

## UNICAMP/IFGW

**F809** - Instrumentação para o ensino - 2º Semestre/2002

**Projeto** - Máquina de Van de Graaff

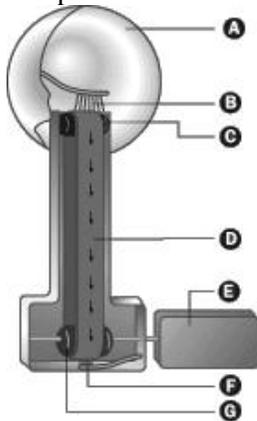
**Profº orientador** - David M. Soares

**Aluno** - Joander Rodrigues (970861)

### Parte I - O projeto

i) Descrição do projeto - A finalidade deste projeto foi o estudo de um gerador de altos potenciais eletrostáticos. A primeira providência foi tentar conseguir um gerador desses ( na Unicamp não tem) para realizar os estudos. Num acordo com um professor de 2º grau, de uma escola da RMC (IASP-Hortolândia/SP), ficou acertado que ele me emprestaria um gerador eletrostático de *Van de Graaff*<sup>1</sup> para o projeto, se eu, em troca, tentasse consertá-lo, pois estava danificado.

ii) O conserto do equipamento - Para realizar o conserto, foi necessário realizar um levantamento de dados do gerador. Analisando a figura abaixo, podemos enumerar suas componentes fundamentais :



- a) Esfera de metal (aço ou alumínio)
- b) Contato superior (lâmina ou escova)
- c) Rolo/polia/roldana (superior)
- d) Correia (borracha , nylon, couro, etc)
- f) Contato inferior (lâmina ou escova)
- g) Rolo/polia/roldana (inferior )
- e) Motor \* (elétrico)

\* Em vez de motor, pode-se usar uma engrenagem à manivela, utilizando-se energia mecânica.

Fig.1) Ilustração de um gerador de Van de Graaff<sup>1</sup> .

Analisando-se o gerador, pude verificar que a sua correia , que era de borracha, estava rompida, e além disso, cheia de remendos como fita adesiva, super *Bonder*, etc. o que mostrava várias tentativas anteriores , menos elaboradas e mal sucedidas, de consertá-lo. Além do mais, é bastante recorrente, nesses geradores, problemas envolvendo correias. Também, pude verificar um grande desgaste de uma peça que não está ilustrada acima e que foi preciso, também, efetuar a sua troca. Trata-se da correia de transmissão, que liga a rotação, de origem elétrica, do motor ao rôlo (item g), fazendo a correia principal (item d) se mover. Além da troca das correias, precisei dar uma atenção especial aos contatos inferiores e superiores (itens f e b, respectivamente), que estavam um pouco amassados e descentralizados, fazendo então com que a correia

principal se movesse de forma errada, forçando-a ainda mais e, causando um desgaste adicional, reduzindo , assim, o seu tempo de vida útil, portanto.

Para conseguir o material adequado que serviria como correia principal, tive que fazer uma busca em lojas especializadas em borracha. Felizmente, aqui em Campinas, há uma loja assim : PARAÍSO DAS BORRACHAS COM INDÚSTRIA (Av. Dr. Campos Sales, 347/355 - Campinas /SP). No estabelecimento, eles nem sabiam, naturalmente, o que era um gerador eletrostático . O que precisei fazer foi extrair as medidas da correia danificada e procurar alguma com as mesmas dimensões (me refiro à espessura e à cor. Não pôde se preta, porque a grafite é um bom condutor e está presente em borrachas vulcanizadas). Depois de uma procura cuidadosa, um funcionário achou o material. Não pude, naturalmente, pagar apenas por uma tira de material. Tive que pagar por meio metro quadrado, que era o tamanho mínimo. Depois , em casa, extrai a tira desse material, e logo a seguir, costurei, manualmente, as duas pontas. Antes de costurá-la, é claro, tentei colar. Mas, após várias tentativas, conclui que a cola não fornecia a adesão suficiente para superar a tração do movimento do gerador. Entretanto, com a costura, o resultado se manteve e mostrou-se bastante satisfatório.As dimensões da tira são : 90cm X 5cm X 1mm .Esta etapa, além de ter sido resolvida, ensina, para donos de geradores danificados, um jeito viável, rápido, definitivo e prático de substituir suas correias estragadas.

