

Relatório Final

2ª Versão

Máquina de Wimshurst



Orientador: Professor Mauro M. G. de Carvalho
mauro x ifi.unicamp.br

Aluno: Alexandre Rigo Deberaldini
adeberaldini1 x gmail.com

R.A.: 090248

Agradecimentos

Agradeço, de coração, a todos que se envolveram com o trabalho. Em especial ao Pedrinho, torneiro da oficina mecânica do DFA, sem o qual muitas peças do experimento não existiriam, aos professores André Assis e Marcelo, pelos comentários e opiniões sobre a montagem da máquina.

Um agradecimento mais do que especial ao Professor Doutor Mauro M. G. de Carvalho, me orientou durante todo o projeto. As ideias e discussões em sua sala foram imprescindíveis para a realização de todo o projeto. Sua dedicação e orientação me ensinaram muito sobre como fazer e como tornar possíveis peças e soluções que existem apenas em sua mente. Com ele, e por ele, obtive ensinamentos únicos e novos interesses, dos quais nunca imaginei ter como aprendizado.

Por fim, agradeço muito minha namorada Thábata por toda sua paciência nos momentos em que eu não estava presente devido as montagens, e pelo incentivo quanto a finalização e funcionamento do projeto.

1 – Resultados atingidos

O experimento sofreu grandes modificações em relação ao projeto inicial. Muitas peças foram substituídas e/ou modificadas. Após muito trabalho e muito tempo investido pelo Prof. Mauro e pelo aluno que vos fala, a máquina eletrostática de Wimshurst está funcionando perfeitamente.

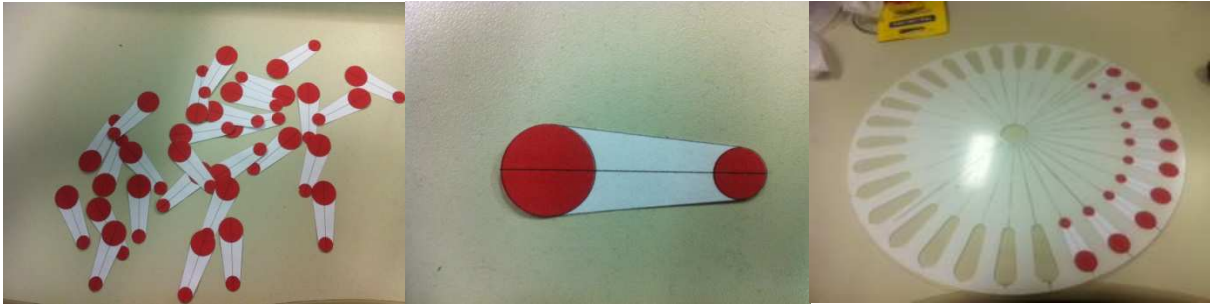
2 – Fotos do Experimento

2.1 – Primeira montagem

- Suporte para os discos



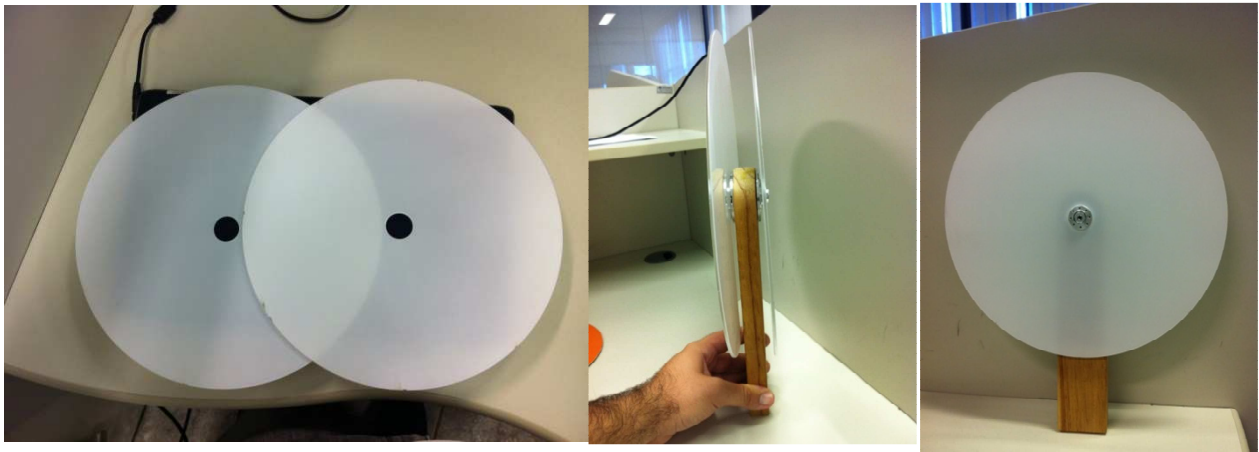
- Moldes para os eletrodos



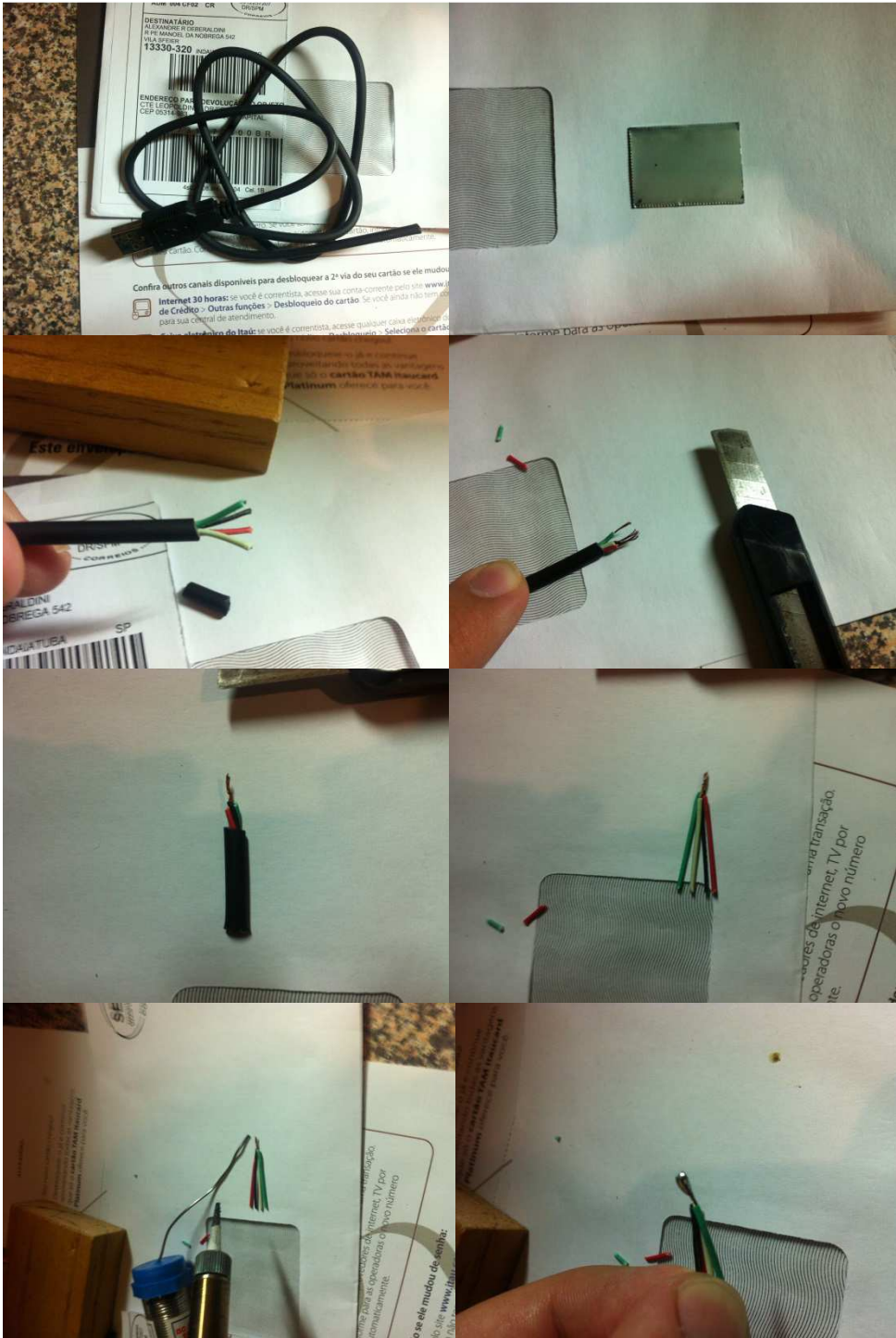
- Potes de vidro para os Jarros de Lyden

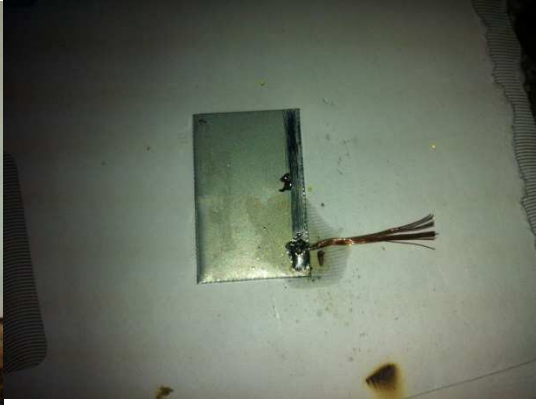


- Discos de acrílico

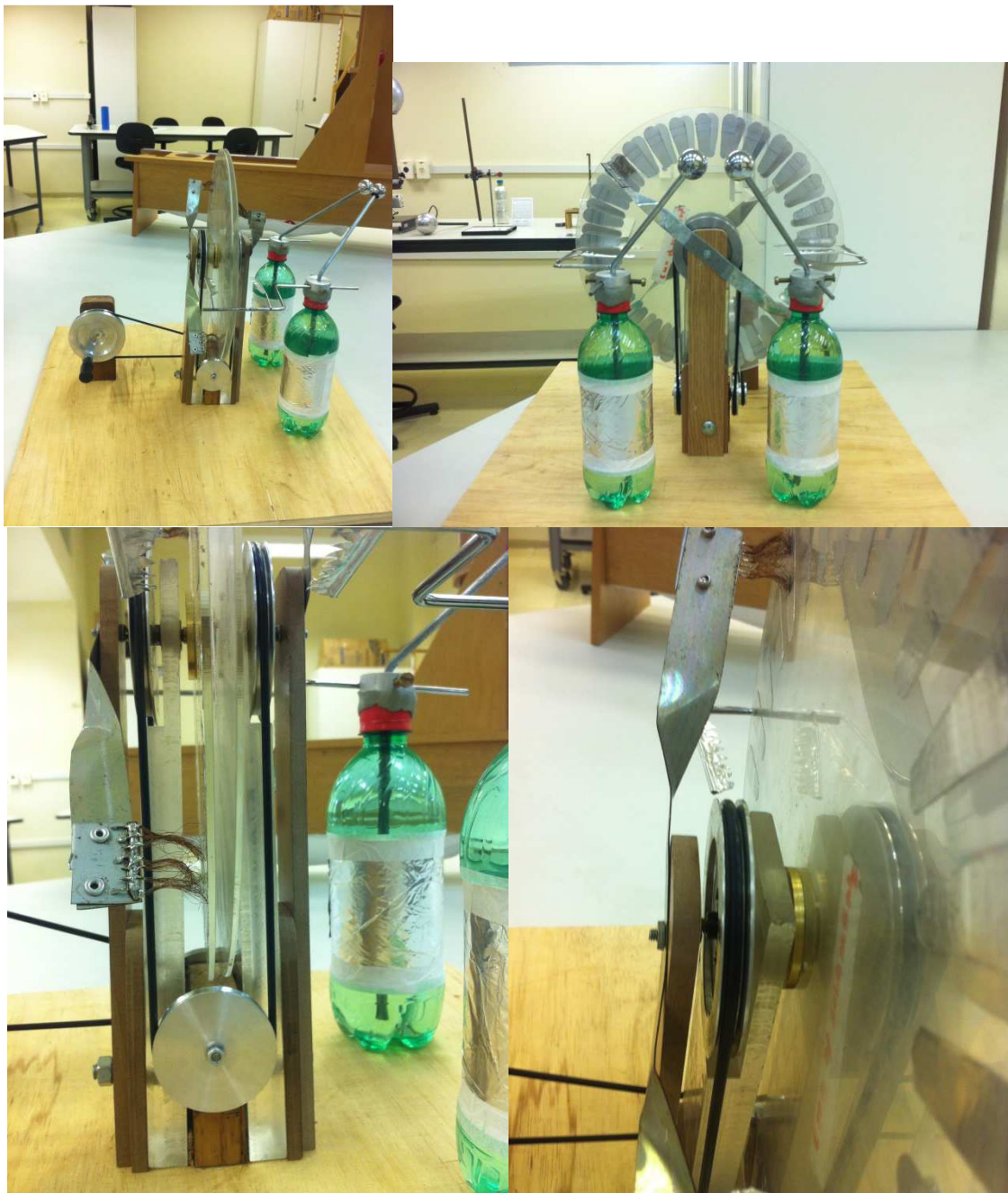


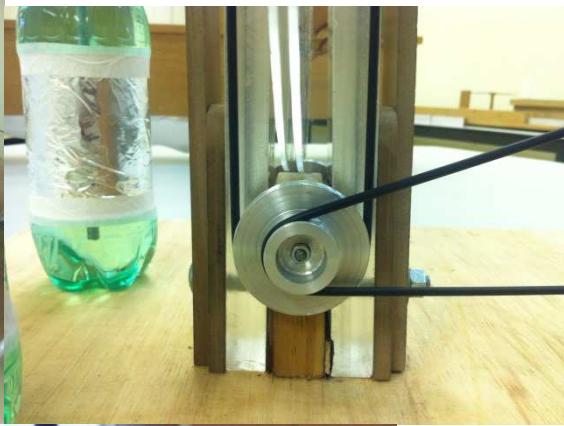
- Produção das escovas dos neutralizadores de carga

