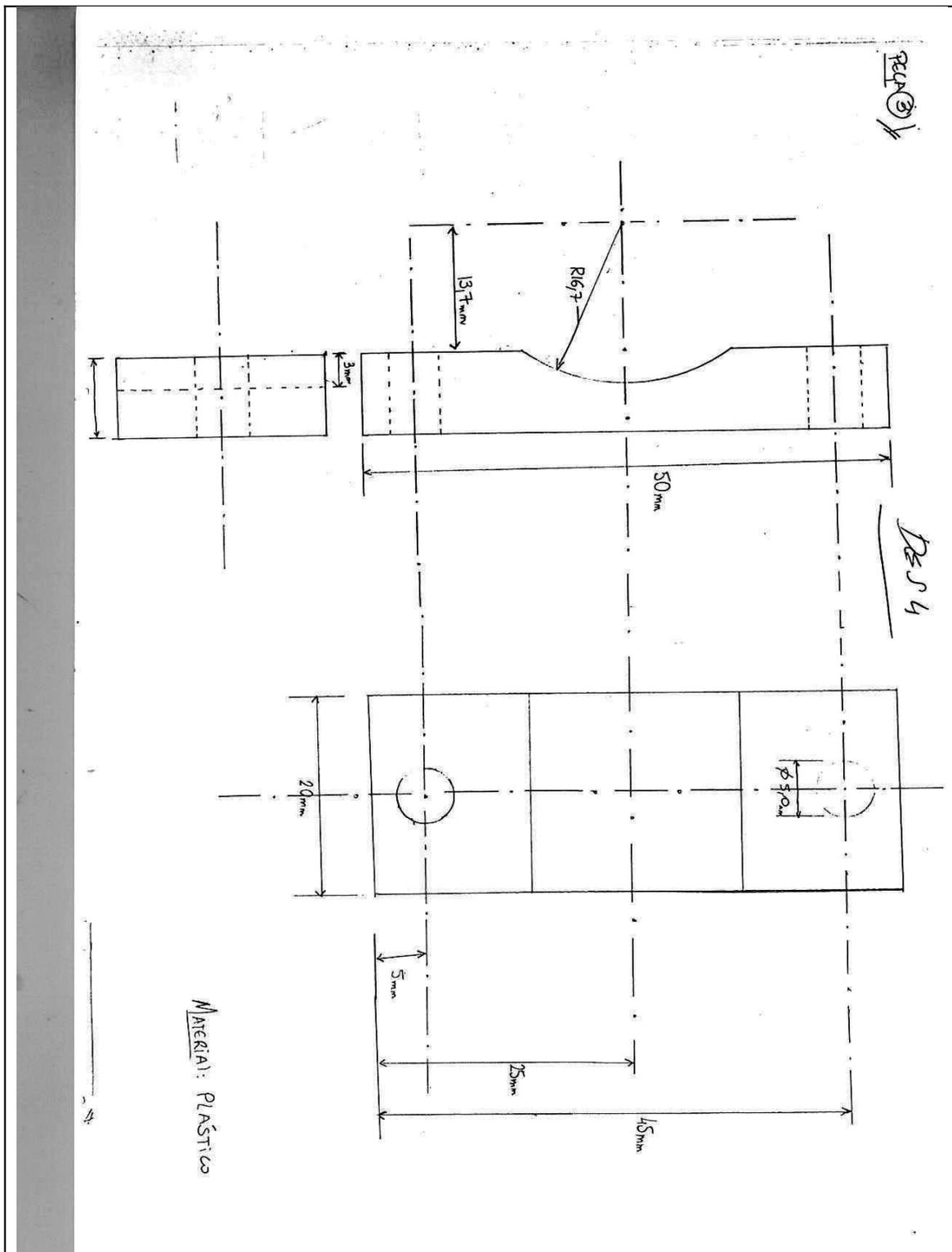
3. “Braço” (Barra de alumínio)