Quanto á correia de transmissão, a solução foi semelhante. Saí às ruas do centro da cidade em busca de alguma correia dentada das mesmas dimensões. Depois de várias buscas, por vários dias, em muitos estabelecimentos, não encontrei a correia específica, nem mesmo, alguma parecida (pois suas dimensões são muito pequenas). Então resolvi que seria melhor eu comprar a menor correia dentada disponível no mercado (trata-se de uma correia utilizada em lavadeiras de louças da ARNO).Fui então na BRASGEL - *Assistência técnica, consertos, reformas e pinturas de geladeiras, microondas, máquinas de lavar roupas, etc.* Localizada na Av. das Amoreiras, 1045 São Bernardo-Campinas/SP. Essa correia é maior e mais larga do que a do gerador. Daí tive que cortá-la para reduzir o seu tamanho, e cortá-la para reduzir a sua largura. Para isso, utilizei um bisturi e realizei cuidadosamente a cirúrgica tarefa.As dimensões dessa correia são :25cm X 0,5 cm X 1mm. Depois, só precisei costurar as duas pontas, como eu havia já feito antes, com a correia principal.Com isso, efetivei o conserto do gerador.

### **iii) Tarefa adicional -(Visita à exposição Portinari<sup>2</sup>)**

Foi parte desse projeto, também, a visita na exposição Portinari<sup>2</sup> : Arte e ciência; Realizada no museu de arte ( Casa do Lago) na Unicamp, e pôde ser visitada por milhares de alunos de 1º e 2º graus ao longo de praticamente todo o mês de Outubro passado. O evento foi o resultado de uma parceria entre a IBM e o Projeto Portinari<sup>2</sup> (RJ) e que consistiu, basicamente, em vincular as obras de Portinari<sup>2</sup> aos fenômenos físicos. A dinâmica era colocar uma reprodução das obras do artista, ao lado de um aparelho físico correspondente. Como exemplo, a obra " Meninos no balanço " em que crianças estão brincando num balanço, está ao lado de uma estrutura contendo dois pêndulos que oscilam sobre o mesmo eixo horizontal em que cada corpo fica transferindo energia um para outro (Conservação da energia ). Da mesma forma, encontramos outras máquinas simples evidenciando fenômenos mecânicos. Mas havia também, fenômenos óticos e elétricos e é claro, sempre com uma tela do artista ao lado.

O mais importante, para o meu projeto, foi a apresentação do gerador de Van de Graaff<sup>1</sup>. Este é sempre o último a ser apresentado ( talvez por o seu o mais especial, ou talvez, por ser o mais barulhento! ). Anotei os detalhes dessa apresentação, realizada por monitores (Instituto de Artes ou Pedagogia da Unicamp - nenhum do IFGW ) e pude observar de perto o que é ensinado para os alunos a respeito desse aparelho e avaliar o que é falado e o que não é falado para os alunos. Os bastidores dessa visita, além de outros assuntos, estão disponíveis no relatório parcial nº 1 deste projeto.

