



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
Instituto de Física  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Profissional em Ensino de Física

## **Como montar a máquina de Wimshurst**

Leandro N. Nunes

&

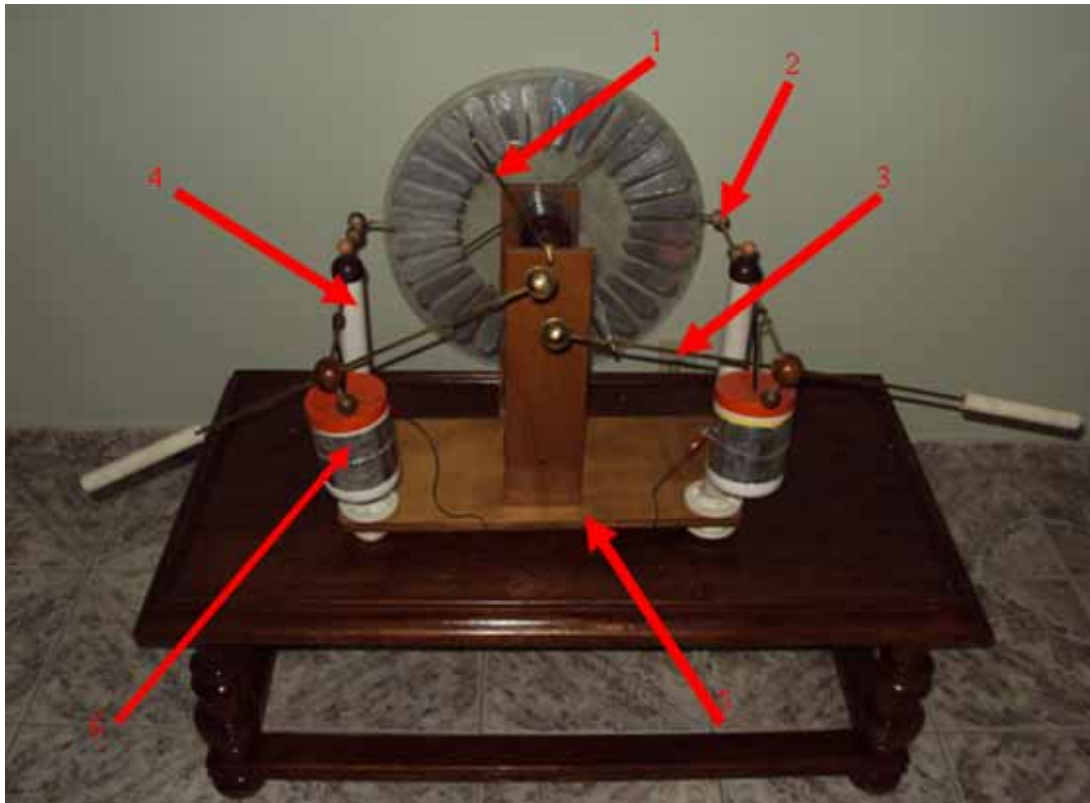
Antonio Carlos F. Santos

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Leandro N. Nunes, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro  
2011

## Apêndice A – Como montar a máquina de Wimshurst

Neste apêndice, como produto desta dissertação, descrevemos o procedimento para a montagem de uma máquina de Wimshurst (vide Figura. A.1) e de uma garrafa de Leyden, com material de baixo custo.



*Figura A.1 - Máquina de Wimshurst após a montagem.*

- 1- Neutralizador
- 2- Coletor
- 3- Terminal
- 4- Coluna de PVC
- 5- Base
- 6- Garrafa de Leyden

## **A.1 - Material**

- 2 cubos de madeira ou compensado com 3 cm de aresta cada (para os pés da parte traseira);
- 1 pedaço de madeira de 8 cm × 2 cm × 1 cm (para a manivela);
- 6 cm de latão de 3/16 de polegada para a manivela;
- 1 durapox;
- 4 borboletas para barra enroscada de 3/16 de polegada;
- 4 barras enroscadas de 3/16 polegada com 7 cm cada;
- 2 barras enroscadas de 3/16 polegadas com 4 cm cada;
- 1 cola super bonder;
- lixa de unha;
- 4 tubos ocos de plástico ou canudo com orifício um pouco maior que 3/16 polegada com 4 cm cada;
- 1 tábua de compensado retangular com 53 cm de comprimento 24 cm de largura e de aproximadamente 1,5 cm de espessura;
- 2 tábuas de compensado retangular com 36,5 cm de comprimento, 10 cm de largura e de aproximadamente 1,5 cm de espessura;
- 2 PVCs de 1/2 polegada e 15 cm de comprimento (para os terminais);
- 8 bijuterias de madeira de 2 cm de diâmetro aproximadamente (na máquina da figura A.1 foram utilizadas algumas de plástico);
- 2 PVCs de 1 polegada e 32 cm de comprimento cada um com uma extremidade com rosca;
- 2 flanges de PVC de 1 polegada;
- 2 varetas de latão de 3/16 com 45,5 cm de comprimento (para os terminais);
- 2 varetas de latão de 3/16 com 35 cm de comprimento (para os coletores);
- 2 varetas de latão de 3/16 com 4,5 cm de comprimento (para coletores);
- 2 varetas de latão de 3/16 com 23 cm de comprimento (para neutralizadores);
- 2 discos de acrílico de 40 cm de diâmetro e de 2 mm de espessura com um furo central de 7 mm de diâmetro;

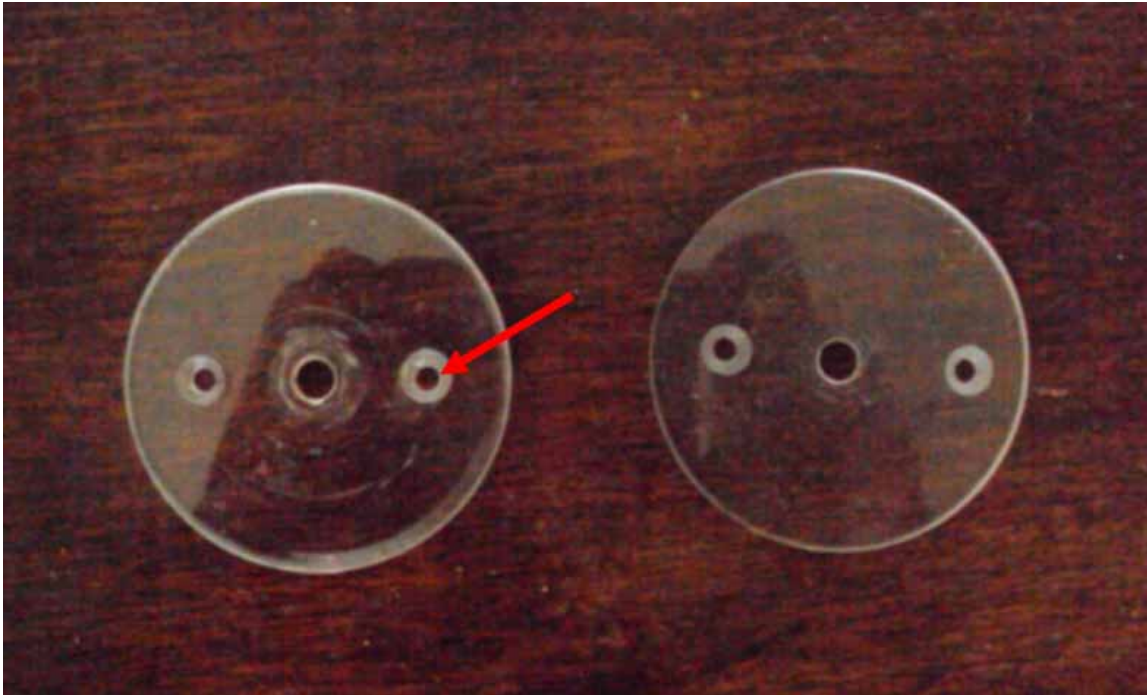
- 2 discos de acrílico de 7,5 cm de diâmetro e de 3 mm de espessura cada (com furo central de 7 mm cada) e com mais dois furos para a inserção de parafusos conforme figura A.2);
- 2 cilindros reto de latão base de 1 polegada de diâmetro e 1,5 cm de altura cada (para os neutralizadores);
- 1 cilindro reto de papelão de 4 cm de diâmetro e aproximadamente 1 mm de altura (para colocar entre os dois discos de acrílico maiores);
- 2 cilindros retos de latão com base de 1 polegada de diâmetro e 1 cm de altura (essas peças serão colocadas no eixo de baixo (na figura A.3 um dos cilindros à disposição dos autores é de alumínio));
- 2 o-rings (figura. A.4) de espessura de aproximadamente 3 mm (no final desta lista tem a orientação de como comprá-los);
- 2 barras de aço de aproximadamente 6 mm de diâmetro e 25 cm de comprimento podendo ser retirada de um impressora velha (figura A.5);
- 2 buchas stander metálicas de raio interno 7 mm (comprada em loja de auto peças elétricas) com especificação 1728 (figura. A.6);
- 2 polias maiores com 10 cm de diâmetro, 2 cm de espessura e com orifício no centro de 7 mm de diâmetro conforme figura A.7 e figura A.8;
- 2 polias pequenas conforme as especificações das figuras: A.9, A.10 e A.11 e furo central de 7mm;
- Papel de alumínio para quentinha ou folha de alumínio para embrulhar pizza;
- 1 cola de isopor;
- 3 resistores de fio de  $2k2 \Omega$  e 5 W (figura. A.12);
- 2 puxadores de armário de madeira esféricos com diâmetro entre 3 cm a 3,5 cm aproximadamente (cada um será colado na extremidade do PVC maior que ficará na vertical); (figura A.13);
- 2 puxadores de armário de madeira esféricos com diâmetro entre 3 cm a 3,5 cm aproximadamente (colocar na parte intermediária do terminal);
- 2 puxadores de armário esféricos metálicos de diâmetro entre 3 cm e 3,5 cm;
- 1 conjunto de machos para fazer roscas em madeira quando necessário (figura. A.14);

Quando mencionarmos a necessidade de fazer um furo de 3/16, na realidade deverá ser feito um furo com a broca de 5/32 e posteriormente ser passado o macho 3/16 conforme instrução no final deste apêndice.

Um “*o-ring*” (figura. A.4) é um material utilizado para vedação podendo ser encontrado em casa de materiais para tal propósito. A escolha desse material é por conta de o mesmo possuir uma elasticidade que facilita o processo de montagem, pois ao manter-se esticado ele permite que as polias sejam acionadas com o atrito entre o *o-ring* e a superfície da polia, outra vantagem é o seu baixo custo. A desvantagem é que, com o tempo, ele solta pequenos resíduos tornando-o escorregadio. A escolha correta do comprimento do *o-ring* pode ser feito com o auxílio do barbante ou algo similar. Basta depois de montar a máquina envolver com o barbante uma polia que fica no eixo de baixo e uma polia que fica no eixo de cima como se esse barbante fosse o *o-ring* escolhido, feito essa medida é só escolher um *o-ring* um pouco menor, pois o mesmo deve manter-se esticado durante o acionamento da máquina.

Dependendo do estabelecimento os discos de acrílico podem ser obtidos já nessa forma evitando que o leitor compre a chapa de acrílico e depois tenha que cortá-lo.

Os compensados podem ser reaproveitados do lixo. Para dar um tratamento estético basta lixá-los e em seguida envernizá-los.



*Figura A.2 - Dois discos de acrílico de 7,5 cm de diâmetro e de 3 mm de espessura (com furo central de 7 mm cada) e com mais dois furos para a inserção de parafusos .A seta da figura destaca que deve ser feita uma escavação (com broca maior) de modo não atravessar totalmente o acrílico para que o plano da cabeça do parafuso fique no mesmo plano do disco. Caso contrário haverá problemas na rotação.*



*Figura A.3 - Cilindros reto de latão com base de 1 polegada de diâmetro e 1 cm de altura (essas peças serão colocadas no eixo de baixo (um dos cilindros a disposição dos autores é de alumínio)).*

*Obs: Os cilindro usados pelos autores não têm o mesmo diâmetro externo conforme esta figura aponta.*

Observe que num dos cilindros deve ser feito um furo na borda para depois passar os machos, produzindo assim uma rosca no furo para a inserção do parafuso posteriormente.

Deve ser feito também em cada cilindro um furo no centro de cada base de modo que esse furo atravesse uma base até outra. O diâmetro desse furo deve ser um pouco maior que a espessura do eixo de baixo.



*Figura A.4 - O-rings de aproximadamente 3 mm de espessura.*

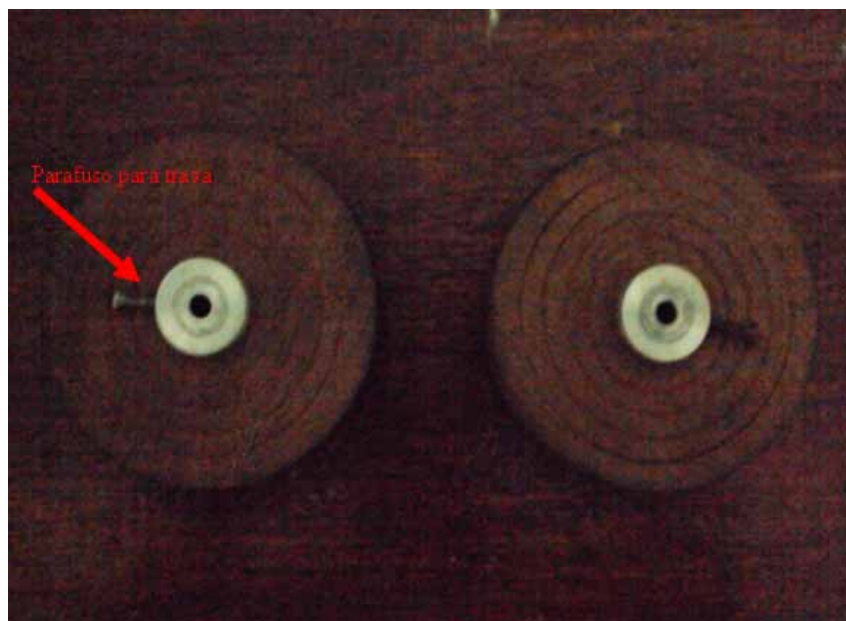


*Figura A.5 - Um eixo de impressora de 6mm de diâmetro e 25 cm de comprimento e 1 cilindro de papelão de 4 cm de diâmetro com furo no centro da base de 7 mm de diâmetro. Lembrando que são necessários 2 eixos para a montagem.*





*Figura A.6 - Bucha stander comprada em lojas especializadas em peças de arranque e alternador, de raio interno 7 mm.*



*Figura A.7 – Vista de cima das 2 polias maiores com 10 cm de diâmetro, 2 cm de espessura e com orifício no centro de 7 mm de diâmetro.*

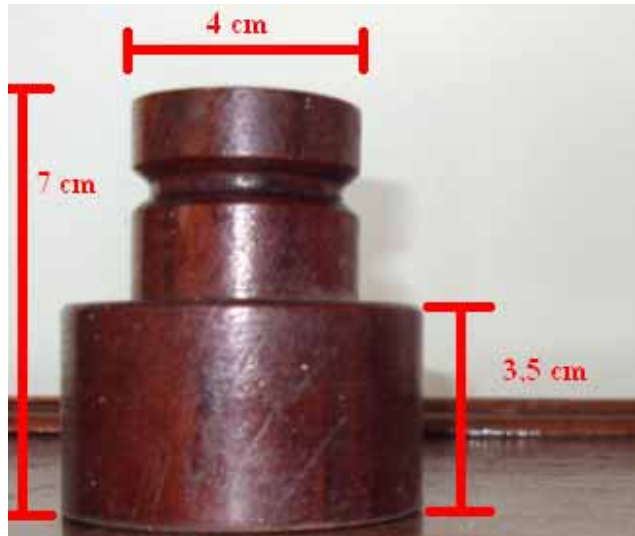
É possível encontrar no mercado polias prontas com 12 cm de diâmetro de metal, possuindo até uma trava de parafuso similar as da figura acima para que as tais polias possam girar junto com o eixo que passa no furo central acionado pela manivela. Essas polias vêm com um furo central pequeno podendo ser alargado com o auxílio de uma broca de espessura maior. Se o leitor adquirir essas polias certamente terá que passar uma broca ligeiramente maior que o diâmetro do eixo de baixo.