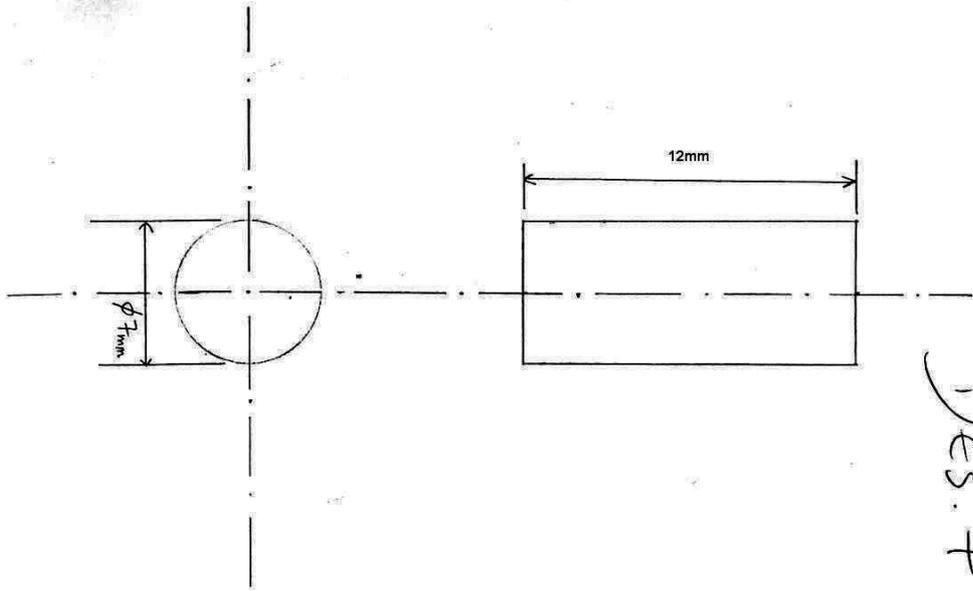
4. Volante



5. Suporte de fixação do motor (FIXAÇÃO INFERIOR)



7. Roleta



Des. 7

MATERIAL: LATAO

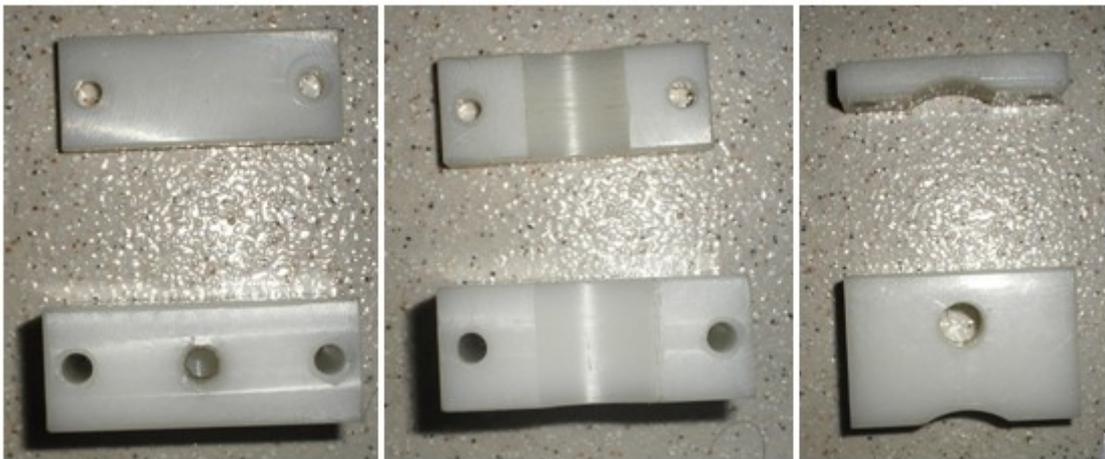
FAZER 2 UNIDADES

CILINDRO

IV. MONTAGEM

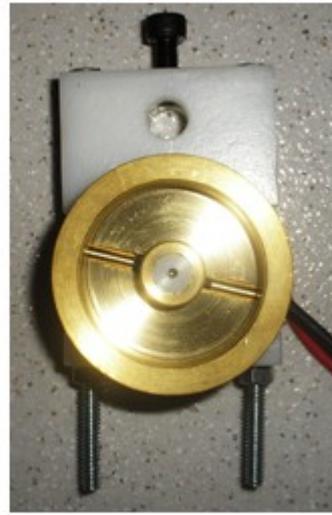
*PARTE A: MONTAGEM DO FREIO

1. Montar suporte de fixação do Motor:



2. Fixar o motor no suporte.

Obs.: Fique atento com a distância do suporte ao volante, pois se estiver muito próximo você encontrará problemas na fixação da cinta juntamente com o “braço” (Barra de alumínio).



3. Colocar os parafusos no Braço (“Barra de alumínio”)

Obs.: Parafuso menor = M3 / Parafuso Maior = M6



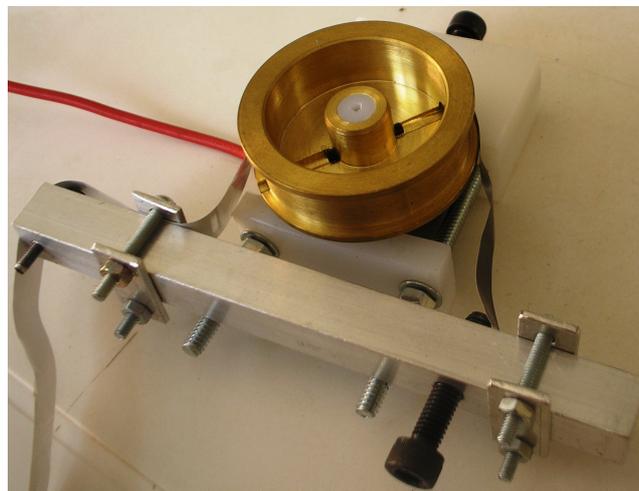
4. Montar dispositivo que irá fixar a cinta na barra. (2 peças)

Obs.: Importante utilizar ruelas entre as porcas e as chapas metálicas.



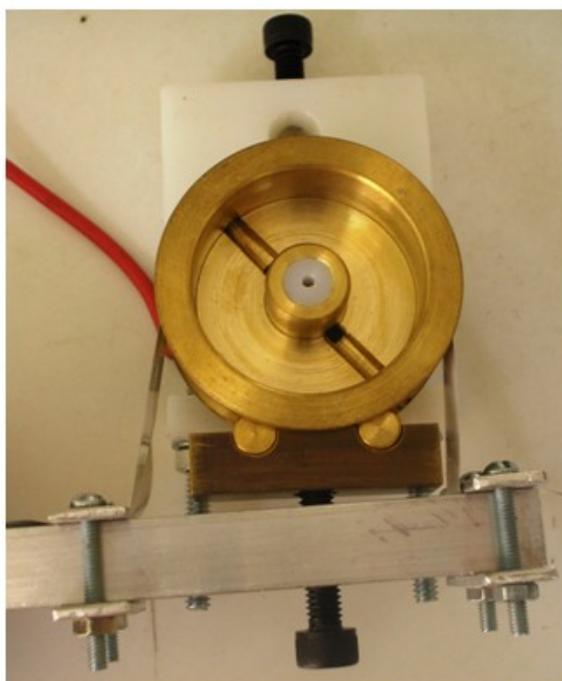
5. Fixar a Cinta na Barra.