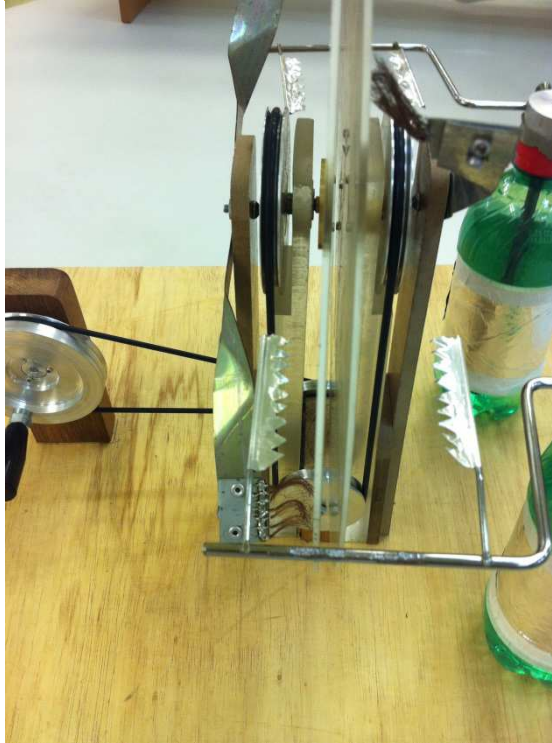




2.2 – Montagem final







3 - Dificuldades encontradas

- Dificuldades encontradas até o Relatório Parcial:

“Até o atual momento houve poucas dificuldade. A primeira foi encontrar puxadores de gaveta de metal e redondos (clássico), pois como vivemos na era do plástico, tudo é de plástico. Após descobrir que os puxadores de gavetas e portas dos armários do meu banheiro eram de metal, resolvi redecorar o mesmo, retirando os puxadores de metal e colocando de plástico.

Outra dificuldade encontrada logo no começo foi a obtenção dos discos de acrílico, já que os orçamentos que foram feitos retornaram com valores exorbitantes. Nesta situação, veio a ideia de utilizar discos de vinil para a confecção dos discos. Porém os discos de vinil se mostraram nada eficiente, devido ao fato de deformarem com facilidade conforme a temperatura. Essas deformidades, apesar de pequenas, atrapalharam muito a situação do experimento. O problema foi resolvido quando descobri um local que trabalha com cortes a laser e poderiam fazer os discos com 2mm de espessura por um preço justo.

O último empecilho (até o momento) foi a procura frustrada por polias nas condições próprias necessárias. Durante a procura, descobri que mandar usinar as polias a partir de um tarugo de nylon saía muito mais barato. As polias serão usinadas nas especificações de medidas necessárias para o experimento.”

- Dificuldades encontradas até o Relatório Final 1:

“Contornadas as dificuldades transcritas acima, a maior dificuldade que se mostrou ser um grande empecilho foi o tempo. Mesmo com a substituição do material Nylon por alumínio, para facilitar e agilizar a produção das polias, a usinagem das mesmas se mostrou uma tarefa difícil e demorada, devido muito à burocracia interna da universidade.

Outra dificuldade foi a montagem e o trabalho pesado. Eu, particularmente, nunca tinha participado da produção de peças e do trabalho dentro de uma oficina de torneamento. Toda a experiência de participar da montagem e da criação e desenvolvimento de peças foi muito interessante e muito grandiosa para minha evolução na universidade.

- Dificuldades encontradas para a apresentação:

A máquina ficou pronta, em sua primeira montagem, poucas horas antes da apresentação ao público. O resultado foi ruim, pois a máquina não funcionou. Mesmo sem o funcionamento, a apresentação seguiu com a explicação teórica da mesma e uma demonstração virtual do funcionamento. Ao longo da apresentação foram pontuadas, por dois professores do IFGW

(Prof. Marcelo e Prof. André Assis) e pelo próprio Prof. Mauro, Orientador do projeto.

Um primeiro erro, e talvez o mais grave de todos, foi percebido pouco tempo antes da apresentação por mim e pelo Prof. Mauro. A fita, supostamente metálica, que foi utilizada em todas as peças do experimento era, na verdade, uma fita plástica isolante prateada. Esse erro foi remediado antes da máquina ser exposta, com a utilização de uma fita metálica de verdade.

Outro problema percebido antes da apresentação deu-se pelo não funcionamento correto dos jarros de Lyden. Os capacitores não estavam carregando. Primeiramente acreditamos que o problema fosse a fita que não era metálica, mas mesmo contornando esse problema a eficiência do jarros continuava lastimável. No contexto do material utilizado nos capacitores, notamos uma sobra de rosca próxima aos eletrodos de descarga, o que poderia estar concentrando as cargas na rosca devido ao efeito das pontas. Um apontamento foi feito pelo Prof. Mauro em relação ao tamanho das hastes utilizadas. Por fim, constatou-se que a utilização de vidro como material dielétrico dos jarros poderia ser um defeito também.

O Prof. André Assis pontuou que alguns materiais que estavam sendo utilizados, que deveriam funcionar como isolantes, poderiam estar funcionando como condutores, e que talvez a substituição dos mesmos por materiais mais isolantes fosse necessária. A referência do Prof. André foi em relação ao suporte dos discos, que era feito de madeira.

O Prof. Marcelo e o Prof. Mauro atentaram ao fato da distância grande que existia entre os discos, o que deveria ser um ponto importante para o mal funcionamento já que o mesmo depende da indução eletrostática de um disco no outro para funcionar.

Outro ponto apontado pelo Prof. Mauro foi o fato de que as escovas neutralizadoras deveriam encostar-se aos setores dos discos, caso contrário as cargas não seriam levadas de um ponto ao outro dos discos e a neutralização não iria ocorrer de forma efetiva.

- Resolução dos problemas e funcionamento da máquina

Para resolver tanto o problema de distância dos discos quanto o suporte de madeira, foram feitas novas peças de suporte, mas dessa vez de acrílico. Devido ao formato do novo suporte não pudemos utilizar os motores de HD como rolamentos, o que trouxe a necessidade de fabricar novas peças, onde foram utilizados pequenos rolamentos tradicionais. O acoplamento de todas as peças mostrou-se um tanto complexo, mas ao final de muitas tentativas diferentes de acoplamento, conseguimos trazer às peças uma rotação eficiente.

Novos jarros de Lyden foram feitos, dessa vez com garrafas PET pequenas. A sobra de rosca apontada acima foi eliminada e as hastes diminuídas. Os novos capacitores se mostraram muito eficientes.

A nova montagem, já no início, mostrou-se extremamente eficiente. Mesmo sem a colocação de todas as peças, os discos apresentaram carregamento. Com a colocação dos capacitores, coletores e eletrodos de descarga, conseguimos o aparecimento de faíscas, o que trouxe grande alegria a todos que acompanharam a montagem e as tentativas frustradas de funcionamento.

4 – Referências e pesquisa

[1] http://pt.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quina_de_Wimshurst

- A página acima traz uma ideia geral da montagem e do funcionamento da máquina.

[2] <http://www.coe.ufrj.br/~acmq/wimport.html>

- A página acima é a referência mais completa, que traz um bom histórico da máquina, comparando a mesma com outras máquinas eletrostáticas feitas anteriormente. Traz um mapa detalhado das peças, dos componentes e a função de cada um na máquina.

[3] <http://www.faiscas.net/prmaq.html>

- Página de um professor que monta experimentos para seus alunos. A primeira montagem da máquina, apresentada no link, é bem amadora, mas muito funcional.

[4] <http://www.faiscas.net/segmaq.html>

- Nesta página, o professor apresenta uma nova máquina, com uma montagem um pouco mais profissional. O interessante é que, nesta página, o professor apresenta um software (simples) que simula a máquina que será construída, dá os detalhes de voltagem máxima e corrente máxima da montagem simulada e apresenta as medidas dos eletrodos de acordo com as especificações que o montador coloca. Facilitou muito a montagem.

[5] <http://www.faiscas.net/tercmaq.html>

- Nesta terceira montagem, o professor apresenta um terceira máquina, muito profissional. Aqui ele apresenta um coletor de carga feito com restos de uma grelha de fogão. Muito prático e muito bonito.

[6] <http://www.youtube.com/watch?v=t7QqcmsX8ml>

- A página acima mostra uma máquina amadora feita por alunos que trouxe uma ideia interessante para a montagem dos coletores de carga.

[7]

http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_s em2_2002/970861_JoanderRodrigues_Van_de_Graaf.pdf

- O relatório acima traz uma ótima explicação da máquina de Van der Graaff com uma ótima explicação sobre máquinas eletrostáticas.

[8]

http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_s em2_2005/GeraldoM_Assis_RF1.pdf

- O relatório traz uma série de experimentos de eletrostática e uma boa teoria sobre o tema.

[9]

http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_s em2_2005/Paulo%20L%20Cavicchio_RF.pdf

- O relatório traz uma boa explicação de montagem dos jarros de Lyden (capacitores) que são peças chave para a descarga apresentada.

[10]

http://www.rc.unesp.br/showdefisica/99_Explor_Eletrizacao/paginas%20htmls/Maquina%20Wimshurst.htm

- A página acima traz uma explicação bem detalhada do funcionamento da máquina com desenhos explicativos do processo de separação de cargas.

Palavras Chave: wimshurst, eletrostática, máquinas eletrostáticas, máquina de wimshurst.

5 – Apresentação do experimento

- Resumo

A Máquina Eletrostática de Wimshurst é um gerador eletrostático de alta voltagem, desenvolvido entre 1880 e 1883 pelo engenheiro britânico James Wimshurst. A máquina se tornou famosa em laboratórios de Física, onde é utilizada até os dias de hoje para demonstrações sobre os efeitos da Eletricidade estática. Esta máquina pertence à uma classe de Máquinas Eletrostáticas, que "geram" cargas elétricas através do fenômeno da indução eletrostática. Reinou nos laboratórios de Física até o surgimento, em 1931, da máquina de Van der Graaff.

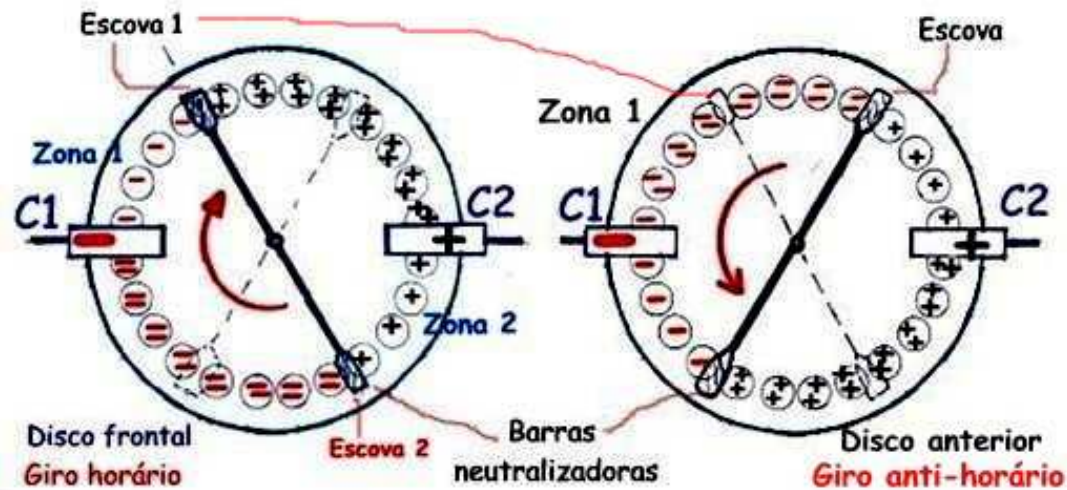
A máquina de Wimshurst tem como objetivo demonstrar uma descarga elétrica e apresentar os processos de eletrização por indução. Outro fato importante é mostrar o uso dos jarros de Lyden, que são capacitores, ou seja, acumulam carga elétrica e a liberam quando a tensão entre os eletrodos é grande. A descarga dos capacitores resulta nas faíscas observadas.