*Figura A.8 – Vista lateral das 2 polias maiores com 10 cm de diâmetro , 2 cm de espessura e com orifício no centro de 7 mm de diâmetro cada.*



*Figura A.9 - Polia pequena com furo central de 7 mm. Nesta figura, damos destaque para o cilindro de diâmetro de 6 cm.*



*Figura A.10 - Polia pequena com furo central de 7mm. Nesta figura damos destaque para o cilindro de diâmetro 4 cm.*



*Figura A.11 - Polia pequena com furo central de 7mm e com dois furos que devem estar alinhados com os dois furos dos discos de acrílico menor.*



*Figura A.12 - Resistor de fio. Após a raspagem da camada verde os fios de níquel cromo estarão acessíveis podendo ser cortados e colocados posteriormente nos neutralizadores e nos coletores.*



*Figura A.13 – Puxador de armário de madeira. A barra enroscada em cada puxador pode ser retirada.*

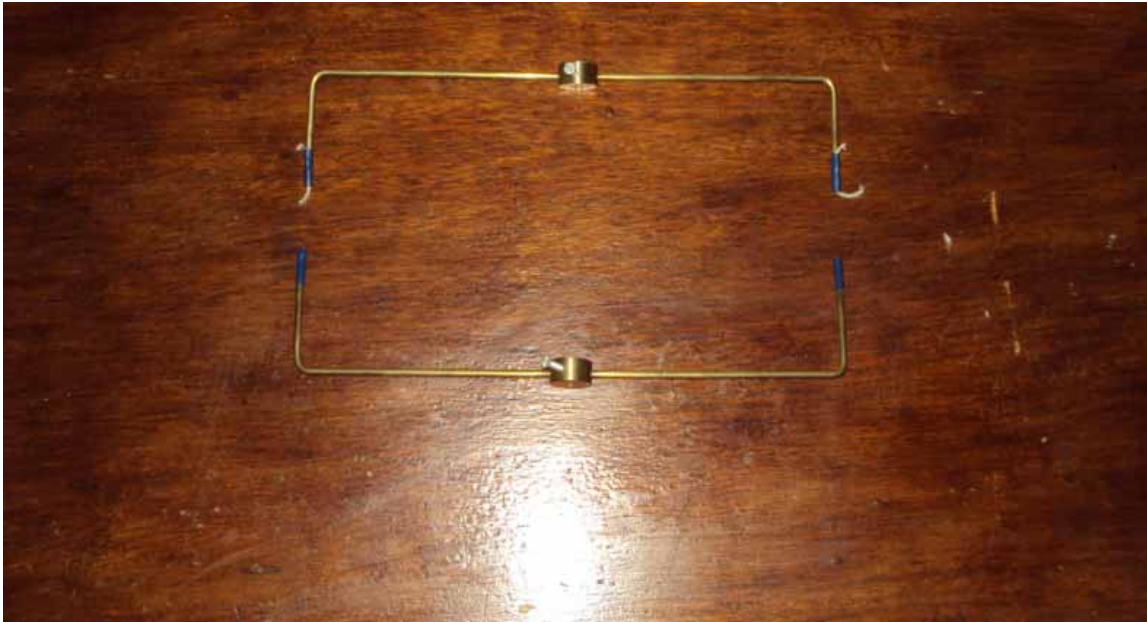


*Figura A.14 – Conjunto de machos para fazer roscas em furos.*

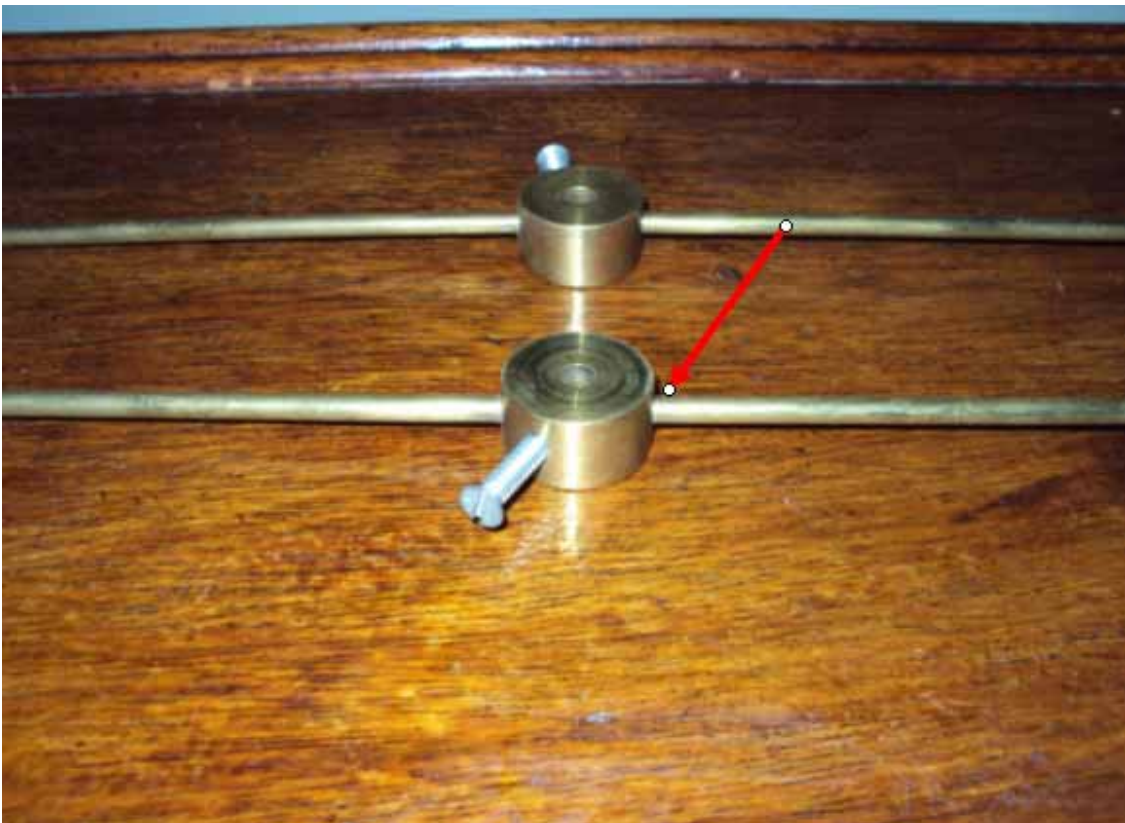
## **A.2 - Montagem das estruturas**

### **A.2.1 – Neutralizadores**

Cada neutralizador é feito com um cilindro reto de 1 polegada e altura 1,5 cm feita de latão e duas barras de latão de 3/16 com formato de **L**. Para fazer essa estrutura em forma de **L** deve-se ter em mãos a barra de latão de 3/16 e de comprimento 23 cm para dobrá-lo em forma de **L** de modo que a extremidade menor tenha 7 cm ou uma medida um pouco menor. A extremidade de maior comprimento de cada barra em formato **L** é inserida no cilindro (figura A.16). O leitor deve assegurar que a menor extremidade da barra de latão 3/16 deve formar um ângulo de 90° com o plano da base do cilindro reto. Feito isso é aconselhável passar um pouco de super bonder na extremidade maior da vareta para que a mesma fique fixa no cilindro reto.



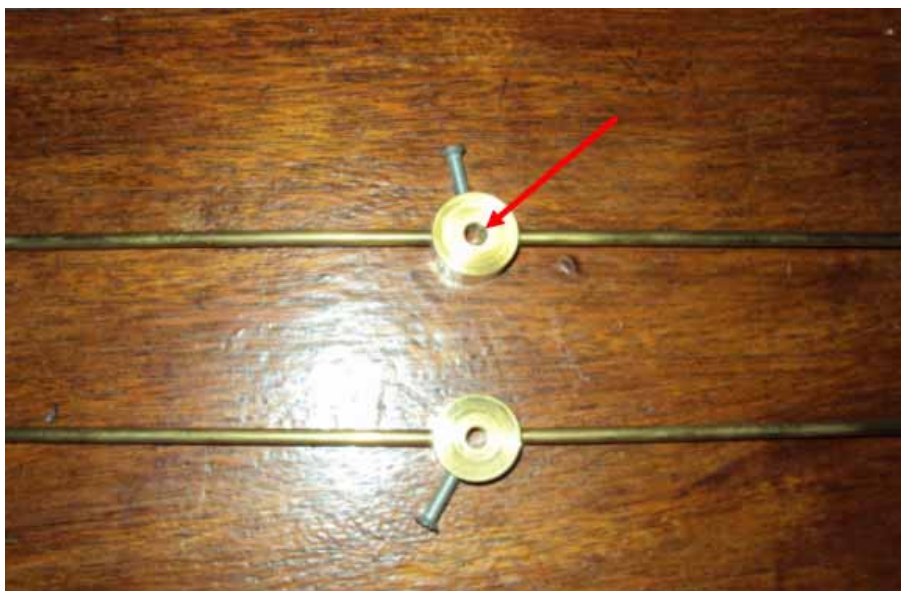
*Figura A.15 – Neutralizadores.*



*Figura A.16 – Destaque do local para fazer o furo de 3/16 para a inserção da vareta de latão com formato de L.*

Já na extremidade menor da vareta em formato de **L** é colocada 1 fio de níquel cromo de aproximadamente 4 cm, retirado do resistor de fio de modo que fique aproximadamente 2 cm de fio além da extremidade para que haja contato entre o fio e o disco de acrílico maior. Para se retirar o fio de níquel-cromo deve raspar a superfície verde do resistor com lixa de unha, com o passar do tempo os fios de níquel cromo enrolados ficarão visíveis. Para que este fio de níquel cromo fique preso deve colocá-lo entre o canudo de plástico e o latão. Na figura A.15 além do procedimento citado anteriormente, em duas extremidades de um neutralizador foram enrolados fio de níquel-cromo num barbante (para reforçar), pois esse fio no momento em que a máquina é acionada (momento em que os discos de acrílico giram) deve ter contato com os setores metálicos (papel de quentinha de alumínio ou folha de alumínio para embrulhar pizza) porque caso contrário o fio de níquel cromo quebrará facilmente.

Na base do cilindro reto deve ser feito um furo um pouco maior que 6 mm e este furo deve ir de uma base para outra conforme figura A. 17 . Neste furo será inserida a barra de aço de aproximadamente 6 mm no processo de montagem. Esta barra servirá como eixo de rotação dos discos de acrílico.



*Figura A.17 - Destaque do furo um pouco maior que 6 mm na base do cilindro reto para a passagem do eixo de aproximadamente 6 mm.*

Deve ser feito um furo na superfície lateral para posteriormente passar os machos que fará rosca para enroscar um parafuso conforme figura A.18. Este parafuso é necessário porque é ele que travará os neutralizadores num determinado ângulo que permitirá a máquina funcionar.



*Figura A.18 - Parafuso inserido num furo com rosca feita com o uso dos machos.*

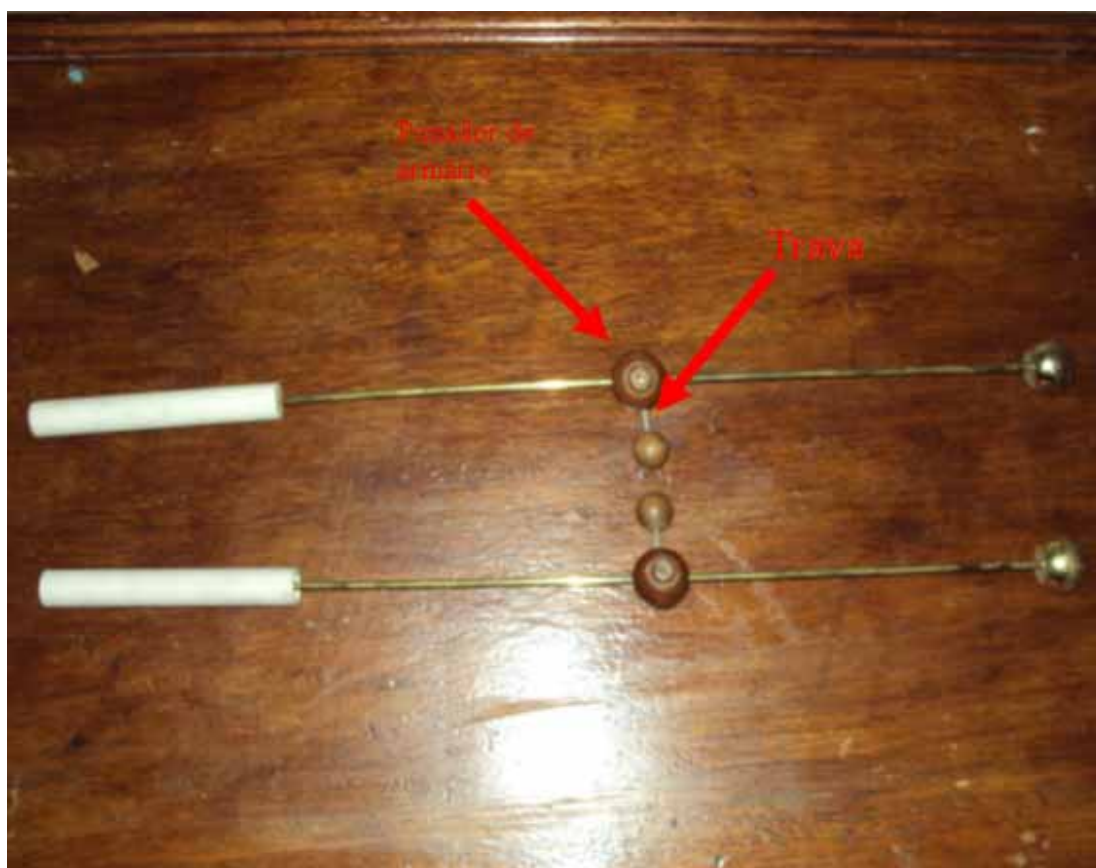
### **A.2.2 - Terminais**

Para a construção de cada terminal é necessário fixar a vareta de latão de 48 cm de comprimento e 3/16 polegadas no PVC de 1/2 polegada. Essa fixação pode ser feita com durapox. Na outra extremidade da vareta de latão deve-se colocar o puxador de armário metálico. Dependendo do puxador de armário a espessura por onde colocará a vareta de latão pode ser menor que a espessura da vareta, para resolver isso lixe a ponta da vareta e depois é só encaixar no puxador de armário e se for necessário passe super bonder. Pela figura A.19 é possível notar um puxador de armário aproximadamente no ponto médio da vareta de latão acoplado a uma pequena esfera (bijuteria) com barra enroscada com a função de travar o puxador de armário de madeira na posição desejada na vareta de latão,



ou seja, é possível travar o puxador de armário de madeira mais próximo ao PVC, mais próximo ao puxador de armário metálico ou equidistante a ambos.