Obs.: Esse passo é muito importante na montagem. O comprimento da cinta deve corresponder ao diâmetro do volante somado a uma folga para que seja possível o encaixe do suporte dos roletes, o qual serve de guia para a barra junto ao volante. Você deverá fazer um teste antes de apertar os parafusos.

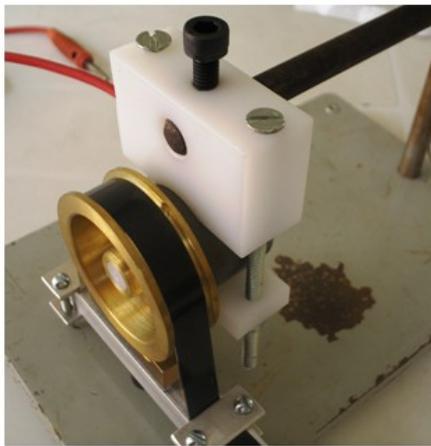
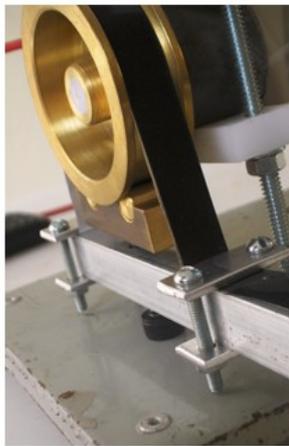
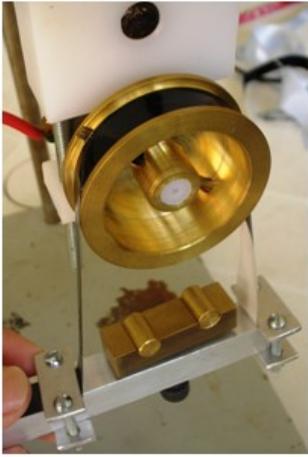


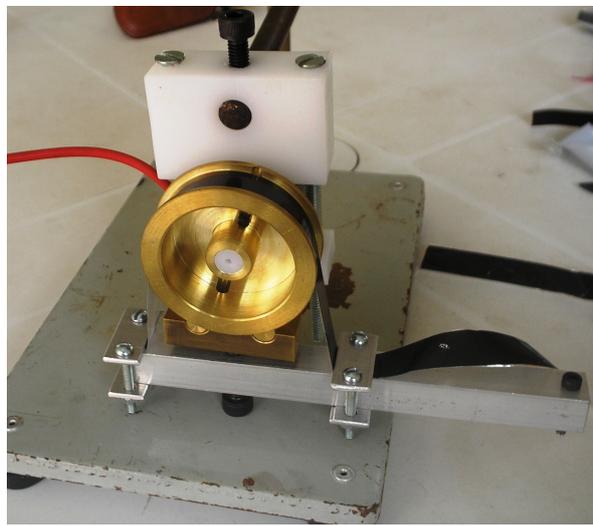
6. Encaixar o Suporte dos Roletes no sistema Barra – Volante.

Obs.: O parafuso M6 da barra deve encaixar no furo central do suporte dos roletes. Após isso apertar o parafuso até que haja tensão suficiente na cinta para manter o conjunto estável, facilitando assim, a montagem desse sistema na Base.



7. Fixação do sistema na Base.



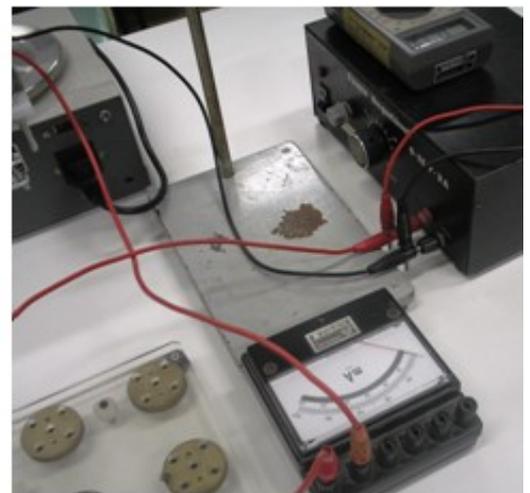
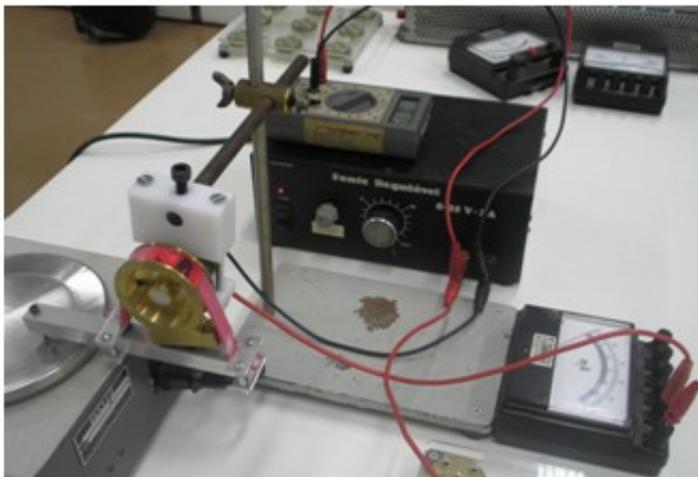