- Descrição

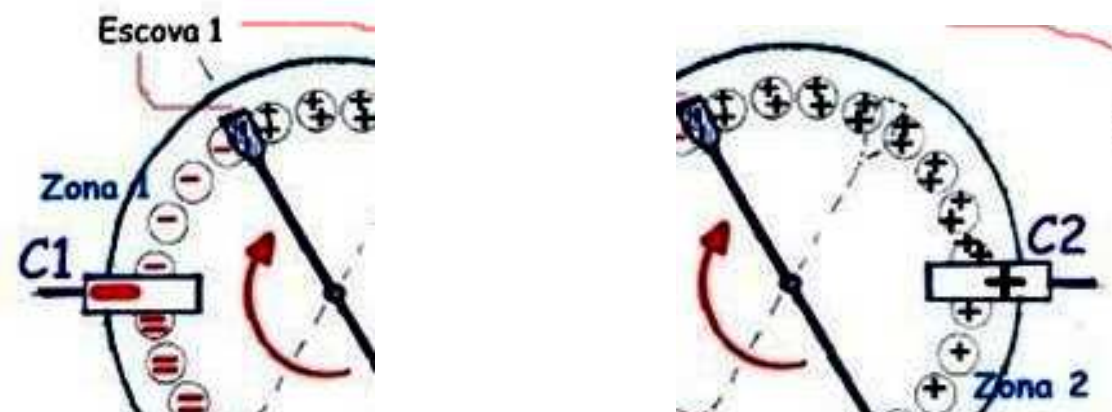
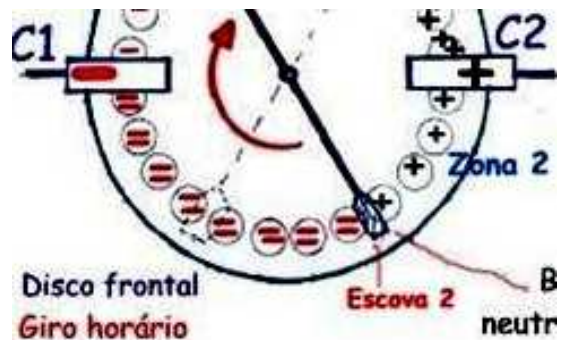
A máquina possui dois discos feitos com materiais isolantes que giram em sentidos opostos. Nesses discos são fixados diversos setores metálicos cujas bordas são arredondadas. Os setores são mais largos nas bordas que no seu interior, o que permite um espaçamento constante entre eles ao redor do disco. Importante constatar que a máquina precisa de uma carga inicial para começar o funcionamento. Normalmente essa carga é uma carga residual que existe nos próprios discos. Caso os mesmos estejam totalmente neutralizados, uma carga inicial deve ser induzida.



Em frente a cada disco existe uma barra metálica. As mesmas são cruzadas uma em relação à outra num ângulo de aproximadamente 60° . Essas barras, chamadas de barras neutralizadoras, possuem em suas extremidades escovas feitas com fios metálicos que tocam os setores da máquina (ou ficam muito próximos) enquanto os discos giram. Quando um setor metálico passa por uma escova ocorre uma influência pelo disco oposto, e por indução eletrostática cargas elétricas opostas às do disco oposto são atraídas para ele.



As barras neutralizadoras são de suma importância na indução, pois as mesmas geram duas regiões que, em ambos os discos, são uma negativa (Zona 1) e outra positiva (Zona 2), como mostra a figura acima. Nas laterais dos discos, nas regiões onde existe apenas uma carga, duas peças em forma de U (C1 e C2), chamadas Coletores de Cargas, coletam as cargas remanescentes nos setores dos discos. Os coletores de cargas ficam posicionados nas zonas 1 e 2. Como resultado, um coletor coletará cargas negativas enquanto que o outro coletor coletará cargas positivas.



Os coletores estão ligados aos jarros de Lyden (capacitores), que irão acumular essas cargas até que a tensão entre os terminais atinja um valor suficiente para romper a barreira dielétrica do ar, gerando as faíscas.

6 – Opinião do Orientador

- Opinião do RP

“O Trabalho está sendo desenvolvido com muita dedicação, iniciativa e criatividade por parte do aluno. Tudo leva a crer que teremos um dispositivo muito bem feito, eficiente e no prazo correto.”

- Opinião do RF1

“O aluno me impressionou pela dedicação ao trabalho, bastante complexo. Infelizmente, estamos terminando o experimento hoje, 11/06/13, por conta das dificuldades em obter os materiais e algumas peças. Amanhã, dia da apresentação, a experiência estará pronta.”

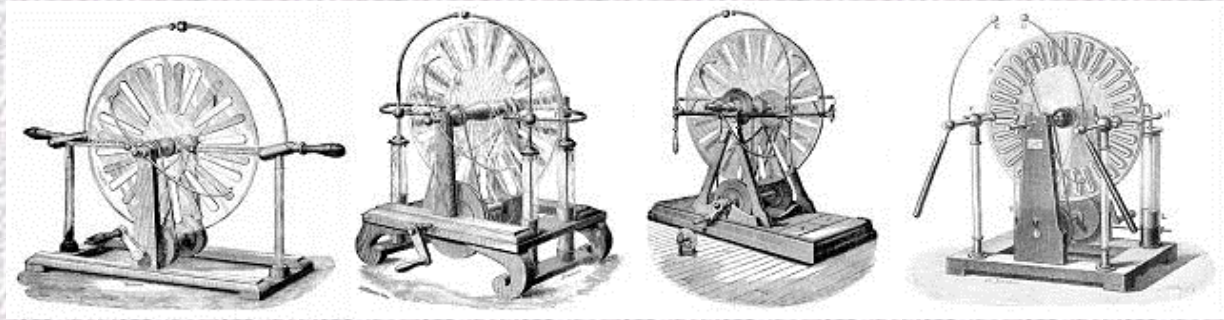
- Opinião do RF2

“Finalmente o Alexandre teve sucesso na construção de seu gerador. Me senti bastante envolvido no trabalho pela vontade, perseverança, iniciativa, e honestidade científica do aluno. O trabalho não foi fácil e exigiu bastante. Seu sucesso deve ter contribuído bastante para a formação do aluno.”

Apêndices

As páginas a seguir são transcrições das referências [2], [5] e [10], que trazem de maneira bem explicativa a história da máquina de Wimshurst, os processos de montagem nos quais o experimento foi baseado e a teoria da mesma, com adendo dos temas de eletrização por indução e polarização (links encontrados dentro da página da referência [10]).

A Máquina de Wimshurst



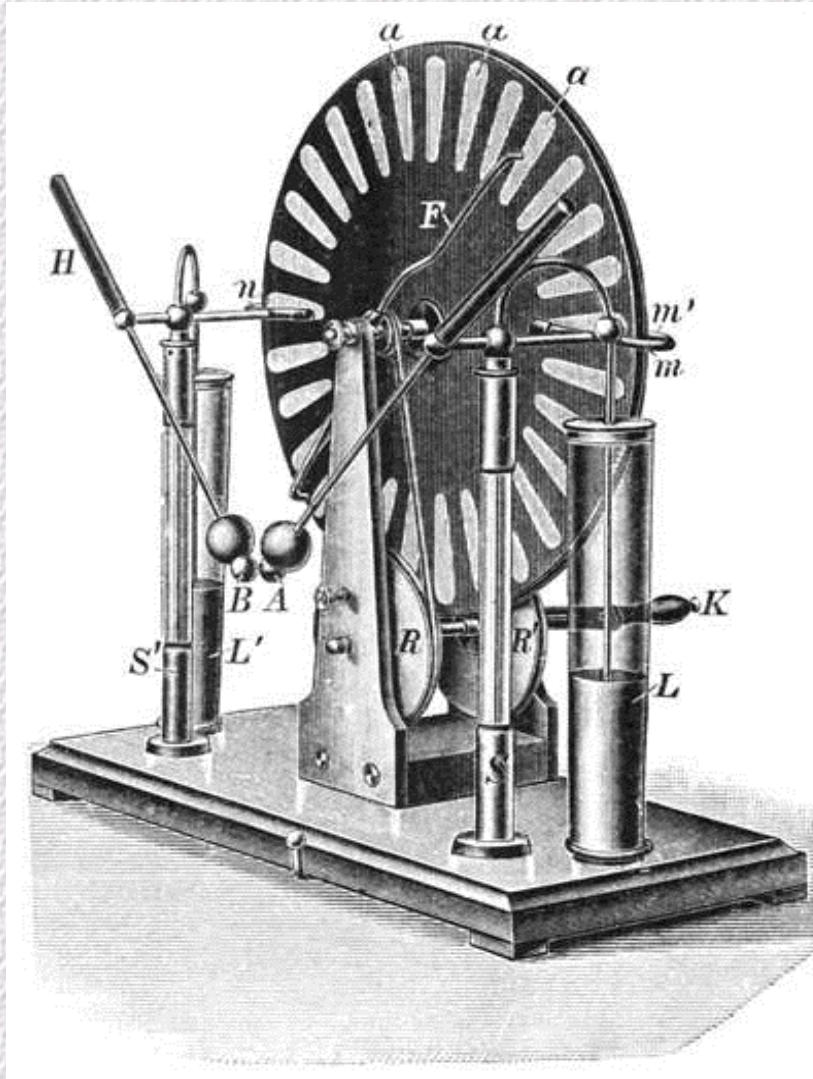
Máquinas de Wimshurst simples

As máquinas eletrostáticas de influência geram altas tensões através de influência de campos elétricos, *sem o uso de atrito* para separar cargas. Pode-se dizer que todas elas funcionam como versões automatizadas do [eletróforo de Volta](#) (1776), ou do [dobrador de Bennet](#) (1787). Em todas elas, em algum momento da operação duas superfícies são aproximadas, estando uma delas carregada eletricamente e a outra aterrada. Isto atrai cargas para a superfície aterrada, de polaridade oposta à carga da superfície indutora. A seguir, o aterramento é removido e as superfícies são afastadas, o que requer energia, e aumenta enormemente o potencial elétrico das superfícies movimentadas. As cargas em alta tensão assim geradas são coletadas nos terminais da máquina por escovas, ou mais usualmente pentes metálicos providos de pontas voltadas para as superfícies carregadas. Nas máquinas de influência, usualmente existe ainda algum mecanismo para usar as cargas geradas para reforçar a carga inicial, e induzir a separação de ainda mais cargas.

Histórico:

A máquina de Wimshurst foi inventada na Inglaterra, por [James Wimshurst](#), e primeiramente descrita em Janeiro de 1883. Na época já eram conhecidas outras máquinas de influência de relativamente alta potência, como as de [Toepler](#), [Holtz](#) (1865) e [Voss](#) (1880), que eram todas algo problemáticas, principalmente devido às constantes reversões de polaridade a que eram sujeitas e à alta isolamento elétrica requerida para operação eficiente. O elegante projeto da máquina de Wimshurst resolve estes dois problemas, por evitar o uso de superfícies indutoras fixas e por apresentar altas tensões apenas nas vizinhanças dos coletores de carga. A idéia, entretanto, teve curta utilidade prática. Na época a atenção da pesquisa sobre eletricidade estava voltada para aplicações práticas como iluminação elétrica, motores elétricos, telefonia e telegrafia, com muito da pesquisa básica, que se iniciou pela eletrostática, e utilizou extensivamente máquinas de atrito, já realizada. Houve uma retomada no interesse por aplicações práticas para estas máquinas após a descoberta dos raios X em 1895, como fontes de alta tensão para acionar os *tubos de Crookes*, mas com o advento de eletrificação generalizada, logo fontes de energia mais confiáveis foram desenvolvidas, e as máquinas eletrostáticas de discos passaram a ser apenas dispositivos de demonstração. Atualmente, geradores eletrostáticos mecânicos são usados apenas em aceleradores de partículas, mas na forma mais conveniente para as altas tensões necessárias, do gerador de [Van de Graaff](#) (1931) e seus derivados.