Com a finalidade de facilitar a construção dos terminais esse puxador de armário feito de madeira pode ser substituído por um cilindro de madeira de tal modo que os furos que são transpassados pela vareta de latão devem ser ligeiramente maior que a espessura da vareta de latão para que não haja deslizamento.



*Figura A.19 - A trava mencionada acima pode ser útil nos momentos em que os orifícios que são transpassados pelo latão dilatam, pois evita que o puxador deslize ao longo do latão.*

### **A.2.3 Base**

Com posse da tábua de compensado retangular com 53 cm de comprimento 24 cm de largura e de aproximadamente 1,6 cm de espessura deve ser feito no encontro das linhas conforme apresentado na figura A.20, o centro da perfuração com a serra copo de 4,5 cm de diâmetro conforme apresentado nas figuras: A.21 e A.22 para colocar o flange de 1

polegada e posteriormente o PVC de 1 polegada e 32 cm de comprimento. Essas linhas devem possuir 4 cm de comprimentos de tal modo que ambas juntas com as bordas da tábua formem um quadrado. Esta parte na qual será colocado PVC será a frente da máquina.

Na figura A.23 é possível ver desenhados dois retângulos que determinam a posição dos compensados de madeira que ficarão na vertical e ver também os dois furos para a inserção dos flanges.

A largura deste retângulo é de aproximadamente 1,4 cm e o comprimento é 10 cm. Para facilitar é aconselhável que o primeiro retângulo a ser feito seja o retângulo da parte traseira que na figura A.23 é o retângulo abaixo. Lembrando que o ponto médio do lado maior do retângulo que se encontra na parte de baixo da figura A.23 deve ficar no ponto médio da borda de maior comprimento da base. A partir desse retângulo pode construir o outro respeitando a distância entre os referidos retângulos de 18,5 cm ao longo da linha imaginária representada pela figura A.24.

Dentro desses retângulos devem ser feitos dois furos um pouco maior que a espessura da barra enroscada de 3/16.



*Figura A.20 – Nos pontos onde ocorre o encontro das linhas azuis devem ser colocado a broca que guia a serra copo.*



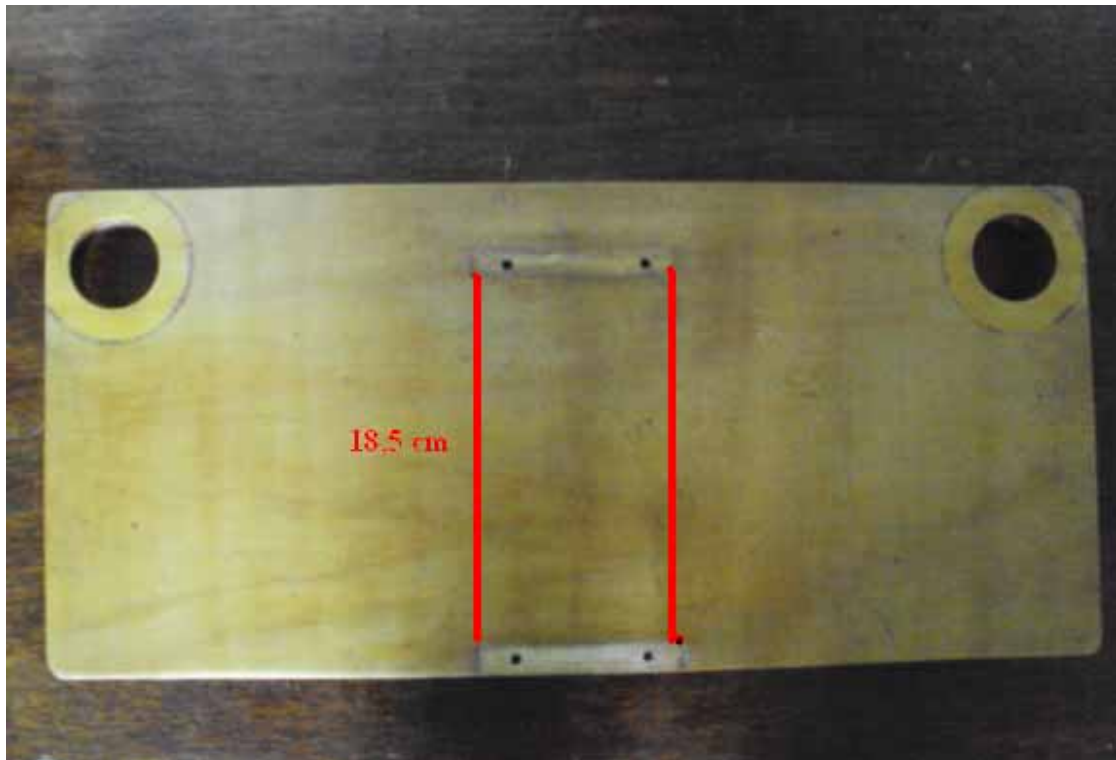
*Figura A.21 – Furando com a serra copo.*



*Figura A.22 – Detalhe da serra copo fazendo furo na base.*

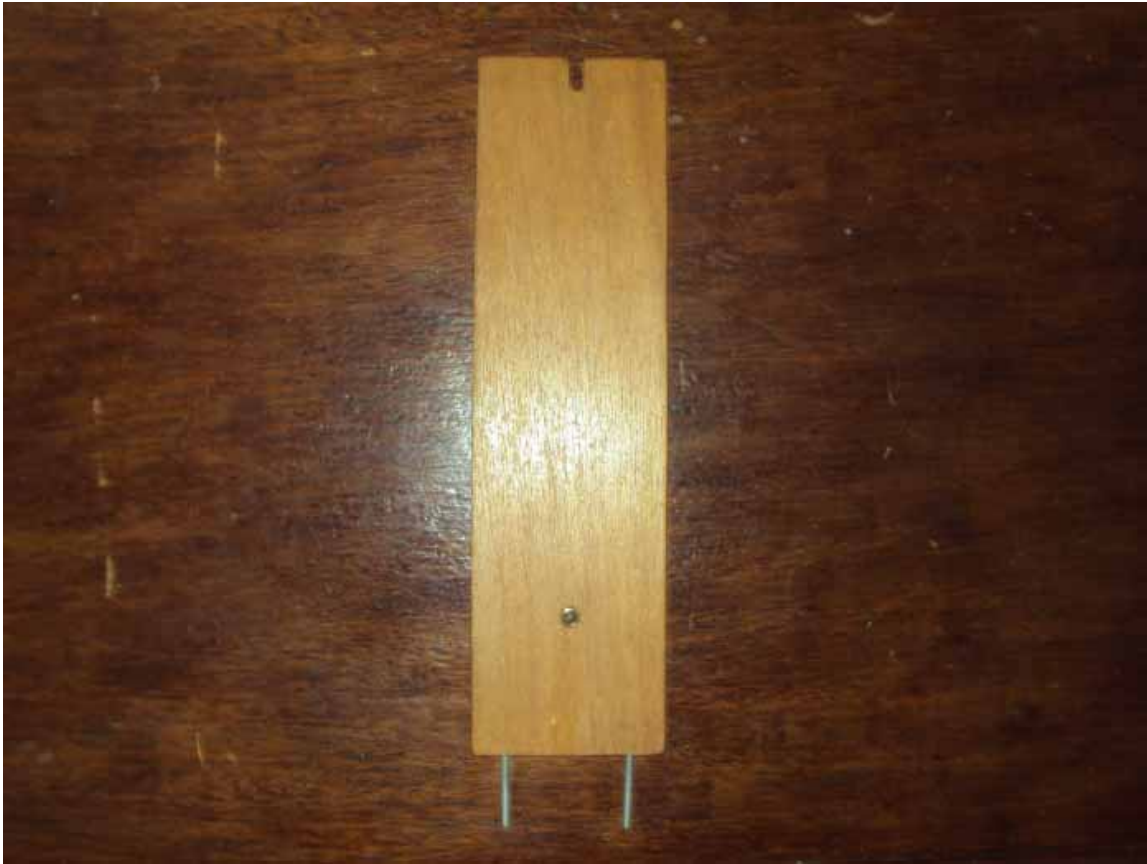


*Figura A.23 – Destaque para o retângulo de comprimento 10 cm cujo ponto médio do comprimento coincide com o ponto médio da borda de maior comprimento da base. Nesta foto também ilustra os furos com a serra copo.*



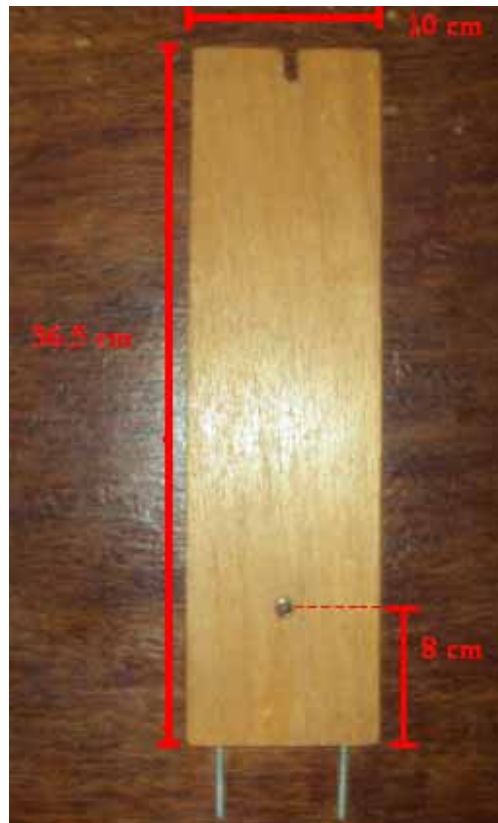
*Figura A.24 – Destaque para linha imaginária que marca a distância entre os dois retângulos no compensado maior que ficará na horizontal.*

Os dois compensados de madeira de 10 cm de largura devem adquirir a forma da figura A.25. Com duas barras enroscadas cravadas (é aconselhável passar uma cola para fixá-las) na face retangular de baixo. É sugerido que a barra enroscada fique 3 cm dentro do compensado e os outros 4 cm fiquem do lado de fora. Essas barras enroscadas serão inseridas na face retangular deste compensado, portanto os furos por onde serão inseridas as barras enroscadas devem ficar alinhados com os furos dos retângulos do compensado maior que ficará na horizontal.



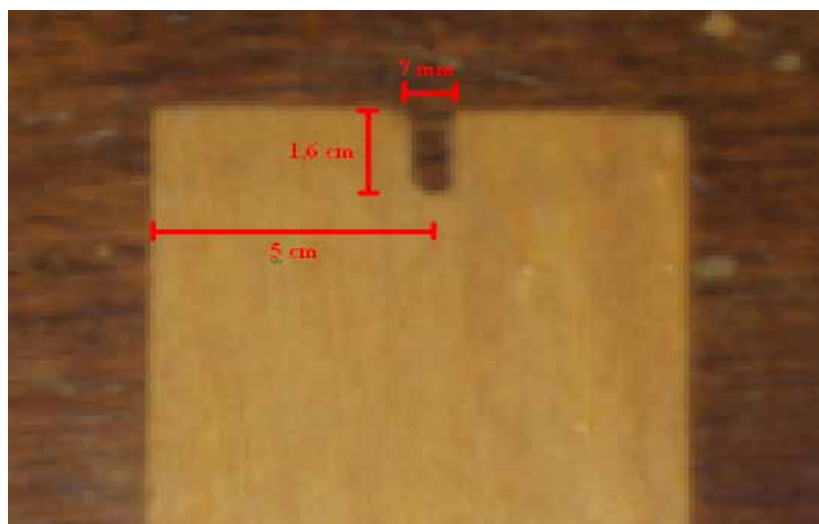
*Figura A.25 – estrutura que o compensado de 10 cm de largura deve possuir. Destaque para as duas barras enroscadas de 3/16 com 7 cm cada na parte de baixo de modo que 4 cm da mesma fique no lado de fora do compensado.*

A figura A.26 indica a distância de 8 cm entre o local que deve ser feito um furo para inserir a bucha stander (por onde passará o eixo da manivela) e uma borda do compensado. Esta figura indica também outros detalhes da peça.



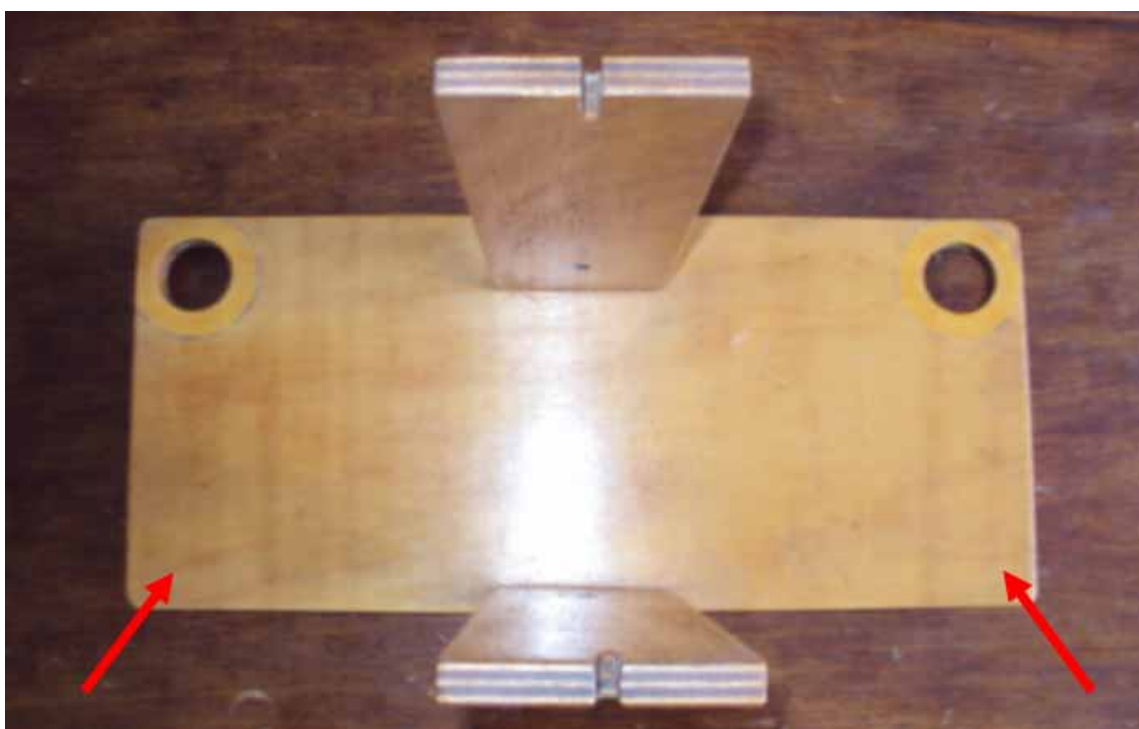
*Figura A.26 – Destaque para a distância do centro do furo para o encaixe da bucha stander e a base.*

A figura A.27 indica mais detalhes dessa peça.