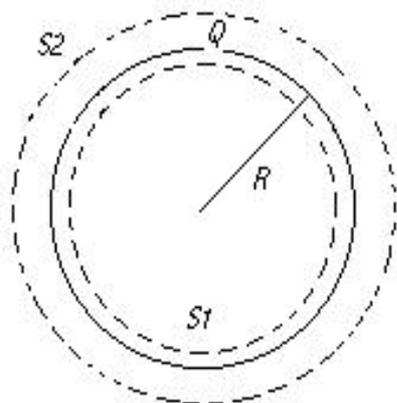
## Parte II - O gerador de Van de Graaff<sup>1</sup>

Quando se fala em geradores de Van de Graaff<sup>1</sup> a primeira associação que fazemos é imaginar uma moça com seus longos cabelos eriçados devido à eletricidade estática ali acumulada. Embora este seja um aspecto notável, o gerador possui muitas outras utilidades e foi concebido, em 1931, para servir de aceleradores de partículas nas físicas atômicas e de partículas elementares. Tais aceleradores foram idealizados primeiramente por Lord Kelvin<sup>3</sup> e, mais tarde, chamados por este nome devido a Robert J. Van de Graaff<sup>1</sup> que pela primeira vez o colocou em prática.

A teoria envolvida é bem descrita pela lei de Gauss<sup>4</sup> e é uma prova quantitativa da seguinte especulação :

*"Qualquer excesso de cargas colocado em um condutor isolado se moverá inteiramente para a superfície do condutor. Nenhum excesso de carga será encontrado no interior do corpo do condutor "*

De fato, para uma esfera condutora oca, aplicando a lei de Gauss<sup>4</sup>, obtemos que :



A lei de Gauss nos diz que

$$\nabla E = \rho/\epsilon_0$$

integrando a equação acima pelo volume v temos :

$$\int \nabla E \, dv = \int \rho/\epsilon_0 \, dv, \text{ ou seja,}$$

$$\int_c \mathbf{E} \, \mathbf{n} \, da = \int \rho/\epsilon_0 \, dv$$

$$P/ S_1, \quad \int \rho/\epsilon_0 \, dv = 0, \text{ logo :}$$

$$\mathbf{E} = \mathbf{0}$$

$$P/ S_2, \quad \int \rho/\epsilon_0 \, dv = q, \text{ logo :}$$

$$\boxed{\mathbf{E} = q/(4\pi\epsilon_0 r^3) \mathbf{r}}$$

Fig.2) Uma casca esférica de carga Q e superfícies gaussianas S<sub>1</sub> e S<sub>2</sub>. Somente S<sub>2</sub> engloba cargas .

Portanto, uma casca esférica condutora, da qual podemos generalizar os resultados para um condutor com uma cavidade, tem as cargas líquidas

acumuladas somente em sua superfície externa.

Parece ter sido Franklin<sup>5</sup> o primeiro a fazer experiências nessa linha de pesquisa. A figura 3 mostra o aparato simples que ele utilizou. Com essa experiência, ele comprovou a validade da equação  $\mathbf{E} = q/(4\pi\epsilon_0 r^3) \mathbf{r}$ . A experiência que ele realizou consiste em eletrizar uma bolinha de metal e, fazer com que a mesma desça, por um fio isolante, até tocar o fundo da lata. Quando a bola toca a lata, o conjunto bola-lata formará um único condutor isolado. Quando trouxermos a bola de volta, veremos que ela estará descarregada, ou seja, a carga fluiu para a superfície do condutor.

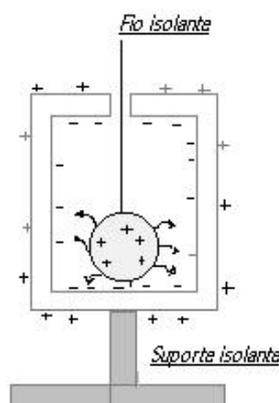


Fig.3) Aparato inventado por Franklin<sup>5</sup> Ilustrando que a carga colocada sobre um condutor move-se para sua superfície. Este aparato é o princípio de funcionamento do posterior gerador de Van de Graaff<sup>1</sup>.