Construção: A máquina consiste em dois discos de material isolante, precisamente



de material isolante, precisamente cortados e balanceados, originalmente de vidro envernizado ou ebonite, atualmente sendo mais conveniente usar acrílico ou outro plástico rígido, que giram em sentidos opostos sobre um mesmo eixo horizontal mantendo pequeno afastamento. Os discos são montados, colados ou aparafusados, sobre dois mancais, de madeira, metal ou outro material rígido, que giram livremente sobre um eixo fixo. Mancais de madeira devem possuir um tubo central de latão ou bronze, que gira bem lubrificado sobre o eixo de aço. Melhores resultados são obtidos com mancais suportados por pares de rolamentos de esfera. O eixo fica encaixado, fixado por porcas em suas extremidades, em dois suportes verticais, que são usualmente de madeira ou de ferro, firmemente fixados à base da máquina, que é usualmente de madeira. Nos mancais existem duas pequenas polias, que são acionadas pelas polias maiores **R-R'**, montadas

sobre outro eixo abaixo dos discos, apoiado em mancais montados nos suportes verticais, e acionadas por uma manivela **K**. Os cordões que conectam as polias podem ser de couro, borracha, etc. Um dos cordões é montado cruzado, para que os discos girem em sentidos opostos. Colados às faces exteriores dos discos, há séries de setores metálicos **a**, formando um padrão simétrico. Estes setores possuem bordas arredondadas para minimizar perdas de carga, e são mais largos nas bordas que no interior, de modo a manterem distâncias constantes entre suas bordas laterais. Podem ser construídos com folhas de alumínio não muito finas, ou de outros metais, como estanho, que era usado originalmente, ou latão, e devem ser firmemente colados aos discos, com uma cola de contato, por exemplo. Podem possuir ressaltos para evitar que as escovas dos neutralizadores (ver a seguir) toquem os discos. Duas barras metálicas neutralizadoras **F** são dispostas uma em frente a cada disco, cruzadas uma em relação à outra, em um ângulo de 60 graus, aproximadamente, com a horizontal. Estas barras são usualmente fixadas em anéis metálicos montados no mesmo eixo dos discos, e devem poder ser ajustadas em diversos ângulos de inclinação, sendo fixadas no lugar pela pressão de parafusos nos anéis. Nas pontas das barras neutralizadoras, são montadas escovas de finos fios metálicos, que tocam levemente os setores metálicos nos discos. Boas escovas podem ser construídas com finos fios de níquel-cromo, como os usados em resistores de fio. Textos antigos recomendam fios de prata ou lâminas feitas de folhas finas de bronze. Também podem ser usadas escovas feitas com tiras de borracha condutiva ou fibras de carbono, o que é mais resistente a quebras, mas pode causar dificuldades de excitação. Uma forma simples de fazer estas escovas é inserir alguns fios em furos, um em cada extremidade das barras neutralizadoras, fixando-os no lugar com um palito de madeira e um pouco de cola, ou por um parafuso. Os coletores de carga são duas peças metálicas em formato de U, **m-m'**, **n-n'**, que circundam os discos nas laterais da

máquina. Estas peças possuem séries de pontas voltadas na direção dos discos, que terminam a uma pequena distância destes, *sem nunca tocá-los* (o toque acidental destas pontas nos discos é a causa mais comum de destruição destas máquinas). Uma boa idéia é usar pontas de material macio, como folha de alumínio denteada, como proteção contra toques acidentais. Simples lâminas retas de folha metálica fina também podem ser usadas. Os coletores são suportados por longos suportes isolantes **S-S'**, que podem ser de vidro, acrílico, ou outro bom isolante (nunca usar madeira ou similares, que não isolam o suficiente), fixados na base da máquina. No mesmo suporte, são fixados os terminais do faiscador **A-B**, que deve poder girar, movimentado pelos longos cabos isolantes **H**. O faiscador termina em bolas metálicas, que podem possuir bolas menores montadas sobre elas. Estas bolas menores permitem a geração de faíscas maiores que o normal, se uma bola menor estiver no pólo positivo, com os terminais inclinados na direção do pólo negativo. É conveniente que seja possível ajustar a posição dos coletores de carga, deslizando os condutores que os conectam ao faiscador dentro das bolas que formam o tampo dos suportes isolantes, com um parafuso para fixação. A rotação do faiscador é usualmente conseguida pelo uso de pinos fendidos fixos nas bolas onde se conectam os cabos **H**, que entram nos condutores que vão aos coletores de carga, que são tubos ôcos. As estruturas dos coletores de carga e terminais são classicamente construídas com tubos ou varetas de latão, e bolas também de latão. Outros materiais podem também ser usados, como tubos de alumínio, e as bolas, exceto as dos terminais, podem ser de madeira, com conexões internas reforçadas eletricamente por molas. Em toda a montagem dos terminais, não devem existir pontas, exceto as dos coletores de carga, ou ângulos agudos, sendo todas as superfícies arredondadas e polidas, para evitar perdas de carga para o ar. Para a obtenção de faíscas fortes, dois capacitores tipo [garrafa de Leyden](#), **L-L'** são conectados aos terminais, através de pontes removíveis. As garrafas de Leyden são longos tubos isolantes fechados na parte inferior, como tubos de ensaio ou copos altos de vidro envernizado ou acrílico, possuindo folhas de metal coladas nas faces interior e exterior, na parte inferior. As folhas interiores se conectam através de varetas de metal que cruzam as tampas das garrafas às pontes removíveis vistas na figura. As folhas externas se conectam aos suportes das garrafas, e através de fios a uma chave, visível sob a frente da base na figura, que as interconecta. Com a chave fechada, os dois capacitores estão ligados em série. Com a chave aberta, a alta resistência elétrica da base de madeira fica no meio do circuito, o que produz curiosas faíscas enfraquecidas. É comum também usar garrafas de Leyden penduradas nos terminais.

Operação:

A manivela deve ser girada de forma que os discos passem pelos coletores de carga, e a seguir pelas escovas neutralizadoras adjacentes (sentido horário na figura). Quando um setor metálico passa por uma escova, ele é influenciado pelo disco oposto, e cargas opostas às do disco oposto são atraídas para ele. Como são vários setores influenciando um só, e também existe o efeito 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. Estes setores carregados vão a seguir servir de fontes de influência para os setores do outro disco, realimentando positivamente o efeito. As cargas geradas crescem exponencialmente, até que perdas por faiscamento, controladas pelas dimensões dos discos, limitam a tensão máxima que pode ser atingida. O maior comprimento de faísca que pode ser obtido é dado aproximadamente pela soma das distâncias entre setores metálicos adjacentes ao longo de 1/3 de um disco. Isto ocorre porque a partir de certa distância o faiscamento ocorre entre os setores, passando pelas barras neutralizadoras. Esta distância usualmente corresponde a 1/3 a 1/4 do diâmetro dos discos. As áreas entre as escovas neutralizadoras nas áreas superior e inferior dos discos são onde as cargas são geradas. Nestas áreas a tensão entre os discos é pequena, o que serve para minimizar perdas por faiscamento para a estrutura da máquina, permitindo uma construção

compacta. As faces interiores dos discos permanecem neutras, pois a reversão de polaridade nas faces exteriores duas vezes a cada volta dos discos não permite que cargas parasitas se acumulem aí. A acumulação de cargas parasitas no lado oposto de placas carregadas é um problema com todas as máquinas eletrostáticas anteriores à de Wimshurst, com apenas um disco rotativo, causando reversões periódicas de polaridade, inexistentes na máquina de Wimshurst. Notável exceção é a [máquina de Holtz de segundo tipo](#) (1867), que é considerada uma ancestral direta da máquina de Wimshurst, o que causou alguma polêmica na época, com Holtz mostrando ter inventado essencialmente a mesma estrutura de Wimshurst nos 1860s. Alguns textos da época chamam a máquina de Wimshurst como *máquina de Wimshurst-Holtz*.

As máquinas eletrostáticas são sempre sensíveis à humidade do ar, tendo seu rendimento reduzido ou mesmo deixando de funcionar em condições de alta humidade. A máquina de Wimshurst é uma das menos sensíveis, mas níveis de humidade acima de 80% podem prejudicar, embora dificilmente impedir, seu funcionamento. Por isto, é melhor operar estas máquinas em ambiente com ar condicionado, e sem muitas pessoas por perto da máquina. Algum aquecimento com o uso de um secador de cabelos ou exposição ao Sol pode ajudar a secar a máquina antes da operação, mas se o ar estiver muito húmido o efeito dura pouco. Perfeita limpeza dos discos e dos isoladores é também importante para bom desempenho. Máquinas eletrostáticas tem forte tendência de atrair poeira do ar, que deve ser removida das superfícies periodicamente. Para a auto-excitação funcionar, com a máquina multiplicando rapidamente pequenos desbalanços de cargas inicialmente existentes, ou gerados por atrito ou potencial de contato pelas escovas, é necessário bom contato elétrico dos setores metálicos nos discos com as escovas neutralizadoras. Estas devem sempre ser mantidas em bom estado.

Uma máquina de Wimshurst com discos de 30 cm pode produzir por volta de 100 kV de tensão, e uma corrente da ordem de 20 μA . A corrente é proporcional à velocidade de rotação e à área dos discos ocupada pelos setores, sendo portanto proporcional ao quadrado do diâmetro dos discos para mesma velocidade angular de rotação. A potência mecânica requerida é proporcional à potência elétrica gerada, sendo portanto proporcional ao cubo do diâmetro dos discos e à velocidade de rotação. O rendimento na conversão de energia é bastante incerto, devido às muitas perdas, mas pode chegar a ser da ordem de 25%.

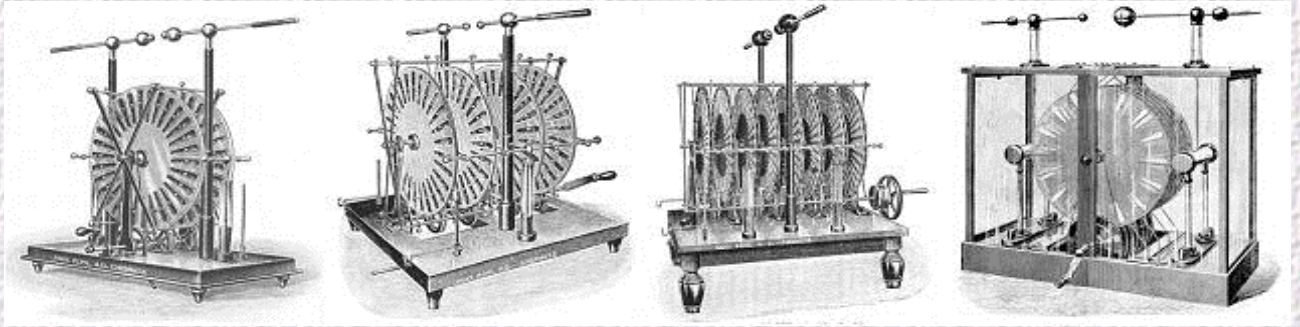
Uma importante variação da máquina de Wimshurst é a [máquina de Bonetti](#) (1894), que, com a mesma estrutura básica, usa discos limpos, sem setores, e escovas múltiplas nos neutralizadores, ou pentes com pontas. Com isto obtém-se uma maior eficiência, com toda a área ativa dos discos usada para transporte de carga. Esta máquina pode facilmente produzir [faíscas](#) com comprimento de mais de metade do diâmetro dos discos, e uma corrente um pouco maior. A auto-excitação, entretanto, é perdida, sendo necessário [excitar a máquina](#) a partir de uma fonte externa de alta tensão, como uma outra máquina eletrostática. A figura mostra uma máquina de Voss com um dos terminais posicionado oposto a um dos neutralizadores da máquina de Bonetti. Isto atrai cargas do neutralizador para a superfície do disco de trás, e inicia o processo de partida da máquina. Um simples bastão carregado pode servir, em condições de baixa humidade.

Há outras variações, também aplicáveis à máquina de Bonetti, envolvendo os coletores de carga. É possível coletar cargas de apenas um dos discos, com praticamente o mesmo rendimento, pois quando uma área de um disco se descarrega para um coletor de carga, ocorre uma redução de tensão na área correspondente do disco oposto, por efeito capacitivo, o que praticamente dobra a corrente de descarga. A idéia foi usada em uma [máquina](#) sem setores descrita por Holtz e Poggendorff em 1869.

Outra modificação é o [sistema de Schaffers](#) (1885), que desloca as posições dos coletores de

carga, desviando para eles parte das correntes que iriam para os neutralizadores. Resulta uma versão da máquina de Holtz do segundo tipo, capaz de gerar até o dobro da corrente. A idéia, entretanto, reduz a máxima tensão que pode ser gerada, por aproximar os coletores de carga dos neutralizadores.

O programa [WMD](#) pode ser usado para avaliar o projeto de uma máquina de Wimshurst, prevendo o comprimento das faíscas geradas e a máxima corrente de saída, e calculando o formato ideal para os setores.



Máquinas de Wimshurst múltiplas

Mais informações: [Máquinas Eletrostáticas](#)

Criado: 29/11/1999

Última alteração: 22/09/2001

[Antônio Carlos M. de Queiroz](#)

Construção de uma máquina de Wimshurst "Classica"!

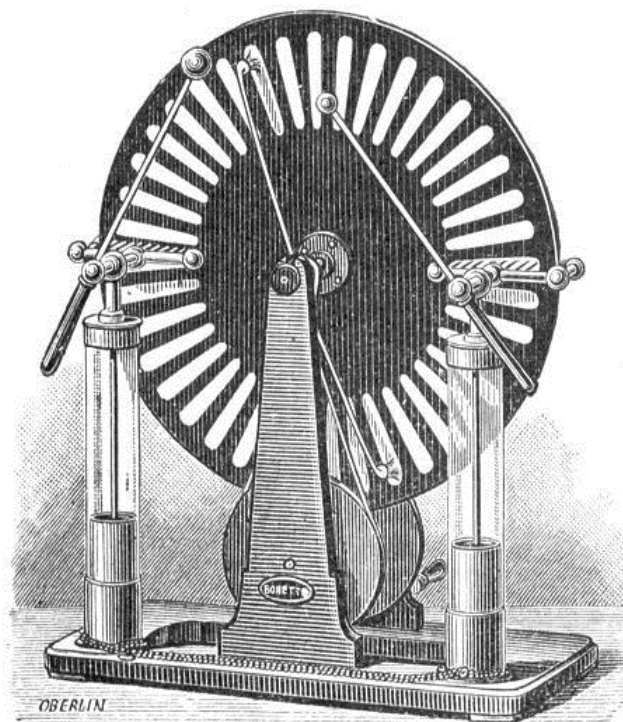
(Implementing a "classic" Wimshurst machine)

A vida é interessante. Algumas pessoas deixam de lado sonhos da infância , outras simplesmente não conseguem deixá-los de lado. Desde menino, lendo antigos livros na biblioteca da escola aonde estudava, sonhava um dia poder construir e operar uma verdadeira máquina eletrostática. Fascinou-me aprender um pouco sobre a estrutura da matéria, o modelo atômico, o elétron - mas eu precisava "ver ao vivo" tudo aquilo que lia. Em especial a máquina de Wimshurst, que aparecia em muitas ilustrações, chamava minha atenção.