*Figura A.27 – Destaque para a fenda de 7 mm de largura.*

Em seguida deve colocar os compensados de 10 cm de largura (o que ficará na vertical) fixado no compensado maior que ficará na horizontal conforme a figura A.28. E também colocar os 2 cubos de 3 cm de aresta cada na parte de baixo da base aproximadamente nas regiões indicadas pelas setas vermelhas conforme figura A.28 construindo assim os pés da base. Os outros pés serão uma parte dos flanges que serão encaixados nos furos dessa mesma base.



*Figura A.28 – Compensados de 10 cm de largura fixos no compensado maior.*

Depois deve colocar 1 borboleta em cada barra enroscada conforme a figura A.29.



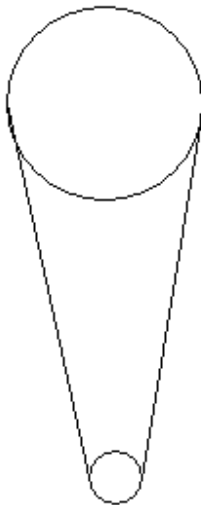


*Figura A.29 – Destaque para as borboletas nas barras enroscadas.*

#### **A.2.4 Discos**

Cada disco de acrílico de 40 cm de diâmetro deve ter um furo central um pouco maior que 6 mm.

Deve ser feito um modelo de setor numa cartolina conforme características apresentadas na figura A.30. Para fazer este modelo de setor na cartolina basta desenhar uma circunferência com raio 1,1 cm e uma circunferência com raio 4 mm e posicionar essas duas circunferências de tal maneira que a distancia entre os seus centros seja 6,2 cm. Em seguida deve ligar as duas circunferências através de linhas tangenciais a cada circunferência conforme a figura A.30 sugere.



*Figura A.30 – modelo de setor metálico que deve ser feito na cartolina.*

Em seguida deve desenhar 60 setores nas folhas de alumínio para prato de quentinha com o auxílio do modelo citado acima conforme indica a figura A.31, e em seguida deve cortá-los.



*Figura A.31 – Usando o modelo feito na cartolina para fazer os setores metálicos.*

Posteriormente devem ser colados 30 setores em cada disco com cola de isopor de tal maneira que a distância da borda arredondada maior que compõem o setor metálico para a borda do disco de acrílico seja aproximadamente 1 cm conforme apresentado na figura A.32 .



*Figura A.32 – Setores metálicos colados no disco maior de acrílico.*

Próxima etapa é colocar cada disco de acrílico maior entre uma polia menor e o disco de acrílico menor conforme apresentado na figura A.33. A polia deve ficar no lado que possui os setores metálicos colados. Os furos centrais: da polia menor, do disco de acrílico menor e do disco de acrílico maior devem ficar alinhados. E os furos onde serão colocados os parafusos de 3/16 para prender as três peças citadas também devem ficar alinhados. Lembrando que os furos das polias devem ser feitos com broca 5/32, e posteriormente deve passar os machos conforme orientações no final desse apêndice. As figuras A.34, A.35 e A.36 demonstram essa etapa.



*Figura A.33 – Preparando o alinhamento dos furos do disco de acrílico menor com o disco de acrílico maior. Repare que os furos da polia menor também estão alinhados com os furos do disco maior. Os furo da polia para a inserção do parafuso deve ser feito com broca 5/32 e posteriormente deve passar os machos conforme instruções no final desse apêndice.*



*Figura A.34 – Alinhando os furos do disco de acrílico menor, com os furos do disco de acrílico maior e também com os furos da polia.*



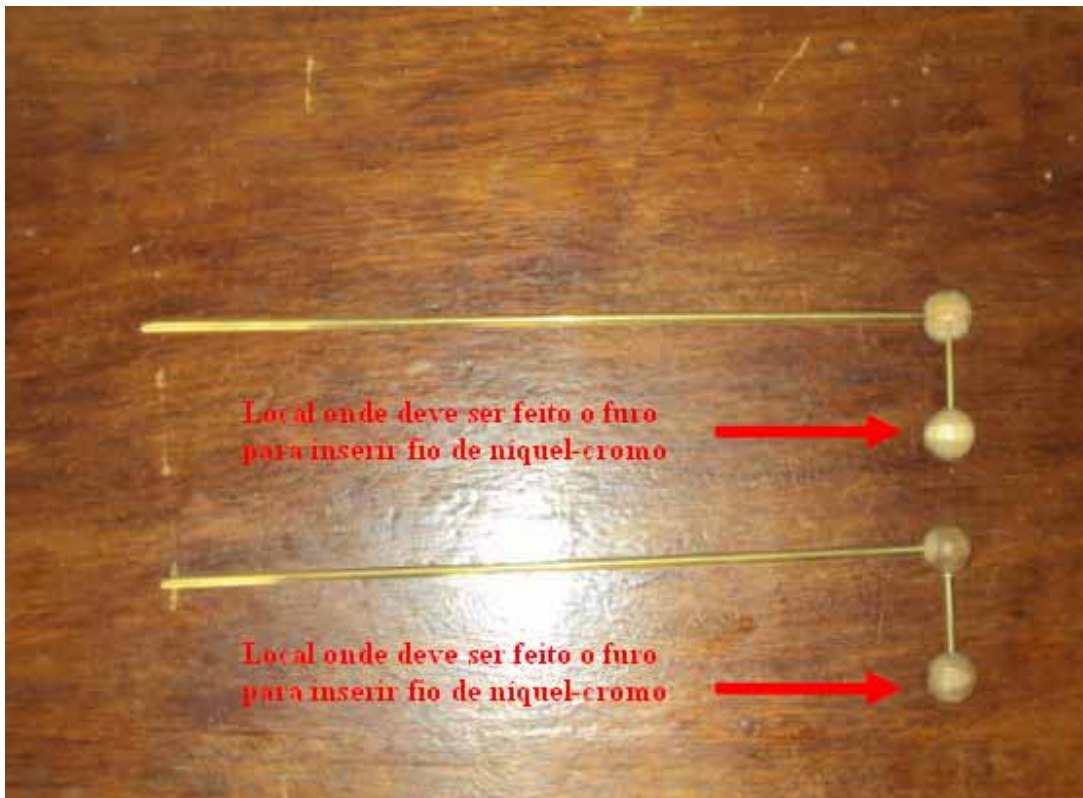
*Figura A.35 – Colocando os parafusos nos discos e na polia menor.*



*Figura A.36 – Forma final dos discos maiores.*

### **A.2.5 Coletores**

Para fazer cada coletor devem ser usados 2 bijuterias de aproximadamente 2 cm de diâmetro cada, 1 vareta de latão de 4,5 cm, 1 vareta de latão de 35 cm e 3 cm de fio de níquel-cromo. Essas peças devem ser conectadas como indica a figura A.37, levando em consideração que os 2 furos de cada bijuteria devem formar 90°. Numa das bijuterias deve ser feito um pequeno furo para ser inserido o fio de níquel-cromo conforme aponta a figura A.37. Cada fio pode ser enrolado em pequeno pedaço de papel alumínio e posteriormente inserido no furo da bijuteria.



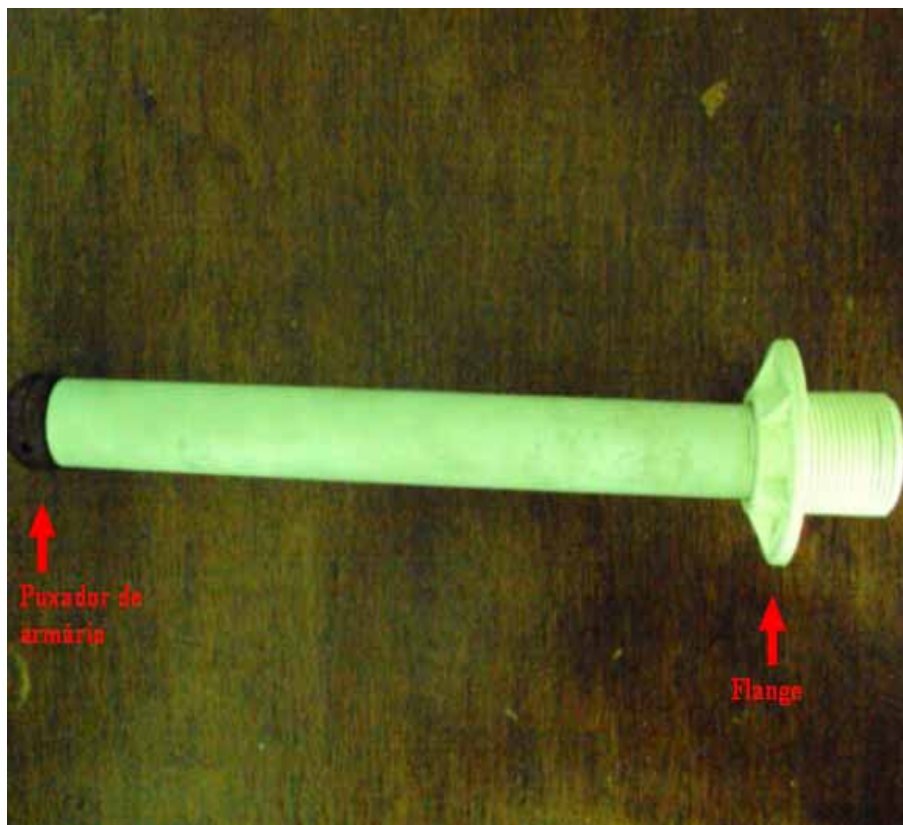
*Figura A.37 – Coletores.*

### **A.2.6 Colunas de PVC**

Para cada coluna de PVC de 1 polegada deve usar um puxador de armário de 3 cm a 3,5 cm colado com durapox na extremidade do PVC que não possui rosca. Já a extremidade com rosca deve ser enroscada no flange conforme a figura A.38.

Na parte de cima o puxador (figura A.39) deve ter um furo com 5/32. E em seguida nesse furo deve ser feita uma rosca com a utilização dos machos que abrem roscas.

Neste furo com rosca deve colocar um parafuso 3/16 ou uma peça como representada na figura A.40. Para fazer essa peça, uma extremidade da barra enroscada de 3/16 e 4 cm de comprimento, deve ser colada num furo de uma bijuteria (na foto a bijuteria é de plástico, porém o leitor pode usar de madeira). Esta peça no lugar do parafuso é aconselhada, pois tem uma extremidade arredondada evitando assim fuga de carga.



*Figura A.38 - Flange numa extremidade e puxador de armário de 3 cm a 3,5 cm em outra extremidade.*



*Figura A.39 – Furo de 5/32 na parte superior do puxador de armário.*





*Figura A.40 – Peça para fixação dos coletores.*

Outra etapa da construção é fazer um furo que atravesse todo o puxador de armário conforme figura A.41. Neste furo será introduzido o coletor e a peça da figura A.40 tem a função de evitar que o coletor gire. A figura A.42 apresenta a inserção da referida peça no puxador de armário.



*Figura A.41 – Furo no puxador de armário por onde deve passar o latão de 3/16. Neste furo não deve ser feito rosca.*



*Figura A.42 – Inserindo a peça de fixação dos coletores. Lembrando que pode ser substituída por um parafuso de 3/16.*

### A.2.7 Construção da manivela

Deve fazer um furo de 3/16 na madeira de 8 cm x 2 cm x 1 cm numa face maior e o furo de 7 mm na outra face maior porém em extremidade oposta conforme indica a figura A.43.



*Figura A.43 – Furo de 7 mm na madeira de 8 cm x 2 cm x 1 cm.*

Depois deve inserir a vareta de 3/16 no seu respectivo furo e o eixo de 7 mm no seu respectivo furo conforme a figura A.44. Uma sugestão é passar cola super bonder no latão e no eixo antes de fixá-los nos seus respectivos furos.



*Figura A.44 – Manivela.*

### **A.3 Montagem Geral**

#### **A.3.1 Colocando PVC na base**

Deve colocar uma coluna de PVC enroscada no seu respectivo flange de 1 polegada em cada furo feito com serra copo no compensado que fica na horizontal conforme figura A.45.



*Figura A.45 – Colocando a coluna de PVC.*

Depois deve fixar essa coluna com o enroscamento na parte de baixo do flange conforme figura A.46 demonstra.



*Figura A.46 – Colocando a peça para enroscar o flange e conseqüentemente fixar a coluna de PVC.*

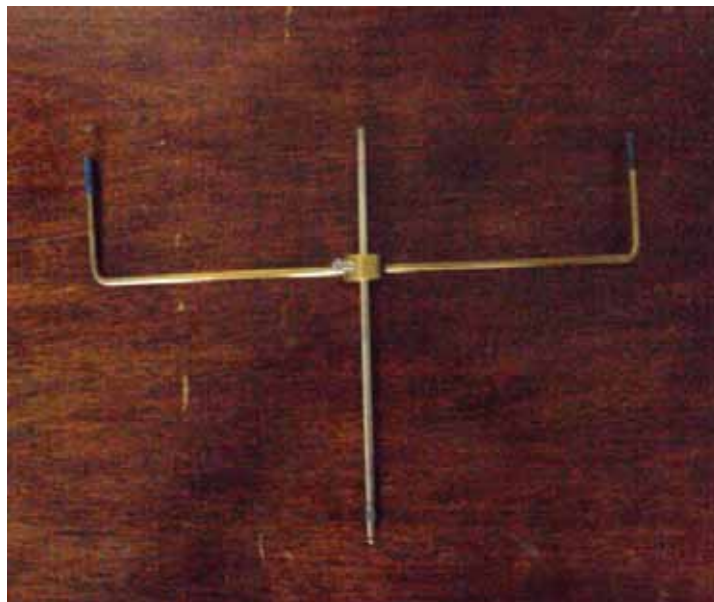
A base deve ficar conforme indica a figura A.47.