O princípio físico evidenciando o acúmulo de cargas na superfície externa de um condutor isolado, como mostrado na figura acima, é o mesmo do gerador eletrostático de Van de Graaff. No gerador, há apenas uma otimização desse processo, sendo que o atrito de uma correia de borracha, pano, nylon etc. acionada manualmente ou por um motor, gera elétrons que são transferidos pela mesma através de um coletor metálico, a uma esfera metálica com capacidade  $C$  (relação entre a carga e o potencial elétrico é uma constante), para uma esfera, que é o caso do nosso gerador em questão, essa constante vale  $C = 4\pi\epsilon_0 r$ . A energia mecânica, gasta para produzir as cargas, é transformada em energia potencial elétrica segundo a relação  $E = 1/2 Q^2/C$ . O potencial atingido é da ordem de centenas de milhares de volts e, teoricamente, teria um potencial infinito. No nosso caso, o potencial é aproximadamente 60 mil volts. Quando o ambiente está seco, é possível ver descargas elétricas na forma de raios, quando aproximamos um objeto aterrado.

Uma questão interessante e que pode ser bem descrita com um gerador eletrostático, é a explicação do funcionamento dos pára-raios, envolvendo o *Poder das pontas*. Quando aproximamos um objeto metálico pontiagudo do gerador, mesmo à pequenas distâncias, nunca notamos a descarga de raios. Isso ocorre porquê o campo elétrico na ponta do objeto é extremamente elevado, porque torna a ddp baixíssima e, por isso, não ocorre a formação de centelhas e, mesmo que ela ocorra, ela será muitíssimo atenuada. É a mesma explicação para os pára-raios. Uma vez pontiagudos, as lanças recebem os raios das descargas atmosféricas sem sofrerem danos.

Para medir, aproximadamente, o potencial do gerador, adotei um procedimento simples: aterrei um objeto condutor e fui aproximando do gerado até chegar ao ponto de faísca. Com uma régua, medi a distância mínima na qual a faísca ocorria. Esse valor está entre 1,5 e 2 cm. Depois, utilizei a relação  $V = E d$ , sabendo-se que a rigidez dielétrica do ar é algo como  $3 \times 10^6$  N/C, o que dá uma ordem de grandeza de  $10^4$  volts. É claro que se necessitasse de uma precisão maior, eu utilizaria a equação  $E = 1/2 Q^2/C$  aplicada à energia gasta pelo motor elétrico.

## Índices :

- 1) Robert Jemison Van de Graaff - Físico americano que pôs em prática o gerador eletrostático que leva o seu nome, pela primeira vez em 1931, em pesquisas envolvendo colisões de partículas atômicas e nucleares.
- 2) Cândido Portinari - 1903/1962 Artista plástico brasileiro imortalizado pelas suas pinturas e reconhecido internacionalmente.
- 3) Lord Kelvin - 1824/1907 - Físico e matemático escocês que realizou importantes trabalhos na Física, especialmente, na termologia.
- 4) Carl Friedrich Gauss - Matemático, astrônomo e físico. Destaque para suas pesquisas sobre o magnetismo ( Teoria geral do magnetismo terrestre).
- 5) Benjamin Franklin-1706/1790 - Cientista americano que, dentre outros trabalhos importantes, inventou o pára-raios;

## Links :

- a) <http://www.coe.ufrj.br/~acmq/myvdg.html>
- b) <http://www.howstuffworks.com/vdg.htm>
- c) <http://itaipu.vdg.fis.puc-rio.br/>

## Bibliografia :

- \* WATAGHIN, G. ELETROMAGNETISMO E OPTICA; 5º EDIÇÃO; EDITORA UNICAMP
- \* PURCELL, E.M. ELETRICIDADE E MAGNETISMO; 5º EDIÇÃO; EDITORA EDGAR BLUCHER L.T.D.A.
- \* KRAUFMAN, M. BASIC ELETRICITY- THEORY AND PRATCTICE; 1º EDIÇÃO, EDITORA MACGRAW-HILL BOOK COMPANY
- \*HALLIDAY E RESNICK - FUNDAMENTOS DE FÍSICA 3. ELETROMAGNETISMO - 3º EDIÇÃO

**UNICAMP/IFGW**