Infelizmente as dificuldades para a construção de algo assim são grandes, especialmente se não se tem recursos financeiros e materiais para a sua implementação. A vida passou, veio a internet e um dia, procurando informação sobre descargas elétricas para um trabalho que devia fazer para meu curso de física, encontrei o website do Professor Antonio Carlos Queiroz (<http://www.coe.ufrj.br/~acmq/wimport.html>) - lembrei imediatamente deste sonho deixado para trás - e me perguntei : por que não resgatá-lo?

Passei então a estudar e construir diferentes versões da máquina de Wimshurst. A primeira máquina foi doada a uma escola estadual aqui em Porto Alegre, aonde espero algum dia que um garoto curioso como fui possa se sentir motivado a estudar física. A segunda máquina foi doada ao núcleo de ensino de ciências na faculdade de biologia da PUC/RS - NECBIO, para treinar futuros professores a executar demonstrações de eletrostática.

Esta página apresenta com detalhes a implementação de minha terceira máquina de Wimshurst, numa versão que a meu ver está bem próxima daquelas que eu conheci nos livros de física. Se voce quiser poderá assistir a um vídeo com esta máquina funcionando, operando com as diferentes versões de garrafas de Leyden que testei [clizando aqui](#).



Gostaria de comentar aqui um aspecto interessante desta atividade a que me dediquei: devido à grande quantidade de operações necessárias para se obter as peças para montar estas máquinas, decidi estudar e adquirir um pequeno torno chinês, uma furadeira de bancada me foi doada por meu amigo e irmão Claus Collats. Aprendi muito sobre a confecção de peças com meu amigo Nestor Vogel, que também me ajudou em diversas operações mais complicadas. Também pesquisei muito sobre materiais, inclusive havendo construído um voltímetro eletrostático para poder determinar o potencial desenvolvido por minhas máquinas.

Meu objetivo com este projeto era construir algo bonito e funcional como esta máquina antiga:

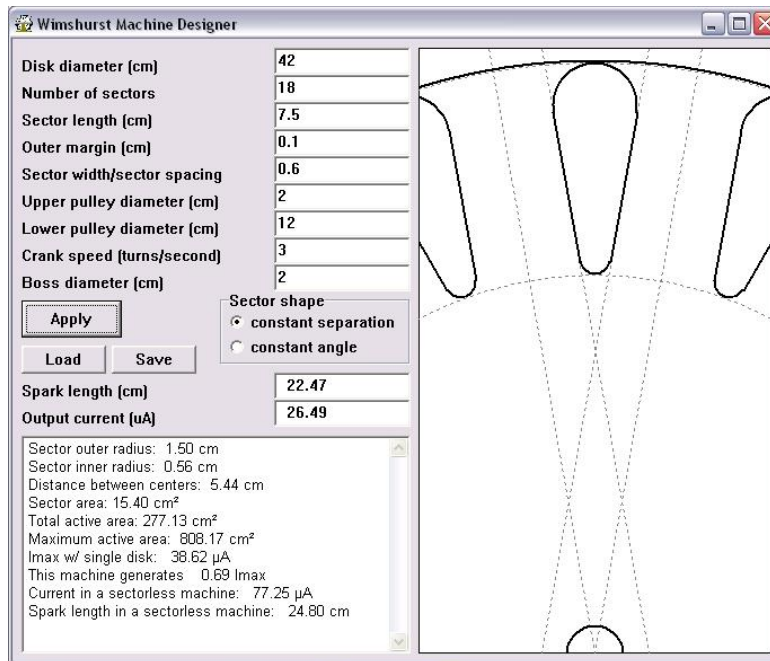


Em face a todo o conhecimento e experiência que adquiri, quer através de pesquisa e experimentação, quer pela troca de idéias com o professor Antonio Carlos Queiroz e dado o caráter multidisciplinar que envolve um projeto deste tipo, recomendo fortemente que todos

os que por ele se interessam que efetivamente coloquem-no em prática!

Início do Projeto

Para o dimensionamento da máquina (tamanho dos discos, estimativa da corrente de saída, etc. utilizei o software desenvolvido pelo professor Antonio Carlos M. Queiroz, o WMD ([clique aqui para download](#)). Usando este software optei pelos seguintes valores:



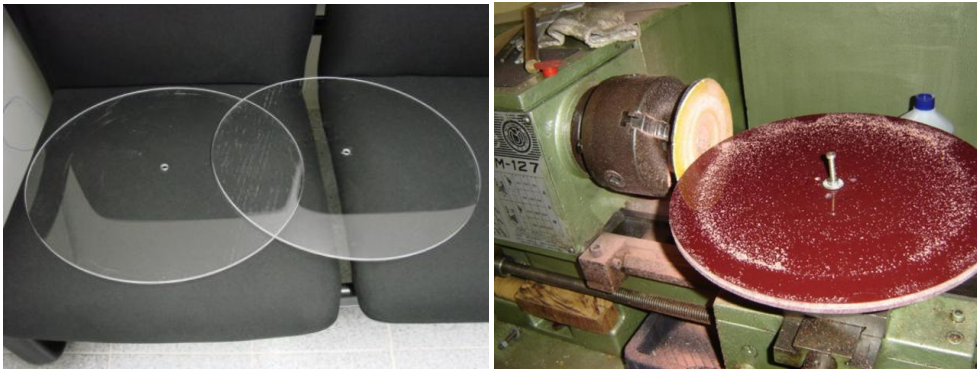
Tela do software WMD já com os valores preditos para minha máquina

De acordo ao calculado, minha máquina poderá produzir faíscas de mais de 20 cm e uma corrente de pouco mais de 26 microampéres. Claro que isto é teórico, e dependerá do material utilizado na sua implementação e nas condições ambientais em que a máquina for utilizada.

Preparação dos discos

Material empregado: Discos de acrílico 4 mm, cortado nas dimensões adequadas; fita auto-adesiva de alumínio

Sem dúvida esta é uma das tarefas mais complicadas de se fazer se não houver o recurso material necessário. Os meus discos são de acrílico de 4 mm de espessura e diâmetro de 43,5 cm. Foram cortados com uma serra tico-tico elétrica e então fixados em um eixo preso ao carro porta ferramentas em um torno, em cuja placa foi fixada uma ferramenta constituída de um disco de madeira com uma lixa colada nele. O resultado foi bom, obtive dois discos bem iguais e circulares.



Discos de acrílico cortados - técnica para fazer discos redondos em um torno

O passo seguinte foi demarcar o local de colagem dos setores. Construí então em uma folha de papelão uma escala de referência, usando um transferidor, e marquei a posição dos setores, Passei então a fabricar os setores. eles são construídos a partir do corte de uma fita de alumínio auto-adesiva (marca Scotch) cortadas usando uma ferramenta especial que mandei fazer em uma fábrica de artefatos para a indústria calçadista. Naturalmente os setores podem ser recortados à tesoura, mas como eu pretendí construir uma máquina bem "profissional"... separados por ângulos de 20°. (São 18 setores).



Ferramenta de corte mandada construir para a fabricação dos setores

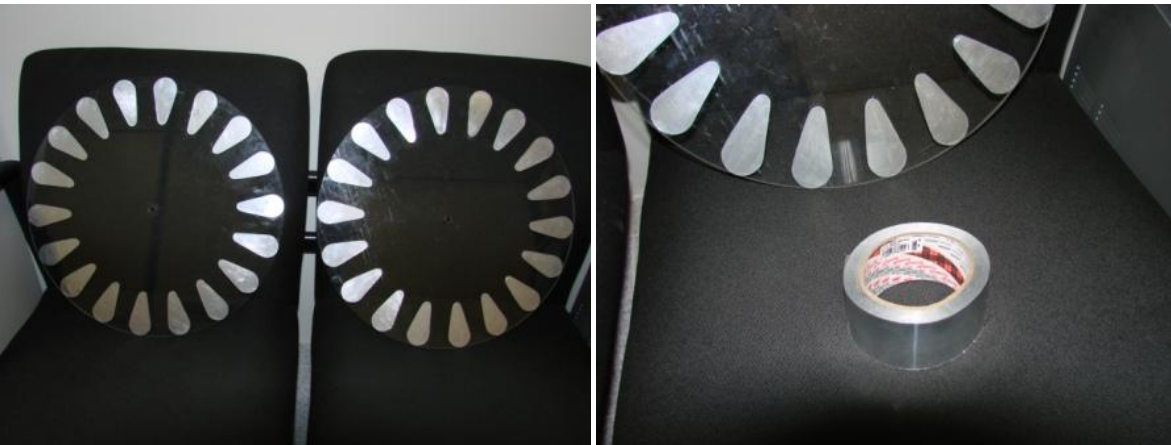


O setor é cortado batendo a ferramenta contra uma madeira (estampagem) usando um martelo

Coloquei o disco de acrílico sobre a escala e iniciei a colagem dos setores, usado como guia o desenho feito no papelão.



Primeiro setor sendo colado no acrílico. Pode-se ver o desenho no papelão abaixo dele; disco com todos os setores colados.



Discos prontos, como eu queria! Detalhe do rolo de fita adesiva de alumínio.

Os Neutralizadores

(Neutralizers implementation)

Os neutralizadores foram construídos com barras de aço inox retiradas da grelha de um fogão velho, cortada cuidadosamente com uma serra para metal. No ponto central fiz um furo e rosca de 4mm e fixei uma esfera para acabamento de um lado e uma porca para ajuste no outro. O conjunto foi fixado ao eixo da máquina aonde foram previamente montados os bosses com rolamento e os discos. Desta maneira posso girar os neutralizadores e fixar sua posição apertando a porca interna com uma chave de boca, e o conjunto fica bonito. Na extremidade que toca os discos fixei um tubo de latão torneado e perfurado com parafusos 3mm, nos quais coloquei uma malha de latão que retirei de um velho magnetron de forno de microondas.



Vista do conjunto discos/eixo/neutralizadores, pronto para ser colocado no suporte da máquina.

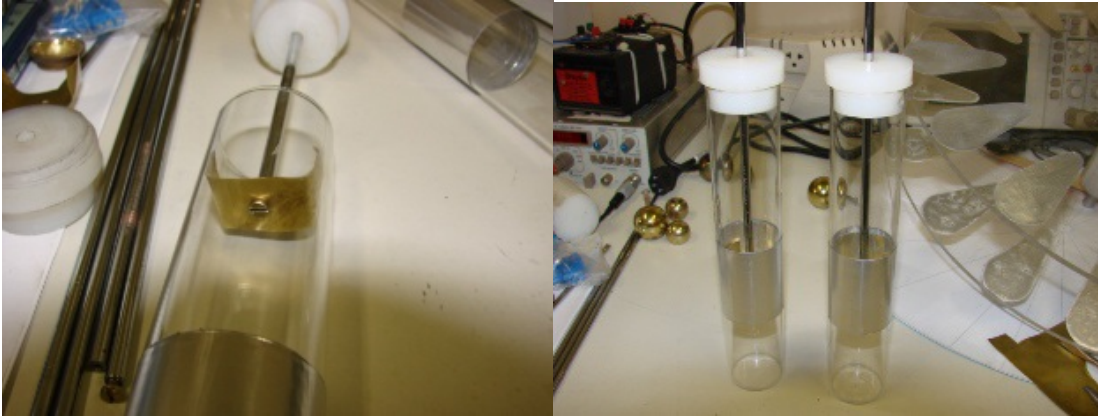
Garrafas de Leyden (capacitores)

(Leyden Jars construction)

Já comentei que implementar máquinas eletrostáticas requer muita paciência e experimentação; nem sempre as soluções planejadas funcionam como esperado. Testei várias formas de construção para as garrafas de Leyden (capacitores de alta tensão) até chegar em uma que funcionasse adequadamente.