*Figura A.47 – Base da máquina com as colunas de PVC e compensado de 10 cm de largura.*

### A.3.2 Montando a estrutura do disco

Deve pegar o eixo de impressora e colocar o neutralizador conforme a figura A.48.



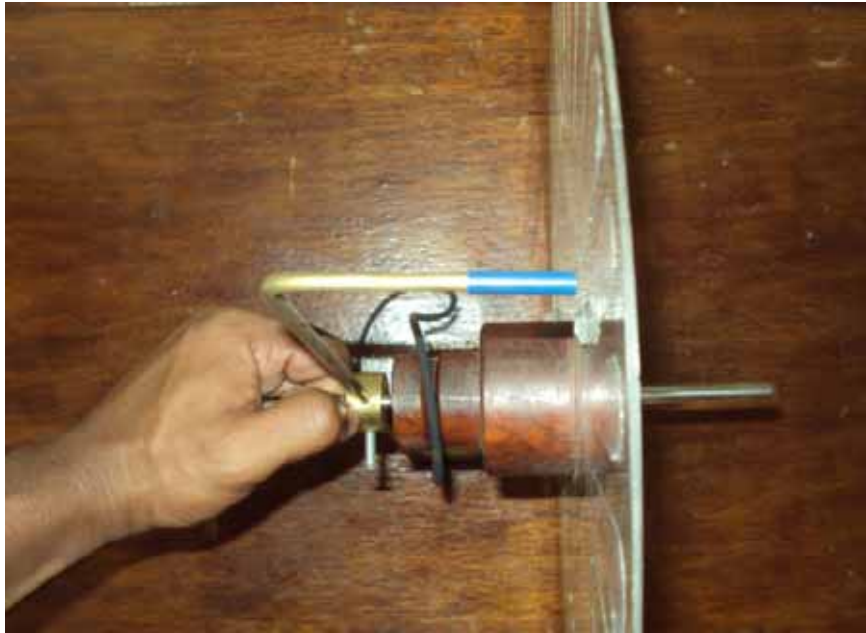
*Figura A.48 – Inserindo o primeiro neutralizador no eixo superior.*

Em seguida deve colocar o o-ring conforme a figura A.49.



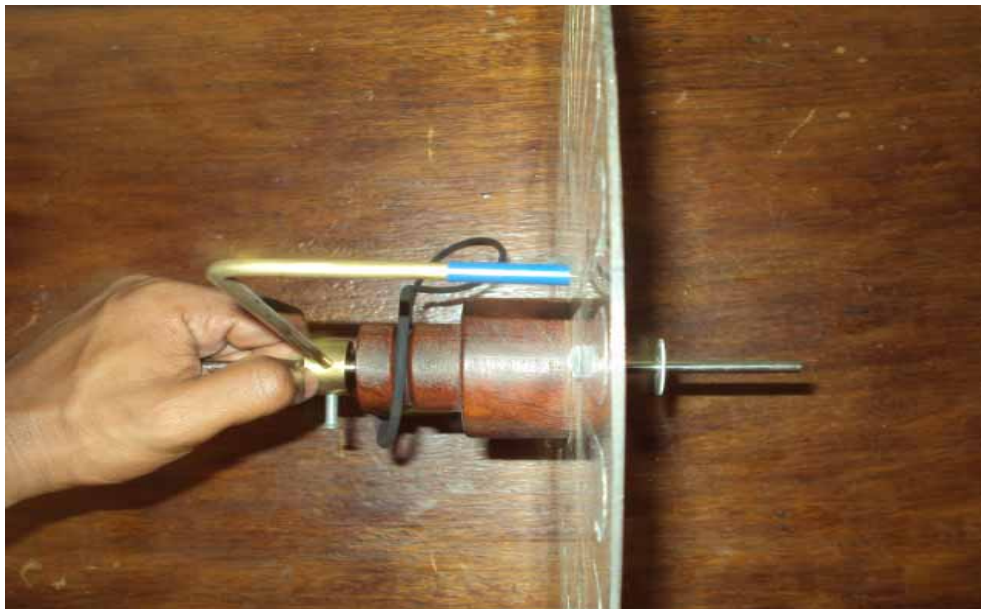
*Figura A.49 – Preparando um disco maior com um o-ring.*

Posteriormente deve inserir o conjunto disco e o-ring no eixo conforme a figura A.50.



*Figura A.50 – Colocando o disco maior junto com o-ring no eixo superior.*

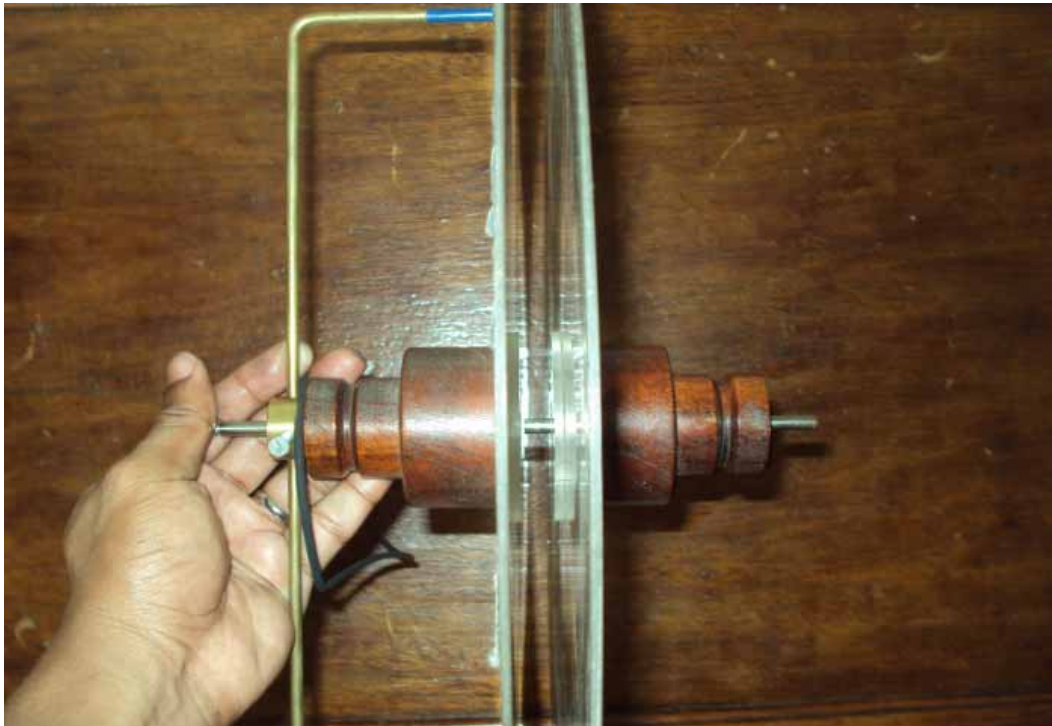
Depois deve inserir o disco de papelão conforme a figura A.51 (na foto o disco é de teflon).



*Figura A.51- Colocando o disco de teflon no eixo superior.*

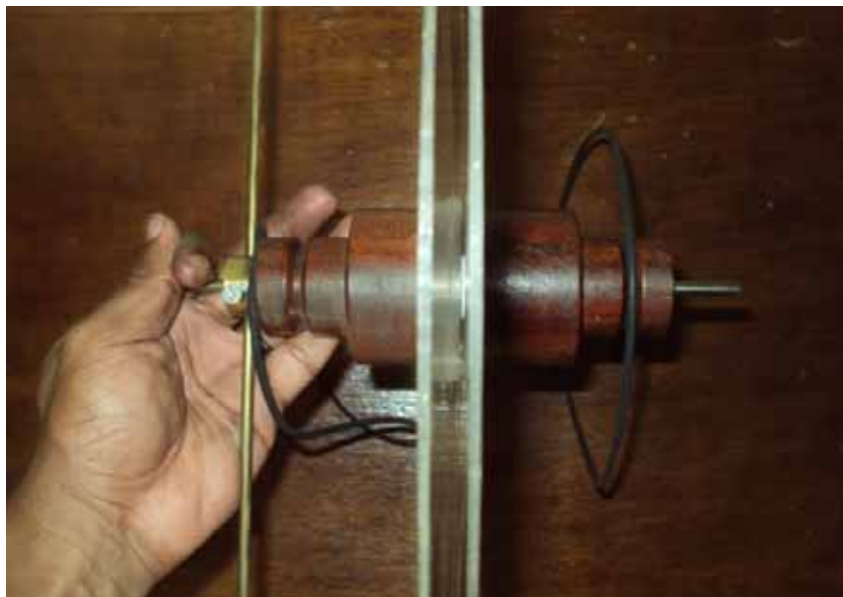
Em seguida deve ser colocado outro conjunto disco e polia conforme figura A.52.





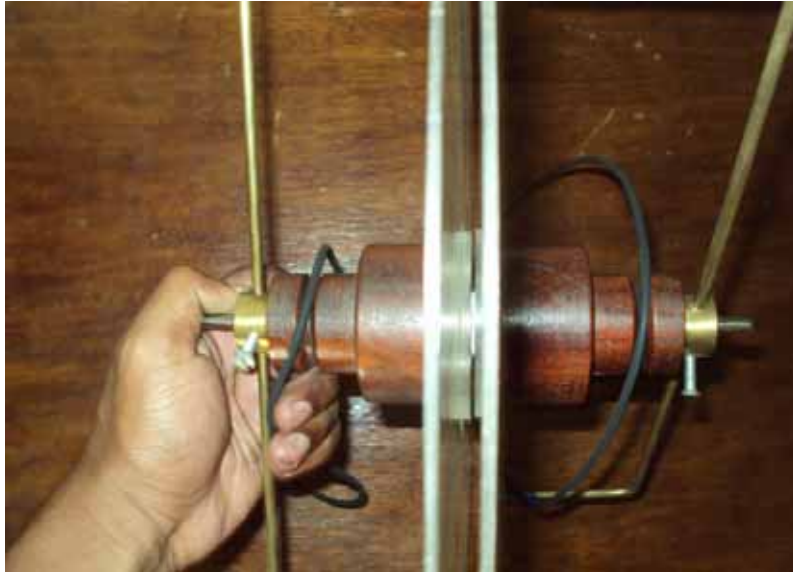
*Figura A.52 – Colocando o segundo disco no eixo superior.*

Depois deve colocar o o-ring conforme figura A.53.



*Figura A.53 – Colocando o segundo o-ring.*

E em seguida deve colocar o outro neutralizador conforme figura A.54.



*Figura A.54 - Colocando o segundo neutralizador.*

Pronto o conjunto do disco está todo completo.

### **A.3.3 Colocando a estrutura do disco na base**

Agora deve encaixar esse conjunto no compensado que fica na vertical conforme figura A.55 e figura A.56.

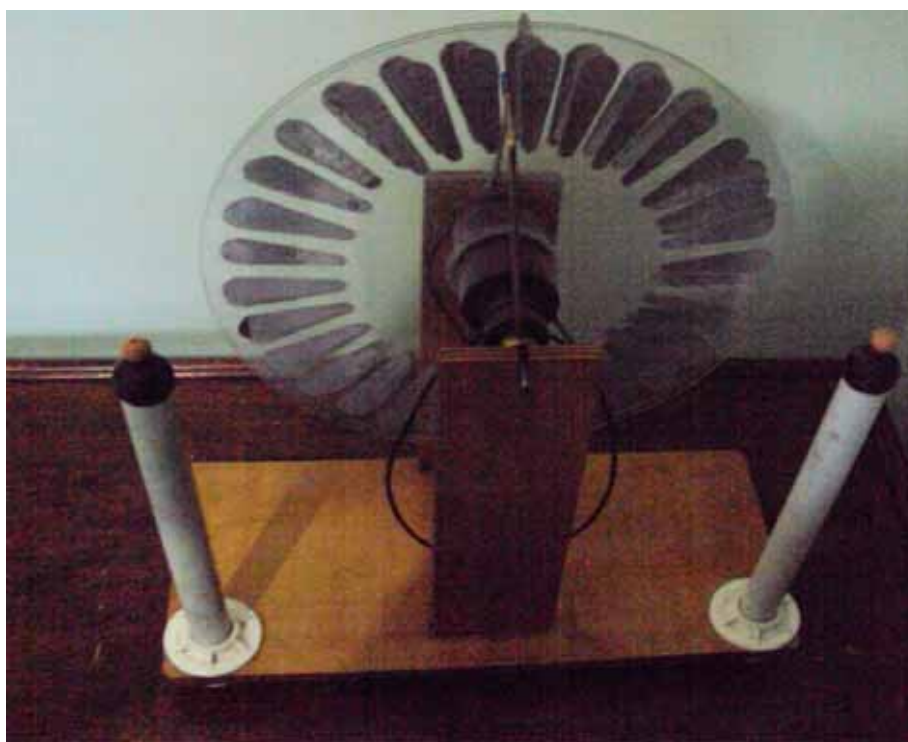


*Figura A.55 – Encaixando o conjunto do disco no compensado de 10 cm de largura.*



*Figura A.56 – Destaque do eixo superior encaixado na fenda do compensado de 10 cm de largura*

A máquina vista de frente deve ficar conforme mostra a figura A.57.



*Figura A.57 – Vista frontal da máquina já com os discos.*

### A.3.4 Colocando os coletores

Os coletores devem ser colocados conforme mostra as figuras: A.58 e A.59.



*Figura A.58 – Colocando o primeiro coletor.*



*Figura A.59 – Colocando o segundo coletor.*

Os coletores devem ficar de uma maneira que a ponta do fio de níquel-cromo não tenha contato com os discos, permanecendo a uma distância de 0,5 cm a 1 cm dos mesmos conforme figura A.60.



*Figura A.60 – Destaque para o posicionamento do fio de níquel – cromo dos coletores. Esses fios não devem ter contato com os discos.*

### **A.3.5 Colocando a manivela e as polias do eixo de baixo**

Ao inserir a manivela na bucha stander que fica no compensado de 10 cm e que está mais distante das colunas de PVC, deve-se colocar os dois cilindros conforme a figura A.61 de modo que o cilindro que possui um parafuso deve ser colocado por último.

Depois deve colocar uma polia maior conforme ilustra a figura A.62.

A próxima etapa é colocar outra polia maior conforme demonstra a figura A.63.

Em seguida deve pegar a polia maior que está mais próxima das colunas de PVC e torcer o o-ring conforme mostram as figuras: A.64, A.65 e A.66.

Posteriormente o eixo deve passar pela segunda polia e deve atravessar o furo do compensado que fica na posição vertical mais próximo das colunas de PVC, com isso a estrutura deve ficar conforme a figura A.67.