***PARTE B: MONTAGEM DO EXPERIMENTO**

1. Ligar o motor na fonte de tensão variável (0 -15V).

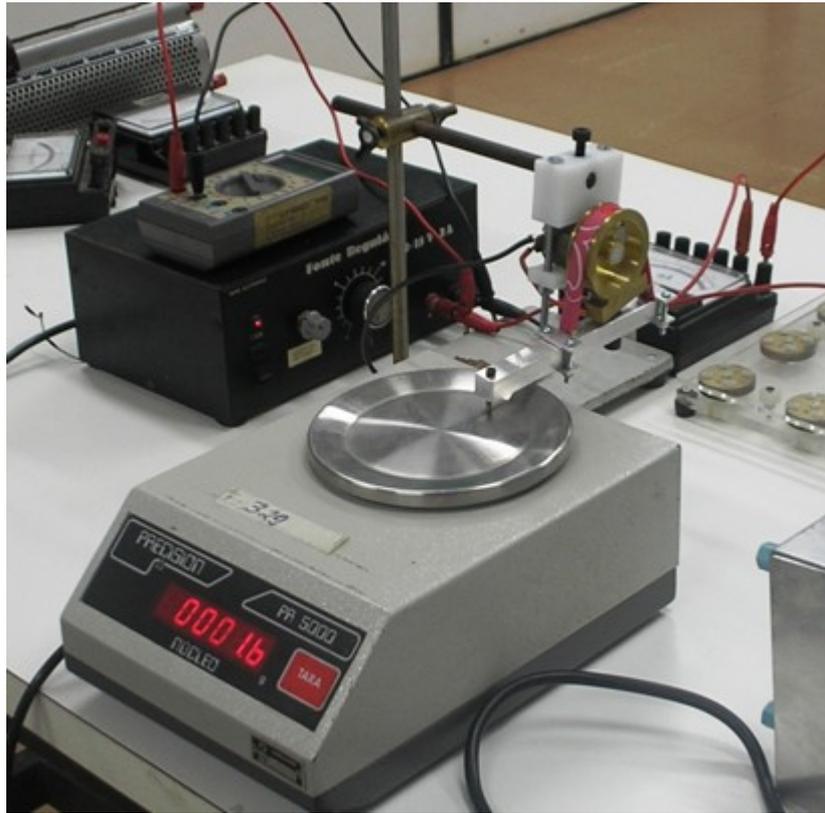
Obs.: Ligar um Amperímetro e um Voltímetro no circuito para ter o controle da tensão aplicada nos terminais do Motor 9V. (Importante: O voltímetro é de extrema importância no circuito, pois, se nos terminais do motor for aplicada uma tensão maior que a nominal este poderá queimar.)

***Lembre-se:** O voltímetro deve ser ligado em PARALELO ao circuito e o amperímetro em SÉRIE.



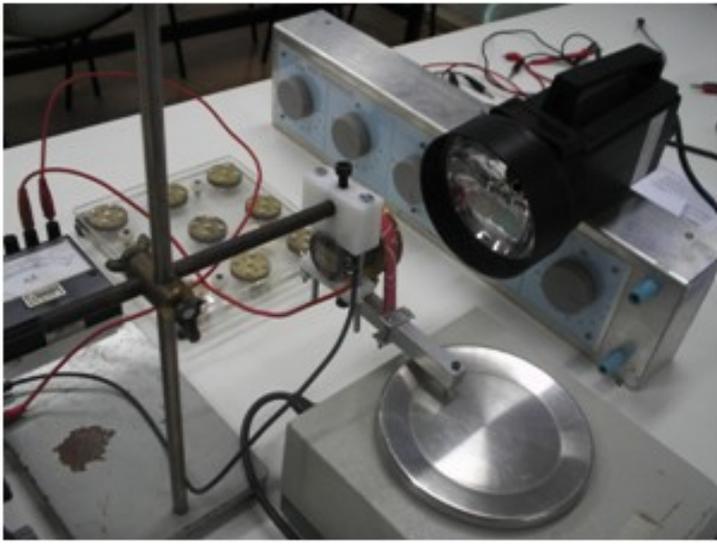
2. Fixação da Balança.

Obs.: O parafuso M3 da barra de alumínio deve ser apoiado na balança de precisão formando um ângulo de 90° com a mesma. (Importante: Não se esqueça de Tarar ("Zerar") a balança antes de coletar os dados.)



3. Fixação do Estroboscópio.

Obs.: O estroboscópio deve ser fixado de frente com o volante, de uma maneira que seja possível visualizar a marcação de referência para a obtenção da frequência de rotação.



***PARTE C:**

Usando o Estroboscópio para Medir RPM

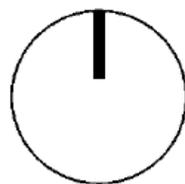


O uso primário de um estroboscópio é para parar movimento para propósitos de inspeção. Entretanto, o estroboscópio pode ser usado para medir rotação. Para fazer isto, vários fatores precisam ser considerados. Primeiro, o objeto a ser medido deverá estar visível durante toda uma rotação de 360°. Segundo, se o objeto for perfeitamente simétrico, o usuário precisa marcá-lo com um pedaço de fita adesiva ou pintá-lo somente em um local, para ser usado como referência. Focalize um parafuso, ranhura de chaveta ou imperfeição como ponto de referência.

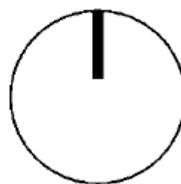
Se a velocidade de rotação estiver dentro da faixa do estroboscópio, comece na taxa de flash mais alta e ajuste a taxa de flash para baixo. Em algum ponto será observado uma única imagem do objeto. Observe que numa taxa de flash com duas vezes a velocidade atual da imagem, serão observadas duas imagens. Quando se aproxima da velocidade correta, pode-se ver três, quatro ou mais imagens nos harmônicos da velocidade real. A primeira imagem ÚNICA vista é a velocidade real. Para confirmar a velocidade real, observe a leitura e ajuste o estroboscópio para exatamente metade desta leitura, e novamente uma imagem única será observada.