Primeira tentativa: Mandei confeccionar num vidreiro um par de tubos de vidro Pyrex, fechados em uma extremidade, para a implementação dos capacitores de alta tensão de minha máquina. A tampa dos mesmos foi torneada em Nylon, e nelas fiz um furo para a passagem de um terminal cilíndrico. Também fiz um pequeno furo na lateral das tampas e neles fiz rosca M3, aí coloquei um parafuso para fixar os eixos nas tampas. Por dentro e por fora do vidro colei a mesma fita metálica de alumínio usada na confecção dos setores, formando as duas placas dos meus capacitores. O contato da placa interna dos capacitores com a haste metálica que sai pela tampa é feito por uma pequena peça de latão dobrado (ver figuras abaixo) que vai presa à haste por um parafuso (a haste foi furada no sentido do comprimento e foi aberta rosca M3 em seu interior para a fixação do parafuso). Os capacitores desta forma construídos foram medidos usando minha ponte RLC e apresentam capacitância de aproximadamente 120 pF (118pF e 121pF). Não posso precisar sua tensão

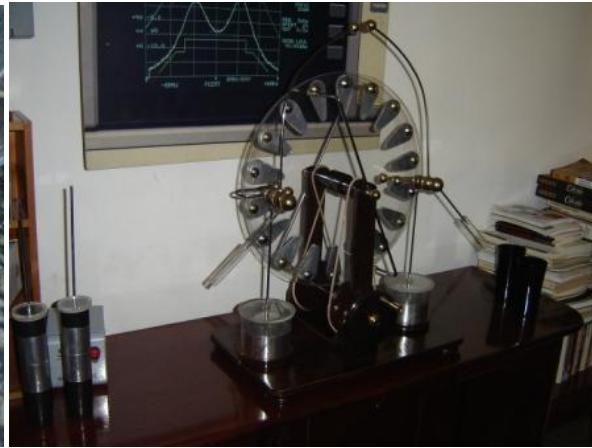
de ruptura, (pois não pretendo alcançá-la!) mas testei os mesmos com minha fonte de alta tensão e os mesmos funcionaram sem problemas até 32kV DC (a tensão máxima da minha fonte). Como eles são ligados em série na máquina de Wimshurst tenho a certeza de que pelo menos 64kV de isolamento eles deverão ter (supondo uma distribuição igual de tensão já que a capacitância deles é aproximadamente mesma). O problema é que o vidro mostrou-se inadequado para minha aplicação, pelo menos assim, sem verniz. A corrente de fuga apresentada é alta, acredito que por causa da condensação de água no mesmo. Por este motivo abandonei este projeto, partindo para uma solução com potes de plástico.



Garrafas lindonas mas com alta fuga - não deram certo!

Segunda tentativa: Adquiri dois potes de plástico, usados para guardar algodão, em um supermercado. Revesti os potes com alumínio aderente por dentro e por fora, e torneei tampas de acrílico transparente para fechar os mesmos. Torneei também uma base de madeira redonda com um rebaixo no centro, envernizei e aparafusei estes pés na base da máquina. A conexão do terminal de aço 5mm com a placa interna do capacitor eu fiz usando uma corrente dourada usada em bijouterias, e o conjunto ficou bom. Testei estes capacitores preliminarmente; agora, eles ficam carregados por muito tempo, diferentemente dos que havia feito antes. Medí sua capacitância com minha ponte RLC, e encontrei 119 pF em um e 121 pF no outro, valores que estão dentro do que eu esperava, e adequados à máquina. Entretanto suas dimensões foram inadequadas à tensão gerada na minha máquina. Faíscas saltavam entre as placas, contornando a borda do capacitor assim construído. Funcionou, e talvez ficasse bem em uma máquina com discos de uns 30 centímetros, mas não na minha máquina atual!





Um pote de algodão foi usado na segunda versão das minhas garrafas de leyden. Observe a corrente que faz a conexão com a placa interna. A máquina, como ficou com estes capacitores baixinhos.

Terceira tentativa: Resolvi cortar dois canos de acrílico (tubos e acrílico) de 20 cm de comprimento e colar uma tampa de acrílico na parte de cima. Na parte de baixo cortei um disco de madeira que envernisei e parafusei na base da máquina. O conjunto assim construído serviu de sustentação para os coletores de carga e terminais de descarga. Ficou lindo! Entretanto, devido ao fato dos tubos não serem fechados no fundo com material melhor isolante que a madeira, à medida que a tensão subia durante a operação da máquina podia observar streamers de fuga. isto limita a tensão máxima obtida com a minha máquina. Pretendo substituí-los no momento em que conseguir copos fechados de acrílico ou plástico.



A máquina com os capacitores da terceira tentativa. Ficou bonita, mas com limitação no desempenho por cusa da fuga entre a placa interna e a base de madeira. Além disto o

acrílico começou a trincar, acredito que por causa do stress devido à alta intensidade do campo elétrico entre as placas.

Preparação do eixo dos discos e Bosses

(Disk and bosses preparation)

Esta é outra parte relativamente complicada na fabricação da máquina de Wimshurst: O mecanismo de permite aos discos girarem em sentidos contrapostos. Seguindo os conselhos dados pelo Professor Antonio Carlos Queiroz optei por utilizar rolamentos ao invés de buchas no eixo dos discos. Em tarugos de nylon foram escavados buracos aonde foram encaixados rolamentos (extraídos de velhos motores) e tudo foi montado sobre um eixo de 1/4 de polegada. Com isto se conseguiu que não houvesse folga nos discos, podendo então montá-los um bem próximo do outro. Pode-se fazer isto com buchas também. O problema é conseguir um mínimo de folga, além do rápido desgaste que pode ocorrer em função do material utilizado. Na minha quarta máquina usei bosses de nylon diretamente sobre o eixo de aço, que funcionam bem também, mas o atrito é maior.



Ir para a [segunda página sobre minha terceira máquina](#).

(go to the second page about this machine)

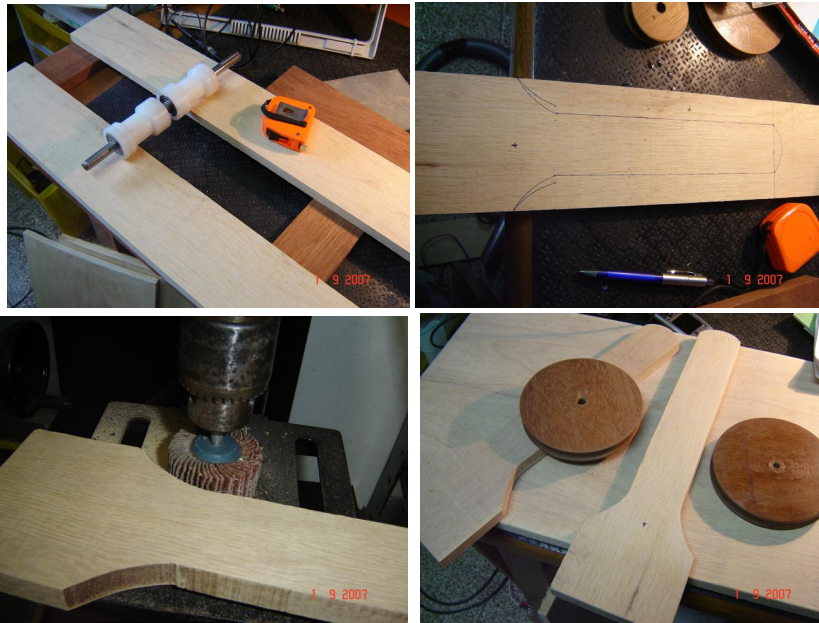
[◀ Back](#) Voltar à minha [página principal](#)

(back to the main page)

Construção de uma máquina de Wimshurst "Clássica"!

[\(continuação da página anterior...\)](#)

Base de madeira, polias e eixos



Recorte dos suportes e base de madeira, que depois são envernizados com verniz naval escuro



Detalhe do encaixe para o eixo dos discos: um parafuso lateral fixa o conjunto, e sua remoção para troca da correia é assim mais fácil. O suporte principal, feito de madeira comum, recebe tratamento com verniz. As laterais são fixadas na base por parafusos e cola de madeira, de forma a assegurar a rigidez necessária ao conjunto.

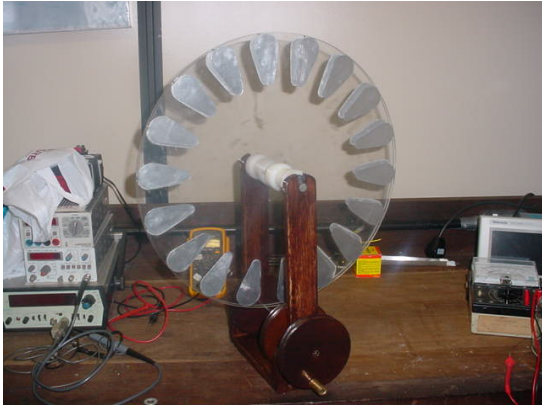


Disco de movimentação da correia, antes de ser envernizado. As laterais foram rebaixadas para comportar a correia de couro que movimentará os discos de acrílico. Detalhe da fixação do disco no eixo. Furei um parafuso de 10 mm no sentido de seu eixo com uma broca com diâmetro de 6,5 mm (este é o diâmetro do eixo que usei), e depois fiz um furo na sua cabeça com broca de 3,5 mm. Em seguida fiz uma rosca de 4 mm e coloquei o parafuso philips que aparece na foto. Com isto é possível fixar a roda ao eixo, e soltar o conjunto para troca de correia simplesmente afrouxando este pequeno parafuso.



Este é o eixo de 6,5 mm que movimentará as rodas que impulsionarão as correias de couro. Este eixo é na verdade um pino de fixação de telhas de amianto, adquirido numa ferragem. Em um dos lados eles vem com uma rosca de 6mm e porcas de fixação. O disco de madeira mostrado será usado para a implementação do manete (manivela) e ainda permitirá o acoplamento a um pequeno motor elétrico, se assim o desejar. Detalhe do manete de latão

que irá acionar o eixo com as polias de madeira. ele tem um parafuso M4 com porca e contraporca em seu eixo, presas de tal maneira a permitir que o manete gire livremente sobre este eixo.



E, aos poucos, ela vai tomando forma! Pode-se observar o suporte de madeira, já tratado para parecer "antigo", com os dois discos montados. A máquina ainda está sem a base, que agora vai ser preparada da mesma maneira que o suporte. Os dois discos são mantidos separados por uma arruela de metal com furo central de 1/2 polegada - a distância entre o lado interno deles é de menos de 3 mm.



Detalhes das polias, já envelhecidas. O processo de envelhecimento consistiu de aplicar verniz escuro (2 demãos), depois lixar com lixa grossa, forçando para remover de forma irregular o verniz, depois aplicadas mais 2 demãos de verniz transparente. para quem nunca havia feito, acho que ficou bom...

Coletores de carga

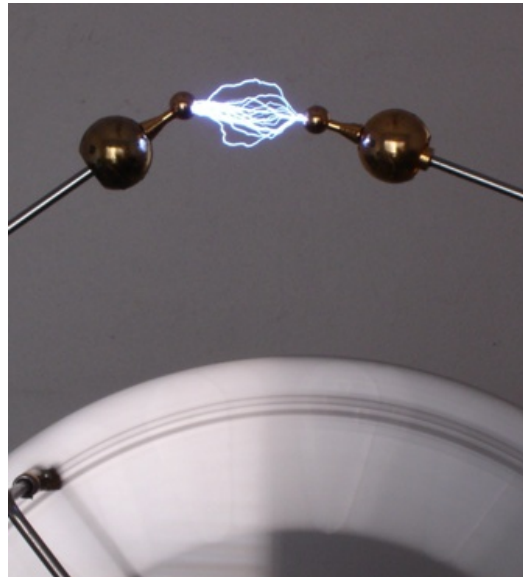
Descobri (tardiamente!) que os coletores de carga que desenhei e construí não iriam funcionar direito. A razão disto é a elevada fuga que encontrei nos bastões de vidro Pyrex que estava planejando usar como suporte para os coletores. Pena! os coletores antigos tinham ficado bonitos, mas ... Parti então para algo novo, que seguramente fosse funcionar. Mas antes de apresentar os novos coletores, gostaria de comentar como determinei que os isoladores não iam funcionar direito: carreguei um eletroscópio (como [estes](#) que construí) e toquei o seu terminal com uma ponta do bastão devidamente seco. Constatei que as folhas do mesmo se aproximam rapidamente (a umidade do ar não era alta, da ordem de 55%). Parti então para um conceito completamente diferente deste que já estava dando por concluído. Usando uma grade de inox de um fogão danificado, cortei a grade e dobrei usando como molde uma polia de ferro para obter as peças da figura abaixo.



Um martelo de borracha foi usado, além de um pouco de força bruta do construtor... O material tem 5 mm de diâmetro.



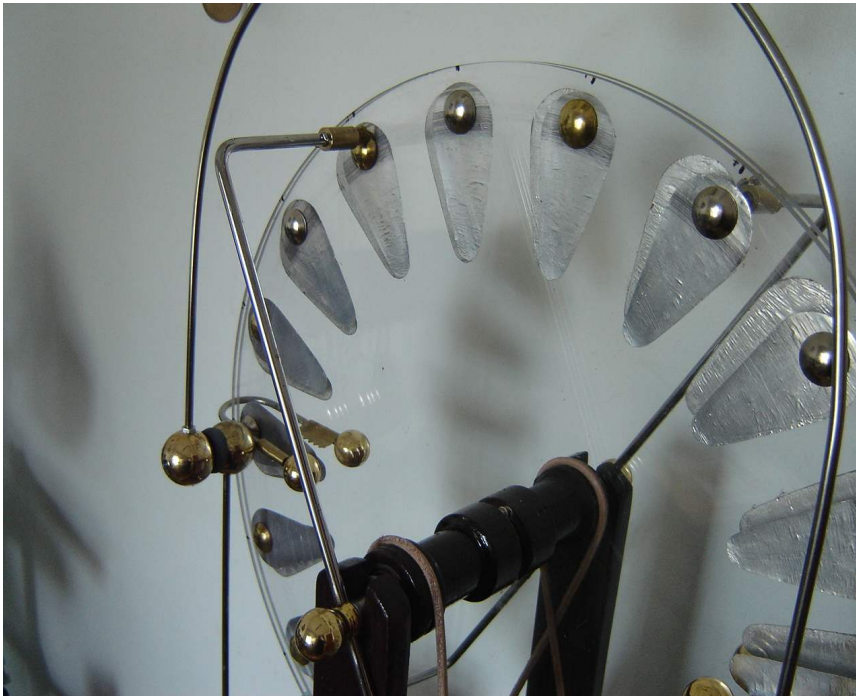
Mais tarde resolvi modificar a sustentação dos coletores de carga. Ao invés de uma barra de acrílico horizontal presa ao suporte dos discos (upright) decidi construir garrafas de Leyden capas de suportar os coletores, terminais de descarga e manípulos.