*Figura A.61 – Colocando os cilindros no eixo da manivela.*



*Figura A.62 – Colocando a polia maior na manivela.*



*Figura A.63 – Colocando a segunda polia maior no eixo da manivela.*



*Figura A.64 – Iniciando a torção do o-ring mais próximo da coluna de PVC.*

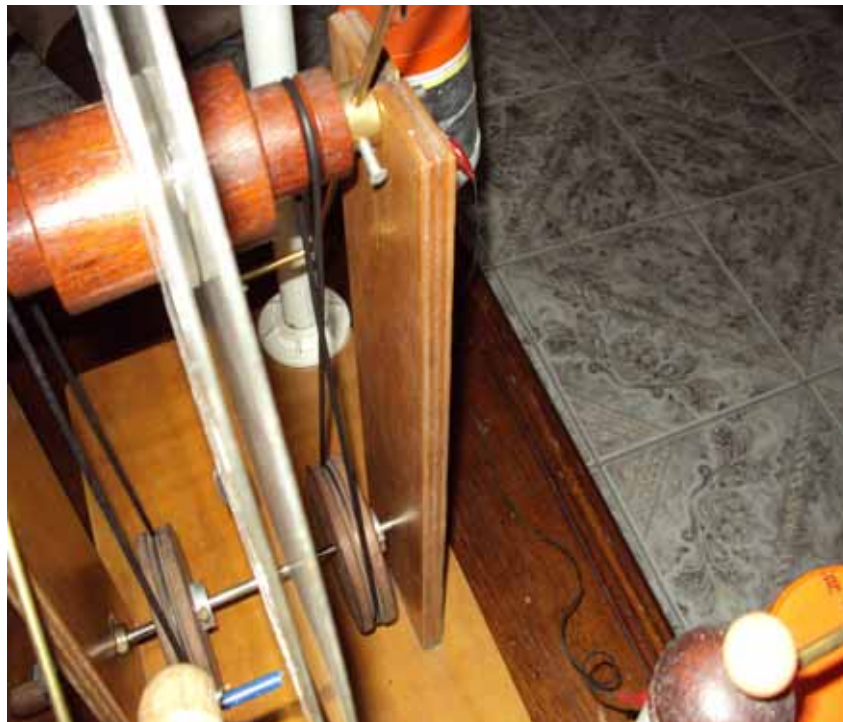


*Figura A.65 – Continuando com a torção do o-ring.*





*Figura A.66 – Torção completa do o-ring mais próximo das colunas de PVC.*



*Figura A.67 – Destaque da torção do o-ring mais próximo das colunas de PVC.*

### A.3.6 Regulando os neutralizadores

Com o leitor se posicionando na parte traseira da máquina o mesmo terá a visão aproximadamente como o da figura A.68.

Neste caso o leitor está mais próximo da parte da máquina que tem a manivela se posicionando ao lado oposto que se encontra as colunas de PVC.

Lembrando que depois de posicionar os neutralizadores nas posições corretas, o leitor deve certificar de que os 4 fios de níquel-cromo entre o canudo de plástico (canudo azul da figura A.68) e a vareta de latão em formato **L**, deve estar em contato com os discos.



*Figura A.68 – Vista da máquina.*

Então o leitor deve posicionar o neutralizador mais próximo da manivela num ângulo de  $120^\circ$  no sentido anti-horário e fixá-lo apertando o parafuso que fica no cilindro desse mesmo neutralizador conforme figuras: A.69 e A.70.

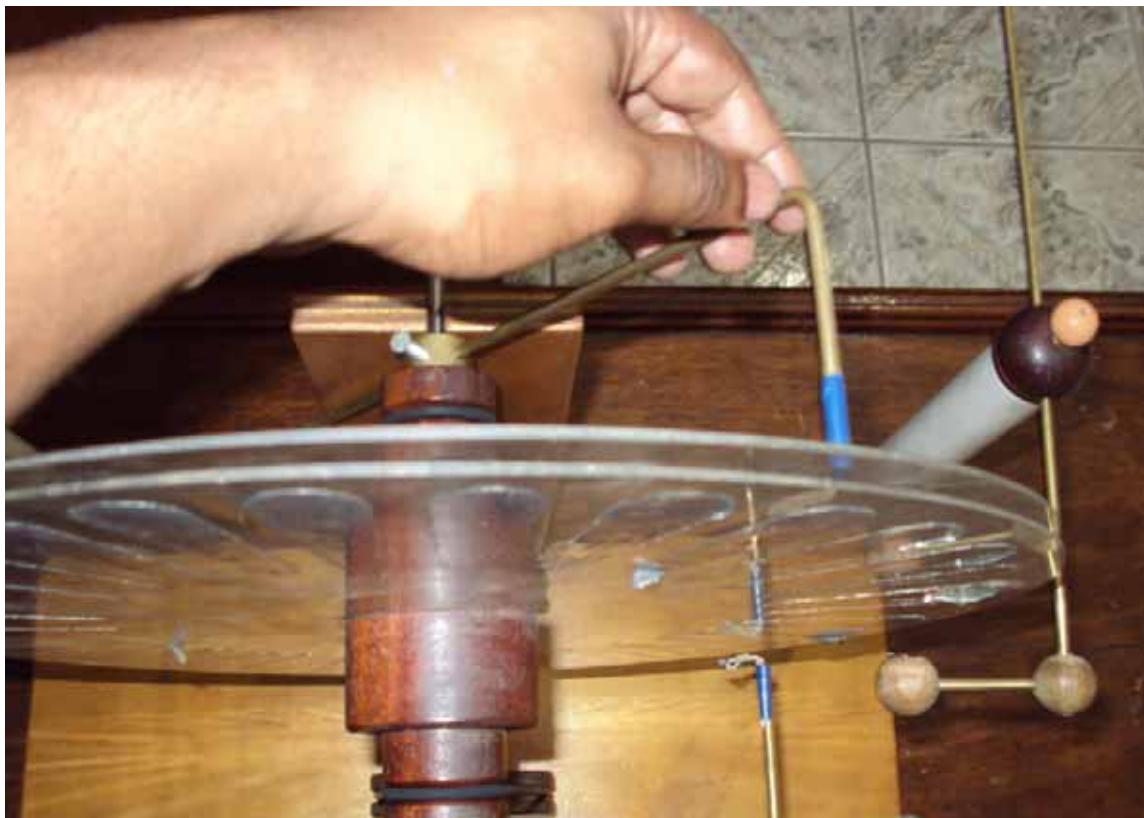


*Figura A.69 – Posicionando o neutralizador mais afastado das colunas de PVC.*



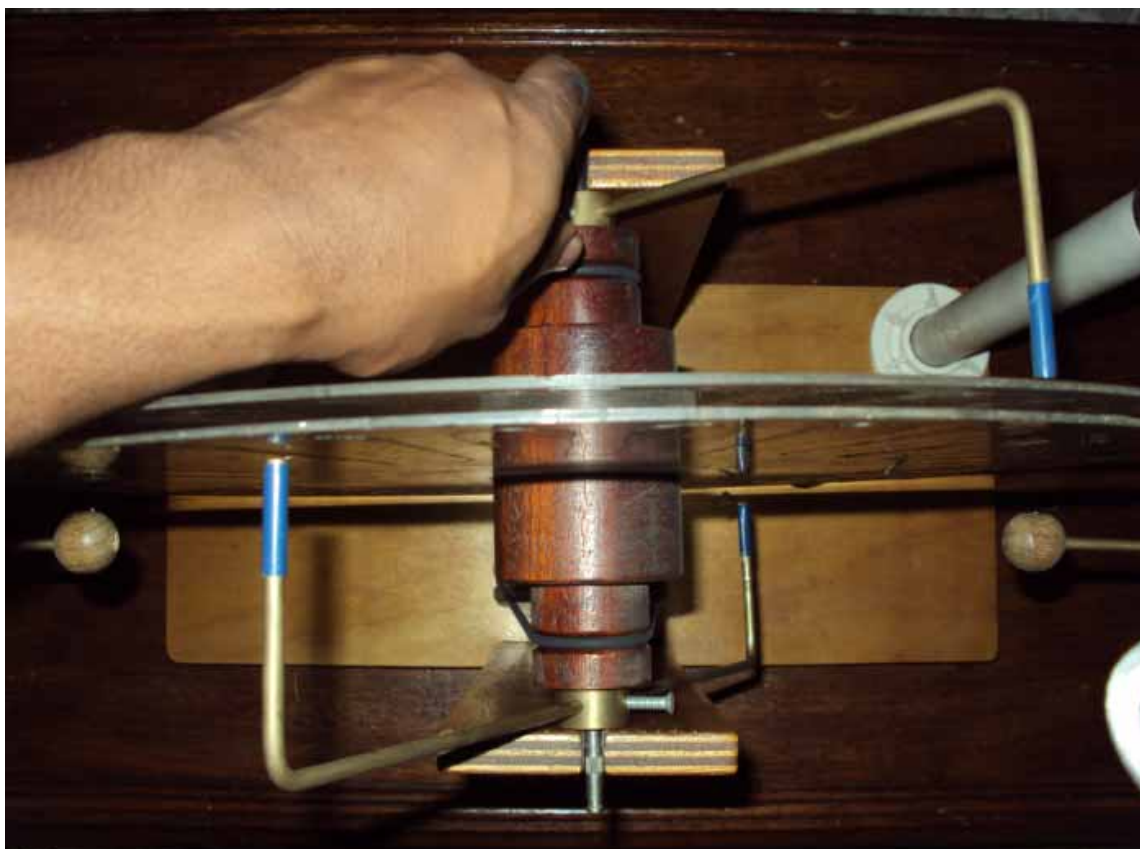
*Figura A.70 – Neutralizador mais afastado das colunas de PVC na posição correta.*

Agora o leitor deve dirigir a sua atenção para o neutralizador mais próximo das colunas de PVC de modo a posicionar o referido neutralizador num ângulo de  $60^\circ$  no sentido anti-horário conforme figura A.71.



*Figura A.71 – Colocando na posição correta o neutralizador mais próximo das colunas de PVC.*

E agora deve fixá-lo apertando o parafuso conforme figura A.72.

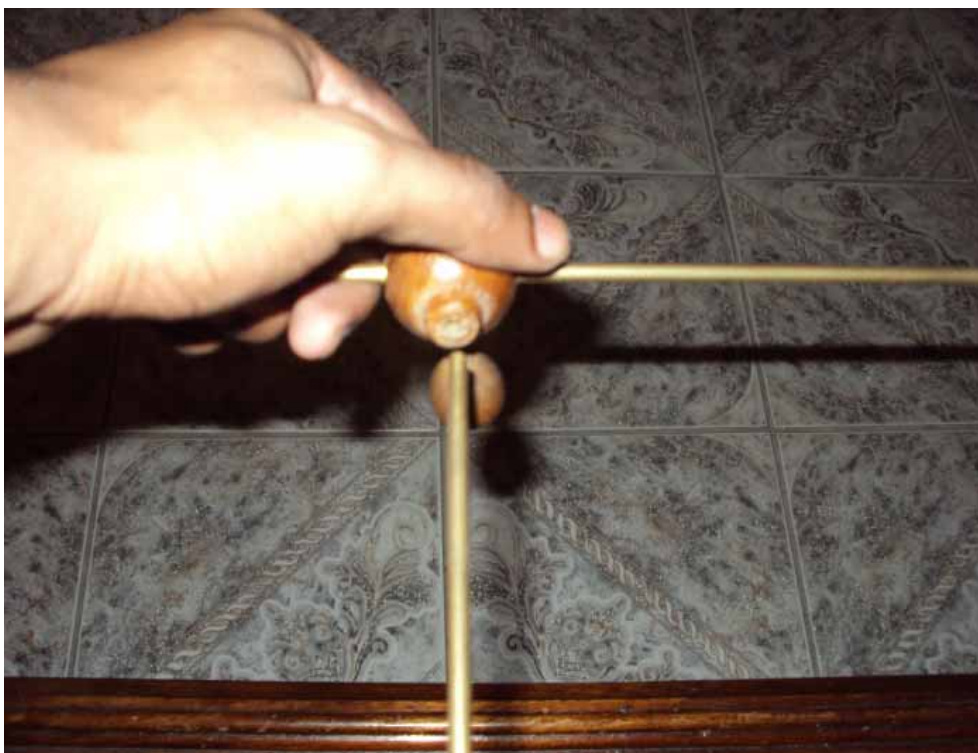


*Figura A.72 – Fixando na posição correta o neutralizador mais próximo das colunas de PVC.*

### **A.3.7 Colocando os terminais**

Cada terminal deve ser colocado numa extremidade de um coletor conforme figura A.73.

A máquina ficará no arranjo conforme figura A.74.



*Figura A.73 – Colocando o terminal no coletor.*



*Figura A.74 – A máquina com os terminais colocados.*

Para colocar a máquina para funcionar basta deixar as duas esferas dos terminais bem separadas e girar a manivela no sentido horário, que depois de um tempo a máquina irá se carregar. Em seguida basta aproximar as esferas que sairá faíscas de uma esfera a outra conforme figura A.75. Antes o leitor deve se certificar de que os fios de níquel cromo das 4 peças de formato **L** estejam em contato com os setores metálicos dos discos durante a operação da máquina.

Geralmente as máquinas eletrostáticas são sensíveis a umidade, porém a máquina de Wimshurst é uma das menos sensíveis podendo ser prejudicada por umidade acima de 80 %, embora dificilmente impedida. Uma sugestão para dias úmidos é manipular a máquina em salas com ar condicionado ou desumidificadores.



*Figura A.75 – A máquina liberando faísca.*

Depois de manipular a máquina é aconselhável encostar uma esfera na outra para que as mesmas se descarreguem, embora essa descarga possa ocorrer automaticamente em dias com muita umidade.

Para “fortalecer” as faíscas, basta acoplar a garrafa de Leyden a esta máquina.

#### **A.4 - Montagem da garrafa de Leyden**

Sugerimos que acople duas garrafas de Leyden na máquina de Wimshurst para “reforçar” a descarga elétrica. A seguir daremos a descrição dos materiais necessários e os procedimentos para a sua montagem.

##### **A.4.1 - Materiais para a garrafa de Leyden**

- Papel alumínio fino
- 2 potes de achocolatado cilíndrico de plástico com uma tampa de plástico cada
- 1 metro de arame fino
- 2 pedaços de fio de cobre rígido com 25 cm cada
- 70 cm de corrente metálica fina

##### **A.4.2 - Montagem geral da garrafa de Leyden**

Deve-se desencapar as duas extremidades de cada fio de cobre para que seja possível manter contato entre as partes condutoras. Em seguida deve fazer um furo no centro de cada tampa e inserir um fio de cobre em cada uma. A extremidade que ficará do lado de fora após a tampa ser colocada em cada pote, deve ser encurvada de maneira que toda estrutura deve ficar como a da figura A.76.





*Figura A.76 – Estrutura da tampa da garrafa de Leyden..*

Em seguida deve-se cortar quatro retângulos de folha de alumínio de maneira que a largura seja  $\frac{2}{3}$  da altura do pote de achocolatado e o comprimento seja 1 cm maior que a circunferência da borda do pote de achocolatado cilíndrico. Cada pote de achocolatado deve ser envolvido por um tira de alumínio de modo que para fixá-la deve-se passar cola na borda do papel e não por toda a sua superfície. Depois cada folha deve ser envolvida com o arame fino e a estrutura deve ficar conforme a figura A.77.