EXEMPLO

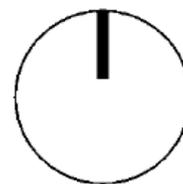
OBJETO GIRANDO A 3000 RPM



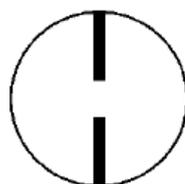
1000 RPM
(1/3 x)



1500 RPM
(1/2 x)



3000 RPM
(1 x)



6000 RPM
(2 x)



9000 RPM
(3 x)



12000 RPM
(4 x)

Se a velocidade estiver fora da faixa total da escala do estroboscópio, ela pode ser medida usando o método de cálculo de harmônicos e multipontos. Inicie na taxa de flash mais alta e ajuste a taxa de flash para baixo. Você encontrará imagens múltiplas, por isso fique atento a elas. Observe a taxa de flash de imagem ÚNICA que você encontra, chame esta velocidade “A”. Continue diminuindo a taxa de flash até que você encontre uma segunda imagem ÚNICA. Anote esta velocidade como “B”. Continue diminuindo a velocidade até alcançar uma terceira imagem ÚNICA na velocidade “C”. Para um cálculo de dois pontos, a atual velocidade é dada por:

$$\text{RPM} = AB/(A-B)$$

Para um cálculo de três pontos:

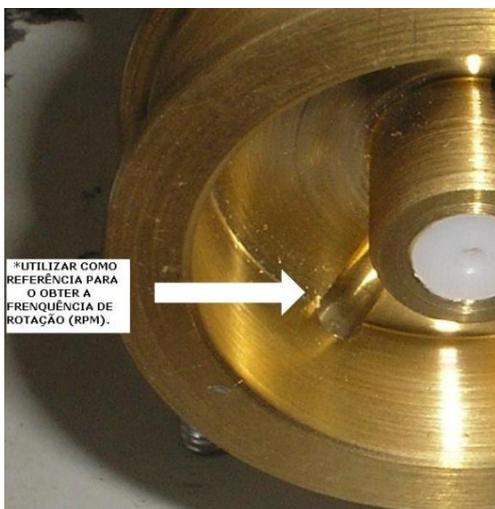
$$\text{RPM} = 2XY(X+Y)/(X-Y)^2 \text{ onde}$$

$$X = (A-B) \text{ e } Y = (B-C)$$

O olho humano não está habilitado a ver facilmente uma imagem parada por um estroboscópio quando a taxa de flash for menor que 300 FPM. Por isso, os estroboscópios são quase impossíveis de serem usados abaixo de 300 FPM para inspeção ou para medir RPM.

*ETAPAS:

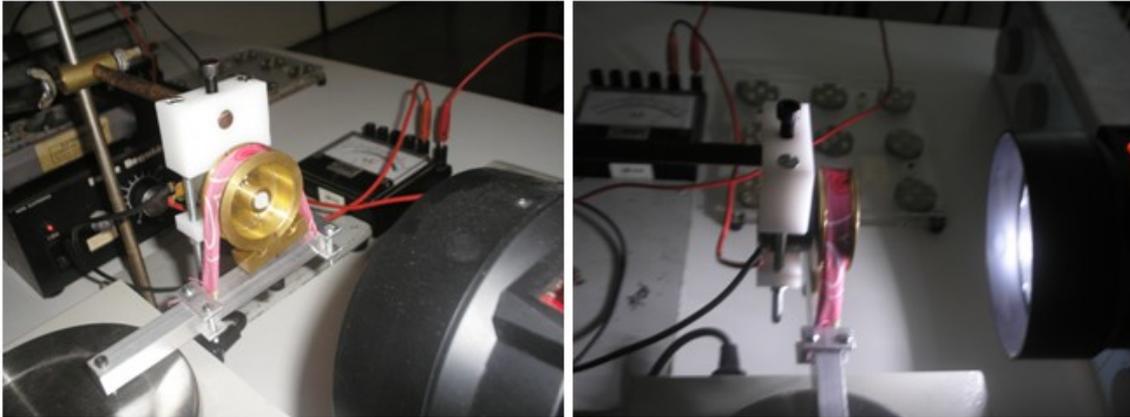
Encontrar um ponto de referência para obtenção da frequência.



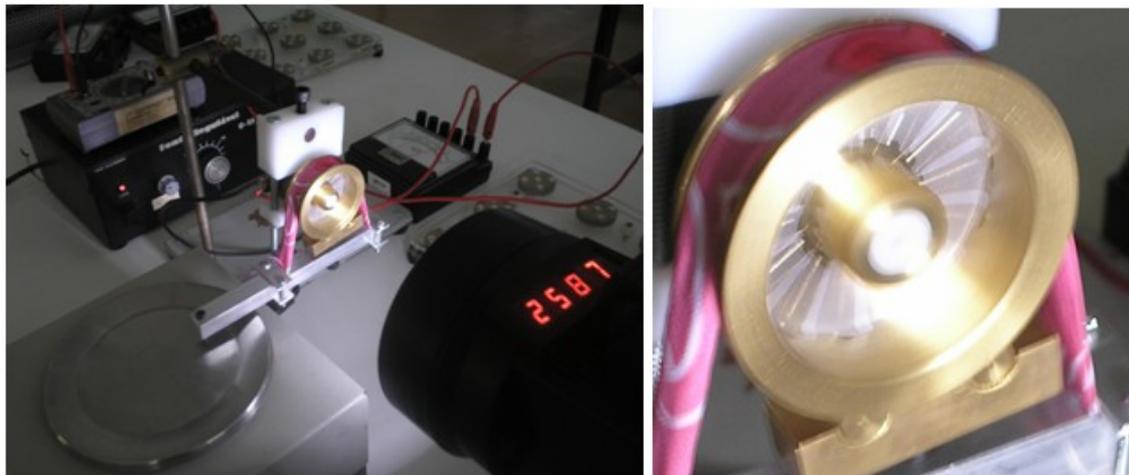
- Utilizar como referência um dos canais presente no volante, o qual serve apenas para passar o parafuso e a chave de fenda que fixa o volante no eixo do motor. Como são dois canais, tapar o outro com alguma fita ou papel para se ter apenas um ponto de referência.