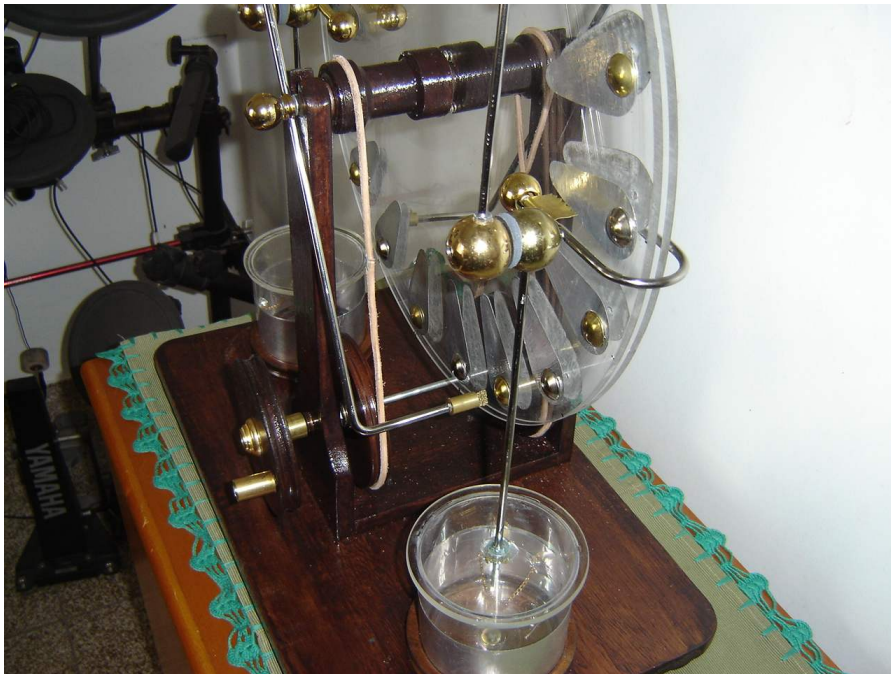
Algumas faíscas (tempo de exposição 5 segundos, 75% de umidade - 6,3 cm de afastamento). A corrente de saída neste caso é de 28 microamperes.



Uma única faísca tomada em velocidade normal do obturador.



Decidi melhorar a minha terceira máquina. Instalei pequenas calotas metálicas nos setores e afastei os neutralizadores. desta maneira consegui que os discos de acrílico não riscuem mais, o que vai aumentar a vida útil dos setores e dos discos. Também eliminei a barra de apoio para os coletores de carga, de acrílico, que ficava no centro da máquina.



Outra vista da máquina pronta.

ATUALIZANDO A MÁQUINA

(machine update)

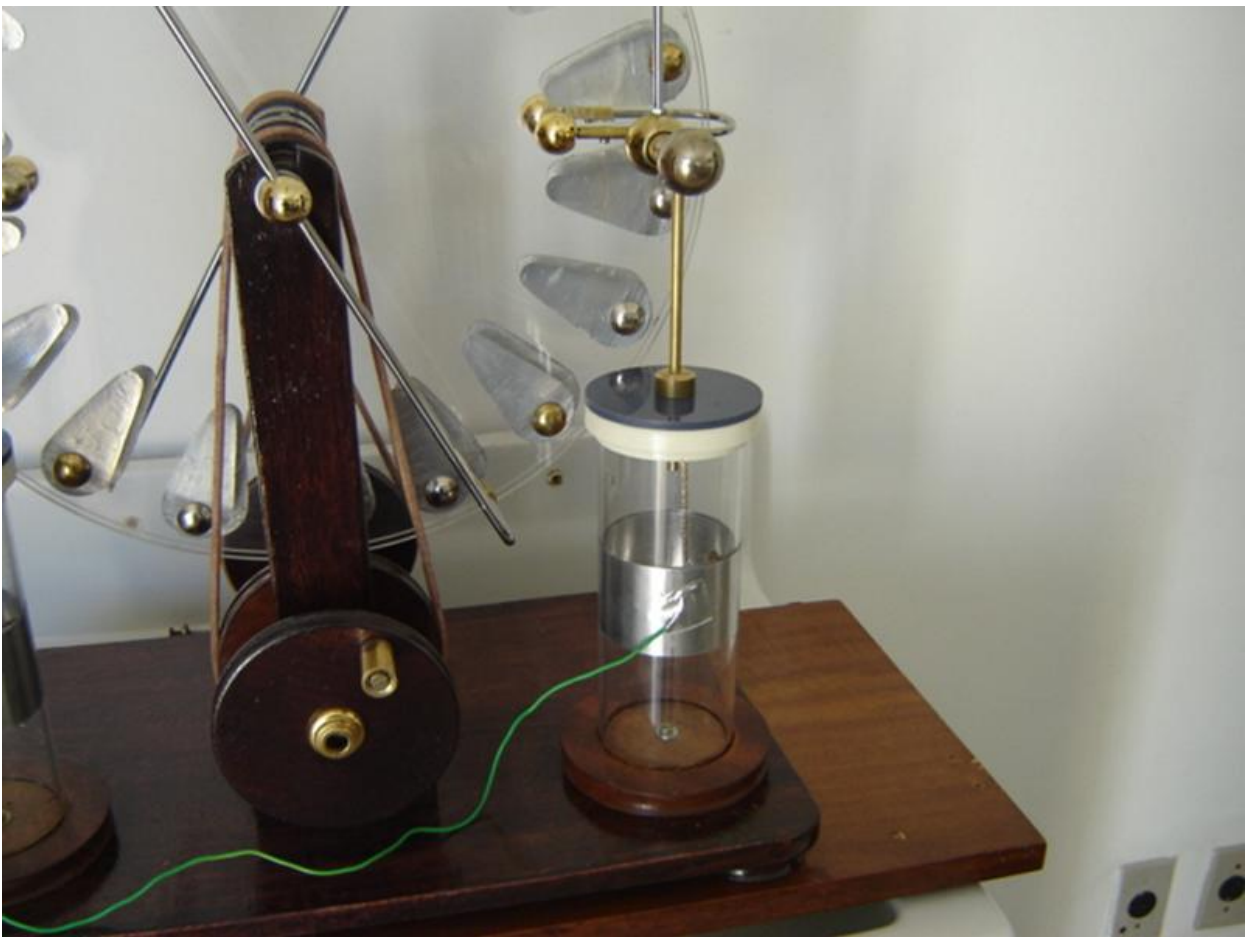
Decidi melhorar minha máquina. Ao movimentar os terminais de descarga os coletores de carga ficavam desalinhados, devido à certa flexibilidade das hastes que saem das garrafas de Leyden. A aparência destes capacitores também não havia ficado como eu esperava, e por esta razão desenhei e construí novos capacitores e coletores de carga, que agora ficaram mais rígidos e menos suscetíveis a saíderem de posição ao mover os terminais de descarga. A máquina ficou mais bonita também! Abaixo algumas fotos da modificação feita.



Novos terminais e tampas para as garrafas de Leyden. O parafuso na tampa permite ajustar a altura dos coletores de carga, que antes ficavam fixos.



Os terminais coletores de carga foram melhorados e torneados em latão para uma aparência mais "antiga".



Vista de um capacitor e do terminal de coleta de carga já montado no lugar.



Vista detalhada do capacitor e do terminal.




Vista detalhada dos bosses e suporte de sustentação dos discos de acrílico. Os bosses forma torneados em teflon e pintados de marrom para parecerem madeira.




A máquina com os novos capacitores já montados no lugar. Falta ainda a conexão definitiva

das placas externas, que na foto foram ligadas por um fio verde provisoriamente afixado para testar a máquina.

Esta máquina é muito confiável, sendo utilizada em minhas aulas de física nas escolas. Chama muito a atenção dos alunos!

 Voltar para a primeira página da [terceira máquina](#)

 Voltar à minha [página principal](#)

A Máquina de Wimshurst



A Máquina de Wimshurst é um dispositivo mecânico que, pelo processo da indução e polarização de cargas em condutores, separa cargas positivas de negativas acumulando-as, respectivamente, nos seus terminais esféricos e/ou nas Garrafas de Leyden (capacitores).

Ela foi inventada pelo físico inglês James Wimshurst [1832 – 1903] em 1880 e reinou nos laboratórios até o surgimento do gerador eletrostático Van De Graaff em 1931.

Uma máquina com disco de 30 cm de diâmetro pode gerar entre os seus terminais uma tensão (voltagem) em torno de 100.000 volts, porém com baixíssima corrente.

Funcionamento

A Máquina de Wimshurst consta, basicamente, de dois discos iguais de acrílico ou plástico duro que giram em sentidos opostos ao redor de um mesmo eixo mantendo entre si um pequeno afastamento.

Em cada disco são colados em torno de 30 ou mais setores metálicos igualmente espaçados, dependendo do diâmetro dos discos.

Dela também fazem parte:

1) duas barras neutralizadoras diametrais [defrente a cada disco] em cujas extremidades são anexadas “escovas” de fios finos de cobre; em virtude delas estarem aterradas (ligadas à Terra ou a massa – metais – do eixo), as “escovas” retiram o excesso de cargas elétricas da superfície externa dos setores quando neles se tocam;

2) dois coletores de cargas ligados aos respectivos terminais (duas esferas metálicas) e/ou capacitores (garrafas de Leyden); as cargas coletadas por cada um são sempre de sinais opostos;

3) uma manivela que deve ser girado no sentido horário. Assim o disco frontal gira no sentido horário e disco posterior, no sentido anti-horário.

Por um mecanismo engenhoso, a Máquina de Wimshurst colhe, por meio dos coletores, cargas positivas e negativas, separadas pelo [processo da indução e polarização de cargas](#) em metais, e as armazenam em terminais e/ou Garrafas de Leyden (capacitores)

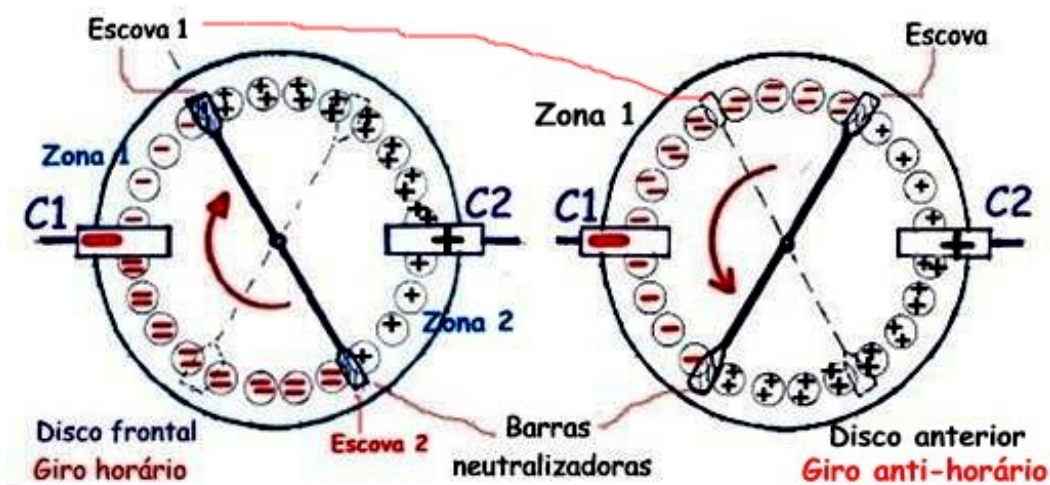
distintos.

Carga elétrica inicial

O processo de indução requer a existência de um objeto previamente eletrizado para influenciar (induzir) a separação de cargas num segundo objeto.

No caso da Máquina Wimshurst, os discos em geral possuem cargas iniciais em excesso, a partir das quais o processo de indução é processado. É o sinal destas cargas residuais nos discos que define qual dos terminais da Máquina de Wimshurst será o terminal positivo e qual o negativo.

Processo de separação de cargas



As figuras ilustram os dois discos da Máquina de Wimshurst girando em sentidos opostos.

Os setores circulares com sinais vermelhos (-) representam cargas negativas e os setores com sinais pretos (+), as cargas positivas.

Vamos fazer uma análise qualitativa a partir do coletor de cargas C1 com o disco frontal movendo-se no sentido horário e o anterior, no sentido anti-horário.

1.- Os setores do disco anterior, na zona 1, entre o coletor C1 e a escova 1, têm cargas negativas; estas cargas, por indução, repelem cargas negativas de cada setor do disco frontal na zona 1, para a respectiva superfície externa e atraem as cargas positivas para a superfície adjacente ao disco (colada no disco).