*Figura A.77 – Folha de papel alumínio da parte externa da garrafa de Leyden envolvida por arame.*

No interior de cada pote de achocolatado também deve-se colocar uma tira de papel alumínio na mesma direção das tiras externas. E deve-se ainda colocar na base da parte interna do pote papéis alumínio em contato com essas tiras internas que estão nas paredes internas para que depois que se tampar as garrafas de Leyden a extremidade do fio de cobre desencapado mantenha contato com as tiras de papel que estão no interior do pote, coladas nas paredes internas conforme figura A.78.



*Figura A.78 – Vista de cima do pote de achocolatado com destaque para as folhas de alumínio coladas na base interna e na parede interna.*

Em seguida deve-se tampar cada pote e interligar através da corrente metálica as duas tiras externa de papel alumínio conforme a figura A.79. Para isso basta prender cada extremidade da corrente em um arame fino conforme a mesma figura.

Agora é só acoplar a garrafa de Leyden na máquina conforme a figura A.80.



*Figura A.79 – Interligando as duas tiras externas com corrente metálica.*

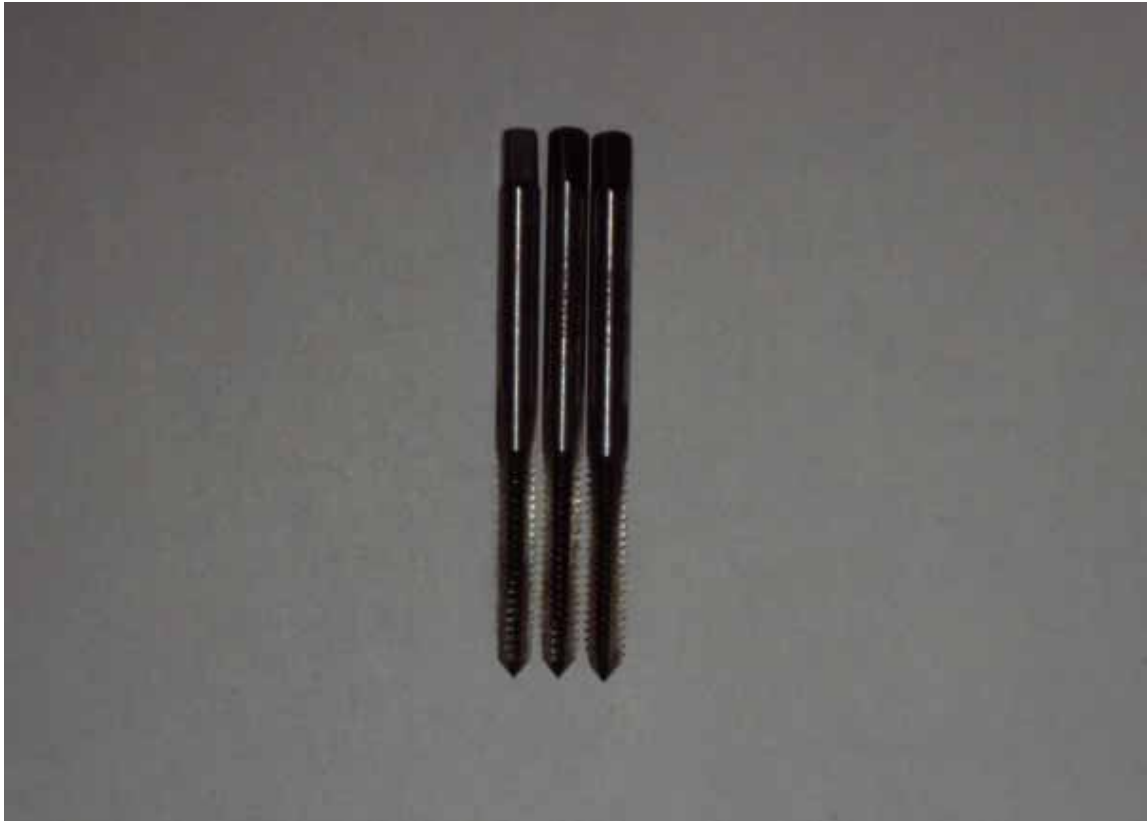


*Figura A.80 – Acoplando as garrafas de Leyden na máquina.*

Depois é só colocar os terminais conforme ilustra a figura A.73.

#### **A.5 - Utilizando os machos para abrir rosca**

Como já mencionado no início desse apêndice, para abrir rosca de 3/16 o furo deve ser feito com uma broca um pouco menor, no caso nós utilizamos uma broca de 5/32. Em seguida devem ser usados os machos da figura A.81



*Figura A.81 – Machos para abrir rosca em ordem que devem ser utilizados da esquerda para a direita.*

Os três machos são diferentes, repare que no macho da esquerda a ponta não é negra, ou seja, parte negra vai até uma determinada parte da superfície, em seguida, a superfície é prateada. Já no macho do meio a área prateada é menor e no macho da direita a ponta é toda negra. Os machos devem ser utilizados nessa ordem. Para girar o macho é aconselhável utilizar um dispositivo para tal propósito, porém os autores utilizaram alicate.

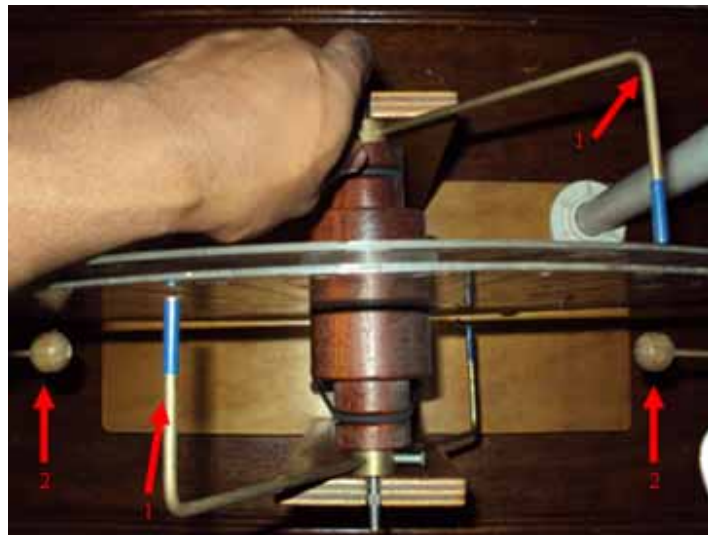
#### **A.6 – Funcionamento da máquina**

A seguir serão mencionados nomes de algumas partes da máquina de modo que o prezado leitor pode verificar a foto A.1 para visualizar essas partes. A máquina de Wimshurst é composta por dois discos isolantes dispostos em frente um ao outro e que giram em torno de um mesmo eixo horizontal, porém em sentidos opostos. Nesses discos são fixados diversos setores metálicos com bordas arredondadas para diminuir as perdas de

carga por efeito corona. Os setores são mais largos nas bordas que no seu interior, permitindo um espaçamento constante entre eles ao redor do disco.

Em frente a cada disco existem duas barras metálicas, que são cruzadas uma em relação à outra fazendo um ângulo entre elas de aproximadamente 60°. Essas barras são chamadas de barras neutralizadoras. Elas possuem em suas extremidades escovas feitas com fios metálicos que fazem contato com os setores metálicos da máquina.

Para ajudar na compreensão do funcionamento da máquina serão usados a figura A.82 e o esquema da figura A.83 para representar as partes que compõem a estrutura dos discos. Observe que no esquema existem 4 coletores porém na máquina acima só existem 2 coletores para facilitar a construção.



*Figura A.82 – Vista superior da máquina.*

1 - Neutralizadores

2 - Coletores

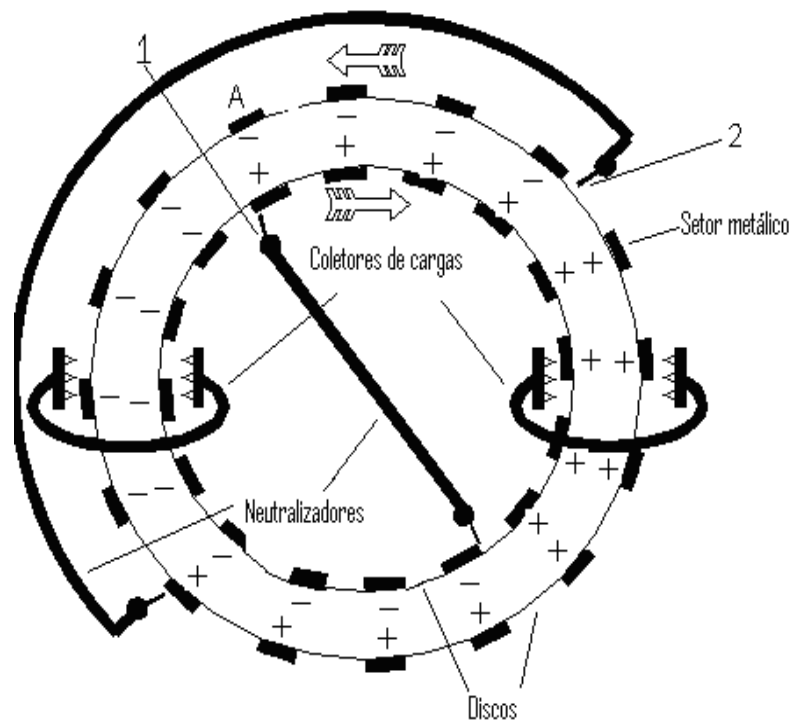


Figura A.83 – Esquema dos discos com os neutralizadores e coletores.

Observe ainda que as duas setas na região superior do diagrama indicam o sentido de rotação dos discos.

Um setor metálico de um disco ao ter contato com um neutralizador, atrairá para si uma carga oposta a carga do setor metálico do segundo disco por influência do campo elétrico. Por conta de vários setores metálicos influenciarem um setor e também por conta dos efeitos dos setores em alto potencial nas laterais da máquina, o setor aterrado pela escova recebe mais carga do que havia nos setores do disco oposto. E por outro lado estes setores carregados servirão de fontes de influência para os setores do outro disco havendo assim uma realimentação do processo. É importante ressaltar que a tensão máxima que pode ser atingida é limitada pelas perdas através das faíscas e essas perdas por sua vez são controladas pelas dimensões dos discos.

Consideremos um setor metálico **A** representado pela figura A.83 inicialmente com carga negativa, então por influência essa carga negativa fará com que uma carga de mesmo sinal seja retirada do setor metálico do outro disco (de modo que este ficará com carga positiva) percorrendo o neutralizador (menor no esquema) e chegando ao setor metálico em



contato com outra extremidade do mesmo neutralizador. Repare que esse processo “divide” o disco em duas regiões: uma com setores metálicos com carga positiva e a outra com setores metálicos com carga negativa. Os setores metálicos do disco que gira no sentido horário ao passarem pela extremidade **1** do neutralizador da parte superior adquirem carga positiva e quando esses setores passam próximos aos setores metálicos do disco que gira no sentido anti-horário que estão em contato com a extremidade **2** do outro neutralizador, induzem carga negativa. Com isso os setores metálicos do disco que gira no sentido anti-horário ao passarem na posição onde o setor metálico **A** estava, induzirão carga positiva fazendo com que haja um processo de “realimentação positiva”.

Quando os setores metálicos carregados passam em frente aos coletores perdem parte de suas cargas para os mesmos. Lembrando que cada coletor está acoplado a um terminal então cada terminal ficará com um tipo de carga.

Quando os terminais são aproximados há um aumento de campo elétrico na região entre as esferas dos terminais, com isso há o rompimento da rigidez dielétrica e conseqüentemente a fâisca elétrica. Nesse esquema não estão inseridas as garrafas de Leyden, pois são dispositivos para aumentarem a potência das fâiscas elétricas podendo ser agregadas para tal intenção.

## **A.7 - Atividades com a máquina de Winshust**

### **A.7.1 - Atividade I – Arrepiando os cabelos com a máquina de Wimshurst**

*Material:*

Máquina de Wimshurst

Caixa de refrigerante feita de plástico

Nesta etapa a pretensão é de que o aluno perceba que um corpo, ao acumular carga elétrica, distribui pelo espaço uma grandeza que pode ser útil ao analisar uma certa situação física como a determinação se haverá ou não o fluxo de cargas elétricas entre o corpo carregado e um determinado ponto (ou corpo) caso algumas condições sejam obedecidas (como o rompimento da rigidez dielétrica do ar).

A experiência realizada com a máquina de Wimshurst consiste em conduzir o estudante até uma base isolante (caixa de refrigerante feita de plástico) conforme figura A.84 e posteriormente fazer com que o estudante tenha contato com a máquina descarregada através de um terminal.



*Figura A.84 – Estudante em cima da caixa de refrigerante e em contato com um dos terminais da máquina descarregada.*

Em seguida a manivela deve ser girada até que os cabelos do estudante começam ficar arrepiados, é sugerido que se mantenha a manivela girando para que o efeito seja maior.

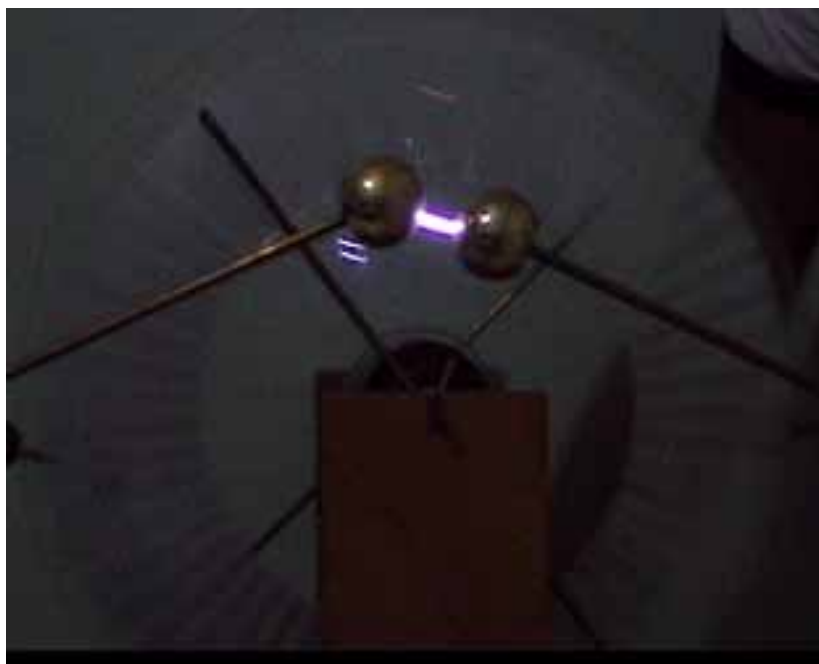


*Figura A.85 – Cabelo da estudante arrepiado.*



*Figura A.86 - Cabelo da estudante arrepiado (visto de frente).*

Depois o estudante deve se descarregar entrando em contato com a parede e o professor deve girar novamente a manivela no sentido horário e produzir faíscas ao aproximar as duas esferas dos terminais (para evidenciar que essa máquina tem capacidade de dar choque) conforme figura A.87. Este procedimento junto com o anterior certamente terá um grande apelo perante os alunos. Esta é uma boa oportunidade para discutir o fenômeno de descarga corona. O professor pode explicar que próximo à bordas (pontas), o campo elétrico pode tornar-se muito alto. E ainda que, embora o ar seja considerado um isolante, ele contém íons produzidos por raios cósmicos e por emissão de radiação ionizante por radioisótopos. Assim, um eletrodo pontiagudo carregado irá atrair íons de polaridade oposta. Esta força atrativa ( $\mathbf{F}=q\mathbf{E}$ ) acelera os íons a velocidades suficientemente altas para produzir mais íons por colisão (efeito avalanche). E ainda, elétrons livres podem ser liberados do eletrodo negativo, encontrando uma molécula de oxigênio, formando um ânion de oxigênio ( $\text{O}_2^-$ ), aumentando ainda mais a corrente de íons. Estes íons, fluindo entre os eletrodos, constituem uma corrente elétrica ou descarga corona, com um brilho visível e também produzindo um som característico. A luz da descarga corona é devido aos elétrons da molécula de oxigênio que podem ser excitados para níveis de energia superiores. Ao retornar aos níveis mais baixos, luz visível e ultravioleta são emitidas.