A) **Ligar o motor e o estroboscópio.**

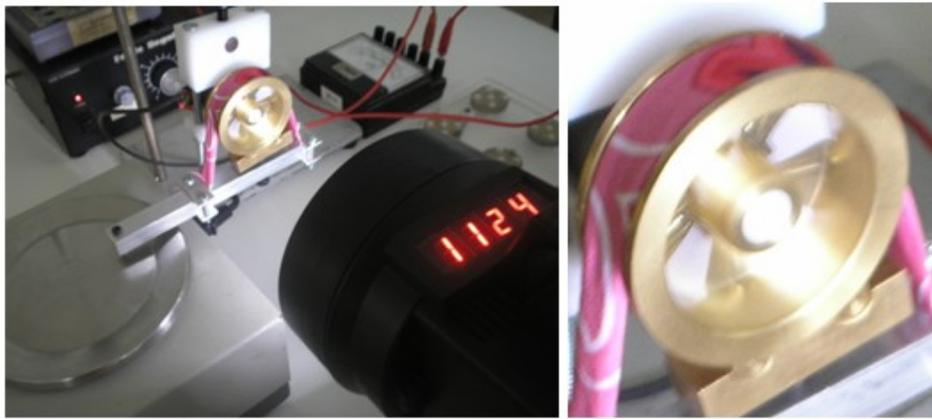
Obs.: Lembre-se que o estroboscópio deve trabalhar, primeiramente, na taxa mais alta de flash. Depois disso, diminuir a taxa de acordo com as etapas a seguir.



B) **Formação de várias imagens.**

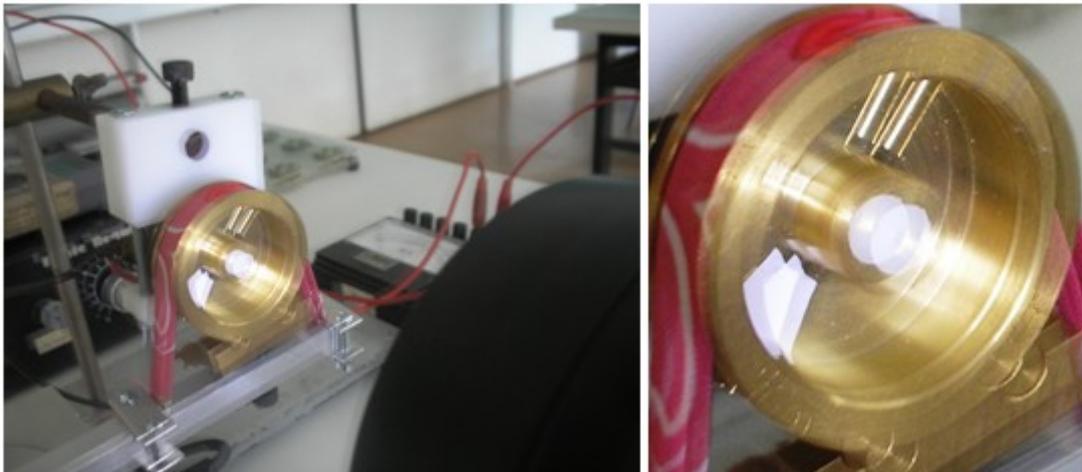


C) **Formação de duas imagens.**



D) Formação da PRIMEIRA ÚNICA imagem

Obs.: Nessa etapa, o valor de frequência indicado no estroboscópio, será igual à rotação do motor em RPM.



V. COLETA DE DADOS

1. Foram coletados os valores da tensão e corrente nos terminais do motor para determinar o valor da força contra-eletromotriz (E') e resistência interna (r').

Obs.: Nesse ponto o motor estava sem o braço ("barra de alumínio"), ou seja, a rotação dele era livre de qualquer atrito.

Linear Regression for DATA1_B:

$$Y = A + B * X$$

U (V)	I (A)
2,01	0,08
2,97	0,13
3,99	0,18
4,9	0,25
5,44	0,3
6,33	0,38
7,15	0,45
8,11	0,52
8,96	0,56

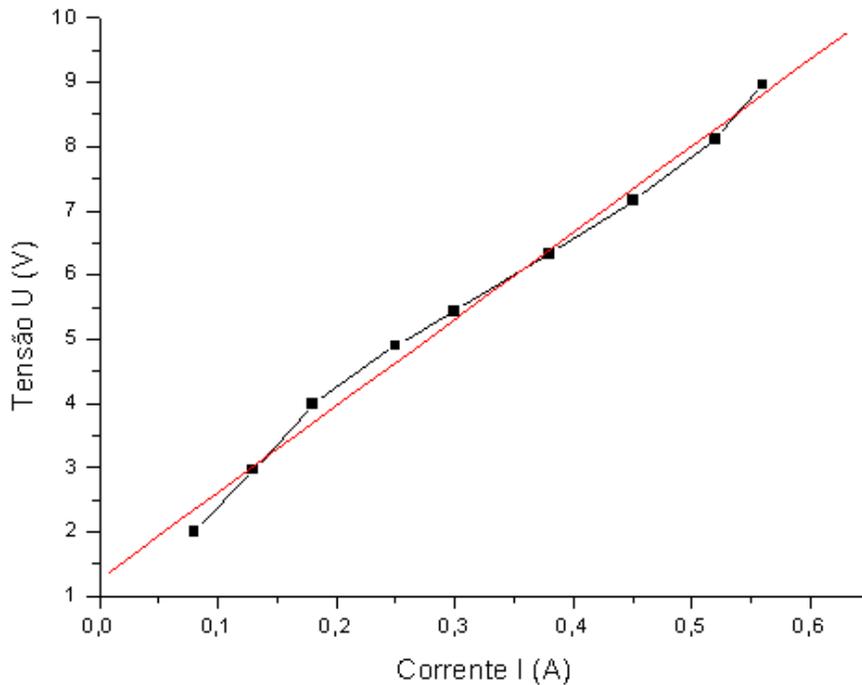
Parameter	Value	Error
A	1,26942	0,16908
B	13,48605	0,47527