2.- Na zona 1, as cargas nas superfícies externas de cada setor são negativas. Quando eles passarem pela escova 1, a escova da barra neutralizadora liga cada setor à Terra e anula as cargas negativas da superfície. Resultado: depois de passar pela

escova 1, cada setor leva consigo cargas positivas até o coletor C2.

3.- No coletor C2, as cargas positivas de cada setor do disco frontal são coletadas e armazenadas no respectivo terminal e/ou Garrafa de Leyden.

A partir do coletor C2, ocorre um processo análogo da zona 1, com sinais trocados.

Vejamos:

I.- Os setores do disco anterior na zona 2, entre C2 e a escova 2, têm cargas positivas que, por indução, atraem cargas negativas para a superfície adjacente ao disco de cada setor do disco frontal na zona 2; assim, na zona 2, cada setor do disco frontal fica com carga positiva.

II.- A escova 2, neutraliza a carga positiva da superfície externa, mas deixa as negativas acumuladas na superfície adjacente ao disco de cada setor. Assim, após a escova 2, os setores ficam com cargas negativas.

III.- As cargas negativas ao passarem pelo coletor C1 são coletadas e armazenadas numa outra garrafa de Leyden. E assim, conforme os discos giram, as cargas são separadas e coletadas pelos coletores C1 e C2.



A tensão nos terminais

Os coletores abastecem os terminais esféricos (+) e (-) e se descarregam por meio de faíscas que ficam mais intensas quando os terminais forem ligados a capacitores.



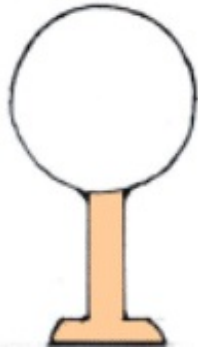
A Máquina de Wimshurst com disco de 30 cm de diâmetro pode gerar 100×10^3 V e corrente de 20×10^{-6} A

Se o disco for de 50 cm de diâmetro com 40 setores, a tensão pode chegar a 300×10^3 V.

A velocidade angular de rotação dos discos não influi na tensão, mas na corrente elétrica (quantidade cargas geradas por segundo).

Eletrização por indução.

Os condutores elétricos, como os metais, têm elétrons - os "elétrons livres" - que, sob ação de forças elétricas, passam de um átomo para outro. Num fio de cobre, cada átomo disponibiliza um de seus elétrons mais distante do núcleo para comporem a coleção de "elétrons livres". Estima-se em $8,46 \times 10^{23}$ elétrons livres/cm³ de cobre.



Polarização de cargas num condutor.

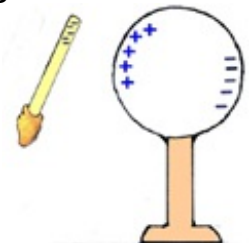
A animação ilustra um bastão de plástico PVC (isolante elétrico) com cargas negativas aproximando-se de uma esfera metálica, porém sem tocá-la.

O bastão recebe o nome de "indutor" e as suas cargas elétricas de "cargas indutoras".

As cargas indutoras negativas exercem forças de repulsão sobre os "elétrons livres" que são "empurrados" para mais distante possível das cargas indutoras. Assim a região próxima do indutor fica com "falta de elétrons" (carga positiva) e a mais distante com "excesso de elétrons" (carga negativa).

Enquanto as cargas indutoras negativas forem mantidas próximas ocorre o fenômeno da "polarização" de cargas na esfera ou seja, uma região concentra cargas positivas e outra oposta da primeira, cargas negativas.

A esfera fica polarizada, mas não eletrizada, pois se na região negativa tem-se "excesso de X elétrons", a região positiva apresenta "falta de X elétrons". Matematicamente, [excesso de X elétrons] + [falta de X elétrons] = 0 ou seja, a quantidade total de elétrons e prótons não foi alterada. Após a retirada das cargas indutoras os elétrons livres da esfera se redistribuem e a polarização deixa de existir.



Se as cargas indutoras fossem positivas, a região da esfera mais próxima da esfera ficaria com cargas negativas enquanto a mais remota ficaria com cargas positivas.

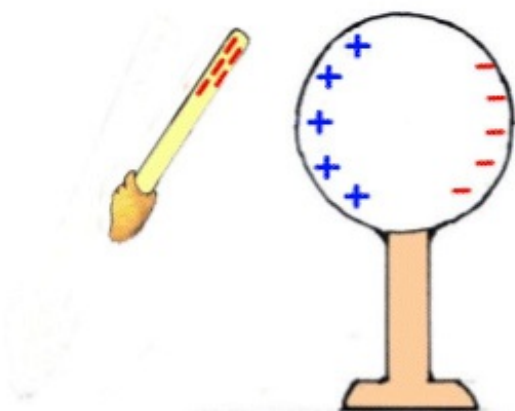
Como deixar uma esfera eletrizada usando o processo da indução?

Clique para saber.

Retorno Pagina Inicial	Retorno Processo de Eletrização	Eletrizando uma esfera metálica por indução
--	---	---

Eletrizando uma esfera metálica por indução.

Se as cargas indutoras forem negativas, na eletrização por indução de uma esfera metálica isolada,



a esfera fica com cargas positivas.

Veja a animação.

As "cargas indutoras negativas" polarizam a esfera metálica. Alguns elétrons livres - depende da quantidade de cargas negativas indutoras - são repelidos para uma região da superfície da esfera oposta àquela próxima do indutor.

Assim, num lado concentram-se

cargas positivas e no lado oposto, cargas negativas. Esta situação permanece estável enquanto as cargas indutoras negativas forem mantidas na mesma posição.

Os elétrons livres - mesmo distantes das cargas indutoras- ainda sofrem forças de repulsão; assim, se uma pessoa encostar a mão na esfera, os elétrons livres serão empurrados e se espalham pelo corpo humano, pois o corpo humano também conduz cargas elétricas (com menos eficiência do que os metais).

Feito isto, retirando-se o dedo da esfera, as cargas positivas ainda ficam concentradas no lado das cargas indutoras negativas sob ação de forças de atração (cargas de sinais opostos se atraem).

Com a retirada do indutor, as cargas positivas - agora sob ação das forças repulsivas (cargas de mesmo sinal se repelem) - se distribuem ao longo da superfície da esfera até encontrarem uma configuração de equilíbrio.

Assim, a esfera fica eletrizada com cargas positivas (opostas ao do indutor).

Uma outra maneira é fazer um "aterramento" da esfera ou seja ligar a esfera à Terra por meio de um fio. Os elétrons livres serão empurrados para a Terra que um corpo (o maior deles) com uma imensa capacidade de absorver e ceder elétrons livres.

Voce sabe como eletrizar - ao mesmo tempo - duas esferas metálicas por indução?

Clique para saber.

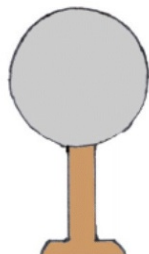
[Retorno pagina inicial](#)

[Retorno
topo da
página](#)

[Eletrizando duas esferas
metálicas por indução](#)

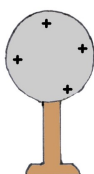
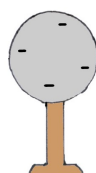
Eletrizando duas esferas metálicas por indução

Pode ocorrer eletrização por indução sem o uso da "ligação à Terra". Veja a animação.



Duas esferas metálicas, inicialmente neutras e apoiadas em hastes isolantes são encostadas uma na outra; um indutor eletrizado (no caso, eletrizado positivamente - falta de elétrons). As cargas positivas do indutor atraem elétrons livres que se movimentam e se concentram, na primeira esfera, na região próxima do indutor; esta movimentação deixa na região mais remota, na segunda esfera, uma concentração de cargas positivas (falta de elétrons).

Com o indutor fixo na posição, desloca-se a segunda esfera e, só depois, remove-se o indutor.



No final do processo, a primeira esfera fica com X cargas negativas (excesso de X elétrons) e a segunda com X cargas positivas (falta de X elétrons).

Se antes da eletrização as duas esferas não tinham excesso de cargas nem de um sinal nem do outro, após o processo, somando-se X cargas negativas da primeira esfera com X cargas positivas da segunda esfera, tem um resultado nulo.

$$\text{Excesso de X elétrons} + \text{Falta de X elétrons} = 0$$

Não houve criação de cargas elétricas, apenas transferência de X elétrons de uma esfera para outra.

[Retorno Página Inicial](#)

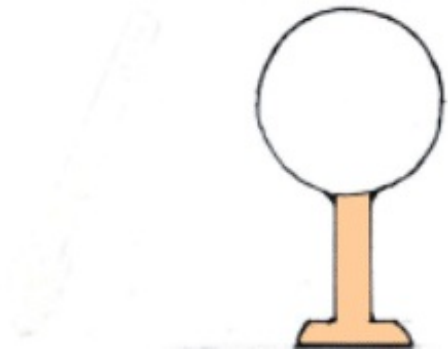
[Retorno](#)
[Processo de](#)
[Eletrização](#)

[Topo](#)
[desta](#)
[página](#)

POLARIZAÇÃO DE CARGAS

Polarização de cargas num condutor.

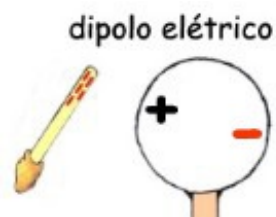
Pelo processo da indução elétrica pode-se separar cargas num condutor, conforme mostra a animação. Com a aproximação das cargas indutoras do bastão (no caso, cargas negativas), os "elétrons livres" mais próximos, sofrendo ação de forças elétricas mais intensas, são repelidos para mais distante possível, estabelecendo dois pólos com cargas elétricas opostas : um pólo (+) com "falta de elétrons" e outro pólo () com excesso de elétrons.



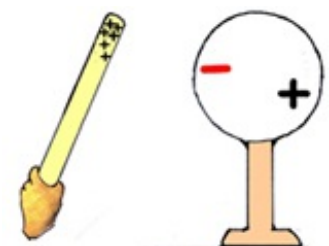
Enquanto esta separação de cargas permanecer, a esfera adquire configuração de um "dipolo elétrico" (cargas positivas e negativas concentradas em regiões opostas).

A este fenômeno dá-se o nome de "polarização" de cargas .

A esfera fica polarizada, mas não eletrizada; um pólo tem "excesso de X elétrons", o outro tem "falta de X elétrons". Após a retirada do bastão os X elétrons livres se redistribuem deixando a esfera despolarizada e neutra, como originalmente estava.



Se as cargas indutoras fossem positivas, a esfera adquire uma configuração inversa: o pólo mais próximo do bastão concentra cargas negativas (pois são atraídas pelas cargas positivas do bastão) e o outro polo concentra cargas positivas (pois são repelidas pelas cargas positivas do bastão).



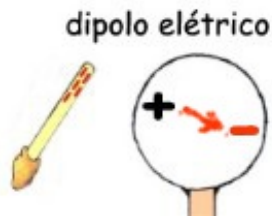
Polarização de cargas num isolante.

Clique para saber.

[Retorno Pagina Inicial](#)

[Polarização num isolante](#)

Polarização de cargas num isolante.



Na polarização de um condutor, os elétrons livres interagindo com cargas indutoras externas movem-se de uma região para outra oposta formando, no corpo, um pólo (+) e outro (-) ou seja, um dipolo elétrico como ilustra a figura.

E os isolantes elétricos - que não possuem elétrons livres - é possível polarizá-los?

Sim, mas não da mesma forma como ocorre nos condutores.

Nos isolantes a polarização acontece nas moléculas ou os átomos da superfície do corpo.

Polarização atômica

A nuvem eletrônica distribuída uniformemente. Átomo não polarizado.	Deformação da nuvem eletrônica pela ação de cargas indutoras negativas. Átomo polarizado. Dipolo elétrico.	Deformação da nuvem eletrônica pela ação de cargas indutoras positivas. Átomo polarizado. Dipolo elétrico.

Nos átomos, em torno do núcleo positivo, os elétrons se distribuem numa "nuvem eletrônica" com densidades variáveis; onde a densidade for maior, maior é a probabilidade de se encontrar os elétrons.

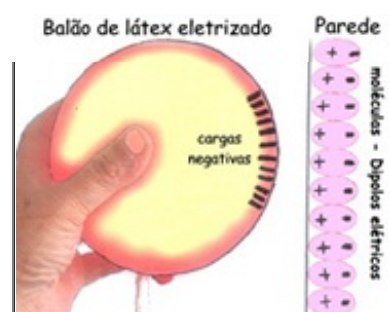
Essa nuvem pode ser deformada, deslocando os centros de cargas positivas e negativas em dois pólos.

Com as moléculas - combinação de átomos - também ocorre o fenômeno da polarização.

Exemplo.

Quando cargas indutoras se aproximam de um isolante como as de um balão de látex eletrizado aproximando-se de uma parede a "nuvem eletrônica" de moléculas e átomos sofrem deformações que originam dipolos elétricos. Na ilustração, as moléculas da superfície da parede transformam-se em dipolos elétricos, com os pólos (+) voltados para as cargas negativas do balão e os pólos (-) no lado oposto. É esta polarização quem explica o fato de um balão eletrizado ficar grudado numa parede.

Clique para saber.



[Retorno](#)
[Página](#)
[Inicial](#)

[Topo da](#)
[página](#)

[Atração entre um corpo neutro e outro eletrizado.](#)