*Figura A.87 – Produção de faísca com a máquina.*

Em seguida o professor pode lançar a seguinte pergunta para os estudantes: “*Como vocês explicam o fato de o estudante não tomar choque enquanto manteve contato com a máquina para arrepiar o seu cabelo, já que essa máquina acionada é capaz de produzir faíscas?*” ou ainda: “*De onde veio a energia elétrica liberada pela máquina de Wimshurst?*”, ressaltando que a energia não é maior do que o trabalho realizado ao girar a manivela, com o intuito de trabalhar o conceito de conservação de energia.

A partir desse ponto o professor pode responder que é porque não há diferença de potencial elétrico entre o estudante e a máquina, porém antes o professor deve esperar se algum estudante irá manifestar a sua opinião.

Então o professor pode rever os conceitos de potencial e campo elétrico. Lembramos que o professor já introduzira anteriormente estes conceitos na parte expositiva da aula.

As atividades a seguir foram adaptadas para a utilização da máquina de Wimshurst a partir do livro de Kleber Daum Machado [Machado 2007].

### **A.7.2 - Atividade 2 - Pêndulo eletrostático**

*Material:*

Máquina de Wimshurst

Um suporte

Um fio de seda, linha de costura, barbante ou nylon (ou qualquer material leve e não condutor)

Uma bolinha de isopor

Um pedaço de papel-alumínio

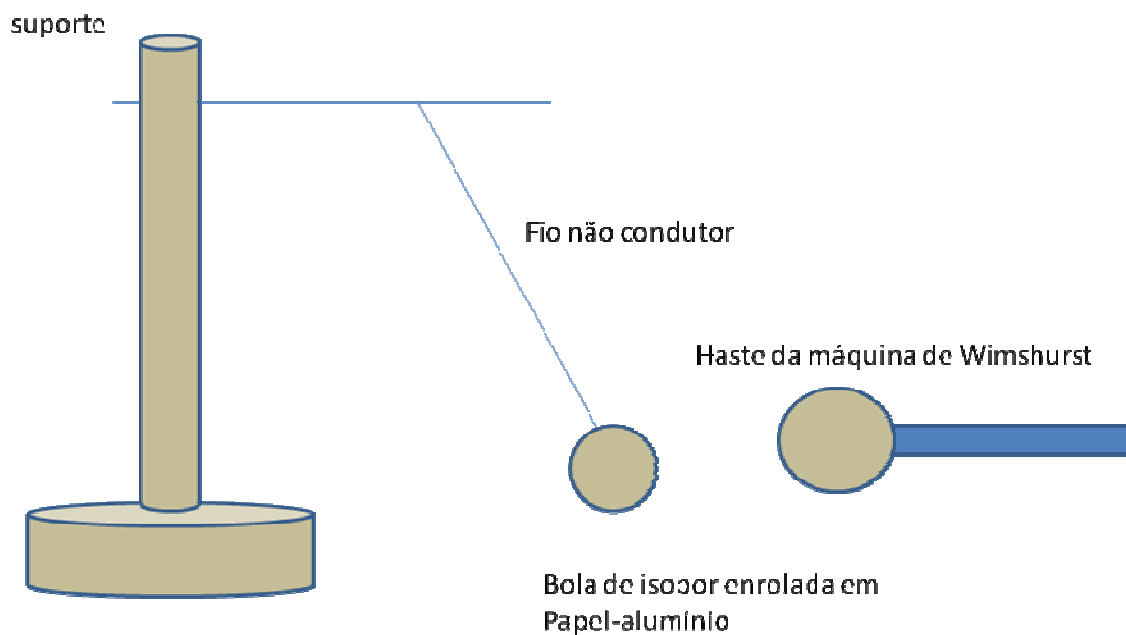


Figura A.88 – Esquema para o experimento com o pêndulo eletrostático.

Aproxima a haste da máquina de Wimshurst sem tocar na bolinha. A bolinha eletricamente neutra ficará polarizada, com isso será atraída pela esfera da máquina de Wimshurst através do campo elétrico, pois cargas opostas as da haste da máquina ficarão na região mais próxima da haste, portanto a força de atração será maior que a de repulsão (força elétrica entre as cargas da haste e as cargas de mesmo sinal que ficaram mais afastadas da haste). Repita a operação colocando a haste a diversas distâncias da bolinha.

Depois toque a bolinha na haste da máquina de Wimshurst e verifique o que acontece agora (a bolinha ficará com carga de mesmo sinal que a carga da haste da máquina de Wimshurst com isso a bolinha será repelida). Incentive o aluno a descobrir o sinal da carga adquirida pela bolinha após o contacto com a haste (é necessário que o aluno tenha uma carga de prova conhecida, ele pode obtê-la através da eletrização por atrito de dois materiais e posteriormente consultando uma série triboelétrica que contenha esses dois materiais;

### A.7.3 - Atividade 3 - Eletroscópio

*Material:*

Um frasco de vidro (de maionese, palmito, etc..)

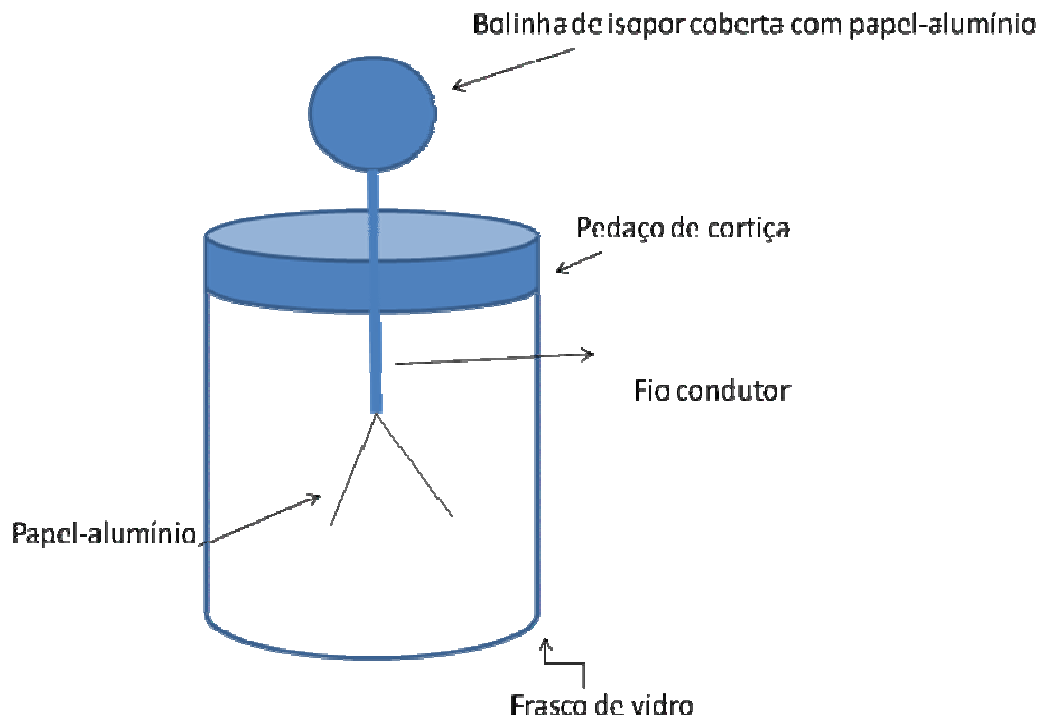
Um pedaço de cortiça que sirva como tampa

Um pedaço de arame metálico

Uma bolinha de isopor enrolada em alumínio

Um tira de papel alumínio

Máquina de Wimshurst



*Figura A.89 – Eletroscópio.*

Montar o eletroscópio conforme ilustrado na figura A.89 de modo que a metade da tira fique fixada no fio condutor. O frasco de vidro tem a função de diminuir as correntes de ar. Aproximar a haste da máquina de Wimshurst da bolinha de isopor coberta com papel-alumínio no eletroscópio. Repita as etapas da atividade anterior: aproxime a haste da máquina de Wimshurst sem tocar na bolinha. Repita a operação colocando a haste a diversas distâncias da bolinha com ou sem o papel-alumínio. Depois toque a bolinha na haste da máquina de Wimshurst e verifique o que acontece agora. Perguntar ao aluno: o que acontece com as lâminas quando a haste da máquina de Wimshurst se aproxima? O que acontece quando a distância de aproximação é variada? Após o contato, o que ocorre com as lâminas?

Ao aproximar a haste da máquina de Wimshurst da bolinha de isopor coberta de papel alumínio, por conta do campo elétrico gerados pelas cargas da haste, ocorrerá um deslocamento das cargas do mesmo sinal das cargas da haste de modo que essas cargas que se deslocaram irão para a região mais afastada se dirigindo para as tiras de papel alumínio que se encontram dentro do frasco. Como as duas metades possuem cargas elétricas de mesmo sinal ambas se repelem. Se a haste da máquina de Wimshurst se afastar, a interação do campo elétrico com as cargas que foram deslocadas terá a sua intensidade diminuída. Com isso as cargas elétricas sairão das tiras fazendo com que não haja mais força de repulsão entre as tiras e assim as mesmas se fecharão.

Se houver um contato com a haste da máquina com a bolinha de isopor tanto a bolinha de isopor, fio condutor e a tira de alumínio permanecerão carregados. Com isso as tiras permanecerão separadas.

#### **A.7.4 - Atividade 4 - Vento elétrico**

*Material:*

Máquina de Wimshurst

Uma vela acesa

Nesta montagem, podemos colocar a vela próxima a uma das hastes, observando a inclinação da chama como se houvesse um vento. Isto se deve ao intenso campo elétrico que atua nas moléculas dos elementos que constituem o ar nas proximidades da chama.



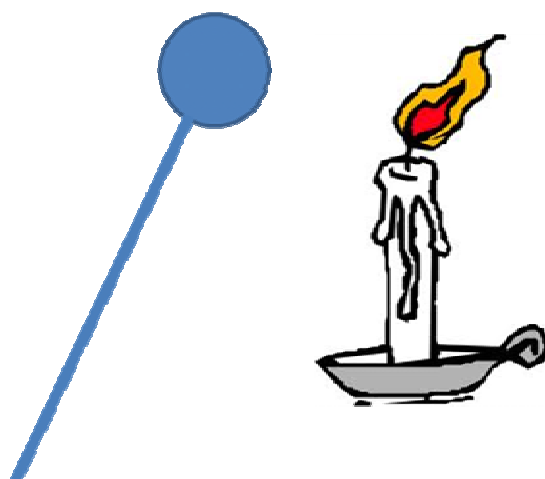


Figura A.90 – Esquema para o experimento com a chama de uma vela.

### A.7.5 - Atividade 5 – Linhas de Campo elétrico

*Material:*

Máquina de Wimshurst

Bolinhas de isopor

Papel-alumínio

Fita adesiva

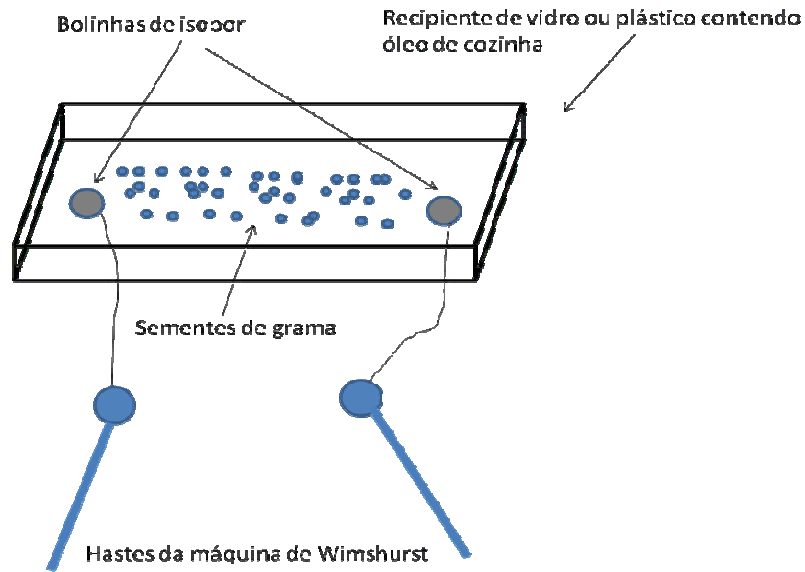
Um recipiente de vidro ou de plástico com óleo de cozinha

Dois fios condutores

Sementes de grama (à venda em floricultura)

Dois placas metálicas planas

Coloque o óleo de cozinha no recipiente e depois espalhe as sementes de grama sobre o óleo. O próximo passo será fixar os fios condutores na superfície externa das hastes da máquina de Wimshurst, utilizando fita adesiva. Em seguida, envolva as bolinhas de isopor com papel-alumínio e fixe-as em cada uma das extremidades livres dos fios, conforme mostrado na figura A.91. Coloque as bolinhas no recipiente com óleo e gire a manivela da máquina de Wimshurst.



*Figura A.91 – Esquema da experiência com linhas de campo.*

Após o carregamento das hastes da máquina de Wimshurst, uma grande diferença de potencial será produzida entre as bolinhas de isopor, estabelecendo um campo elétrico na região entre elas que fará que as sementes de grama se orientem, obtendo uma configuração de um dipolo elétrico. Utilizando placas paralelas, podemos obter uma configuração de um capacitor. Com um cilindro oco podemos mostrar que no interior da superfície fechada o campo elétrico será nulo.