R	SD	N	P
0,99568	0,23118	9	<0.0001

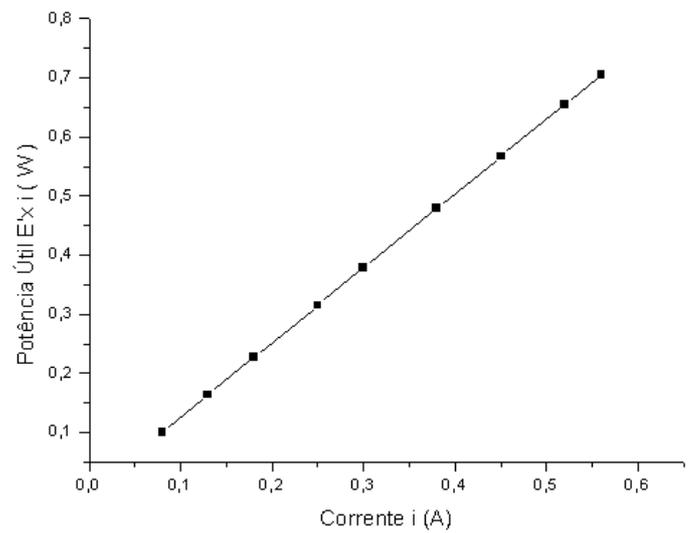
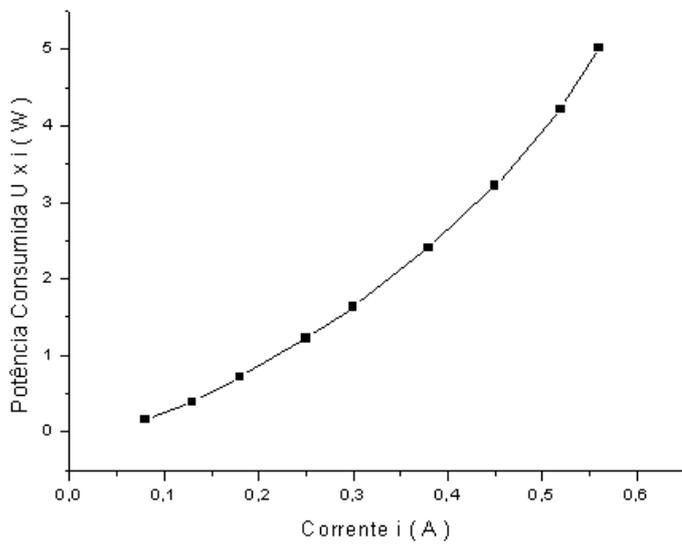
Como o gráfico de um Receptor elétrico é $U = E' + r \cdot i$, os valores obtidos foram:

Força contra-eletromotriz (E'): 1,27 V

Resistência interna (r'): 13,5 Ω



2. A partir dos valores obtidos pode se obter a curva de **Potência Consumida** e **Potência Útil** do Motor.



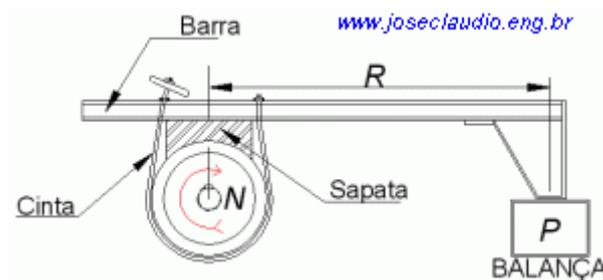
3. Com o motor em funcionamento foram obtidos os seguintes valores de **Frequência** (Estroboscópio) e **Massa** (Balança).

i (A)	m (kg)	F (rpm)	P _c = ixU (W)	P _u = ixE' (W)	E' (V)	r' (Ω)
0,72	0,009	285,8	4,6656	0,9072	1,26	13,48
0,78	0,0093	525,8	5,6394	0,9828	1,26	13,48
0,86	0,0096	757,7	6,923	1,0836	1,26	13,48
0,92	0,0096	949,2	8,234	1,1592	1,26	13,48

U = Tensão aplicada nos terminais do motor
i = Corrente elétrica
m = Massa indicada na balança
F = Frequência de rotação do motor
P_c = Potência Consumida
P_u = Potência Útil
E' = Força Contra-eletromotriz
r' = resistência interna do motor

VI. RESULTADOS FINAIS

***OBTER A POTÊNCIA DO MOTOR A PARTIR DOS VALORES INDICADOS NA BALANÇA E NO ESTROBOSCÓPIO.**



Rotação do motor = N (em rpm)
Comprimento do braço = R (em m ou ft)
Leitura da balança = P (em lb. ou kg)

Com os elementos acima, sabendo-se que a periferia do volante percorre, no intervalo de uma rotação, a distância $2 \pi r$ contra a força de atrito f , aplicada pela cinta, então, em cada rotação, tem-se:

$$\text{Trabalho} = 2 \pi r f.$$

O conjugado resistente ao atrito é formado pelo produto da leitura P da balança pelo valor do comprimento do braço de alavanca R e será exatamente igual ao produto r vezes f , conjugado que tende a mover o braço. Logo:

$r f = P R$ e, em uma rotação, $\text{Trabalho} = 2 \pi P R$. Se o motor funcionar a N rpm, o Trabalho por minuto será dado por: $T = 2 \pi P R N$.

A expressão acima define a potência desenvolvida pelo motor, que pode ser expressa em HP (Horsepower) ou em CV (Cavalo-vapor), dependendo das unidades empregadas. Assim:

$$\text{HP} = (2 \pi P R N) / 33.000 == \text{HP} = (P R N) / 5252 \quad (\text{I})$$

Para P em libras, R em pés e N em rpm, ou:

$$\text{CV} = (2 \pi P R N) / 4.500 == \text{CV} = (P R N) / 716,2 \quad (\text{II})$$

Para P em kg, R em metros e N em rpm.

As constantes 4.500 e 33.000 são resultantes das definições de CV e HP, que são, respectivamente, a potência necessária para elevar a altura de um metro, em um segundo, uma carga de 75 quilogramas, o que corresponde a $75 \times 60 = 4500$ para transformação em minuto e a potência necessária para elevar a altura de um pé, em um segundo, uma carga de 550 libras, donde $550 \times 60 = 33000$ para transformar em minuto.

A partir do gráfico de Potência útil podemos encontrar uma Potência de **1,15 W** quando a corrente vale **0,92 A**. Substituindo os valores encontrados de Freqüência e Massa na expressão (II) acima, quando se tem a mesma corrente, a Potência encontrada tem um valor de **0,93 W**.

Obs.: É necessário fazer a conversão de CV para W. (**1CV = 735,5W**)

VII. CONCLUSÃO:

O Freio de Prony apresenta vários inconvenientes operacionais, destacando-se o fato de manter a carga constante independente da rotação empregada. Então, se a rotação cai, em virtude do motor não suportá-la, a rotação irá diminuir até a parada total do mesmo. Conseqüentemente, essas máquinas

vêm sendo substituídas por dinamômetros mais versáteis, com predominância dos DINAMÔMETROS HIDRÁULICOS, onde a carga aplicada varia em razão diretamente proporcional ao cubo da rpm. Se a rotação cair a carga imposta pelo dinamômetro diminuirá, dando tempo ao operador de reajustar a carga e corrigir a velocidade para o valor desejado. Nos dinamômetros hidráulicos o freio é exercido pela ação de um rotor que, pressionando água contra aletas fixas na carcaça, produz o mesmo efeito físico que no Freio de Prony. O braço e a balança, embora possam ser empregados neste tipo de equipamento, foram substituídos por uma Célula de Carga. As Células de Carga, por vezes, são constituídas de um cristal de quartzo, cujo efeito piezelétrico, resultante da compressão exercida pela extremidade do braço, é transformado em leitura para um instrumento. Em alguns casos, em vez de cristal de quartzo, utiliza-se uma câmara de pressão acoplada a um transdutor que executa a mesma função.

O valor da Potência do motor encontrado utilizando-se o método do experimento difere em 20% do valor nominal. Possíveis erros podem ser relacionados ao movimento de rotação dos roletes dentro do volante. Em rotações mais baixas, o rolete se chocava várias vezes com o canal presente no volante. Esse choque atrapalhava na obtenção dos dados de frequência e massa.

- **Dificuldades encontradas:**

1. As primeiras dificuldades encontradas foram relacionadas à execução do desenho técnico das peças, uma vez que os primeiros desenhos não deram certos, tivemos que refazê-los, com isso tivemos um atraso na execução do projeto. O maior problema estava relacionada ao volante (tambor), como o mesmo é feito de latão precisávamos reduzir sua massa, pois o motor é de 9V, e um volante de latão dificultaria o torque do motor, afetando assim no resultado final do experimento.
2. A Cinta que prende o volante ao braço "barra de alumínio" é uma peça fundamental na execução do projeto. Se for usada uma cinta "lisa" o atrito entre o volante e a cinta será maior, sendo assim, pode acontecer de o motor não conseguir fazer rodar o volante. Como o motor é pequeno, é indicado o uso de cintas mais ásperas, as quais possuem um menor atrito com o volante, sendo assim, permitindo um melhor desenvolvimento de rotação do mesmo.
3. É necessário estudar um pouco o estroboscópio antes de começar coletar os dados. A formação de vários harmônicos das imagens no início do processo confunde um pouco, mas é só praticar e prestar atenção nos detalhes que fica fácil de encontrar a frequência de rotação do volante.

- **Comentário do orientador:**

O ALUNO ATENDEU PLENAMENTE O TRABALHO PROPOSTO, E DOCUMENTOU COM FOTOGRAFIAS, DESENHOS E GRÁFICOS OS RESULTADOS ALCANÇADOS.

Referências:

<http://www.defi.isep.ipp.pt/~ndg/site/normas/2004.pdf>

<http://www.grupozug.com.br/ENGEL/Gerador/DIESEL1.pdf>

http://www.joseclaudio.eng.br/grupos_geradores_2.html

http://andexport.cl/web_archivos/catalogos_empresas/altec/estroboscopia%20prtatil%20br.pdf

<http://autosport.aeiou.pt/gen.pl?p=stories&op=view&fokey=as.stories/25552>