



### [Geradores de Energia](#)

Gerador Suzuki Ligue (11) 3228-0840 e Compre!  
[www.Agrorrigacao.com.br](http://www.Agrorrigacao.com.br)

### [Geradores de Energia](#)

Linha Completa de Geradores Diesel e Gasolina de 1 até 65 kva  
[www.naganoprodutos.com.br](http://www.naganoprodutos.com.br)

### [Geradores Toyama](#)

Os melhores preços em 6x sem juros Entregamos em todo o Brasil  
[www.hsfloresta Jardim.com.br](http://www.hsfloresta Jardim.com.br)

Anúncios Google

[Tudo sobre Feiras](#) | [Projetos 5ª/8ª séries](#) | [Aparelhos indispensáveis](#) | [Cinemática](#) | [Dinâmica](#) | [Estática](#) | [Fluidos](#) | [Física Térmica](#) | [Óptica](#) | [Ondas e Acústica](#) | [Eletrostática](#) | [Eletrodinâmica](#) | [Eletromagnetismo](#) | [Corrente Alternada](#) | [Eletrônica](#) | [Estroboscopia](#) | [Sugestões Didáticas](#) | [Artigos](#) | [Leituras/Teorias Recomendadas](#) | [Fichas -- Laboratório de Física](#) | [Eletroquímica](#) | [Motores Gerais](#) | [Mundo Atômico e Relatividade](#) | [Astronomia](#) | [Perpetuum Móbile](#) | [Biologia](#) | [Artesanato Científico](#) | [Corredor dos Links](#) |

[Colabore](#) |

63107959

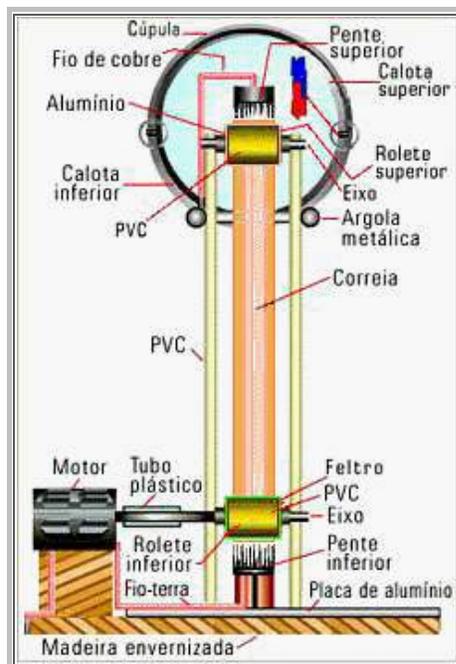
## Gerador eletrostático de Van de Graaff

Prof. Luiz Ferraz Netto  
[leobarretos@uol.com.br](mailto:leobarretos@uol.com.br)

[Apresentação](#) | [Segurança no uso do gerador](#) | [Teoria Básica](#) | [Projeto Básico](#) | [Motor](#) | [Cilindros ou Roletes](#) | [Coluna de apoio](#) | [Correia](#) | [Escovas](#) | [Cúpula de descarga](#) | [Montagem do GVDG](#) | [Pondo à funcionar](#)

### Apresentação

O gerador eletrostático de Van de Graaff não sofreu alterações radicais desde que foi construído e apresentado por Robert Jamison Van de Graaff, no início de 1931.



Seu layout básico consiste em:

1. um domo ou cúpula de descarga;
2. uma coluna de apoio;
3. dois roletes (superior e inferior);
4. dois pentes metálicos (superior e inferior);
5. uma correia transportadora; e
6. uma base para alojar o motor elétrico, fixar a coluna e o pente inferior.

A descrição que damos a seguir prende-se ao fato de que mesmo um pequeno gerador (construído com razoáveis cuidados) deverá prover, numa Feira de Ciências ou em salas de aula, horas de entretenimento e proveitosas experiências complementares.

[Voltar ao topo](#)

## Segurança no GVDG.

### Faças e Não-Faças!

Antes de entrarmos nos detalhes e nas descrições, apresentaremos alguns *faças* e *não-faças* que foram dores de cabeça durante as construções de vários geradores de Van de Graaff.

Alguns poderão parecer óbvios, outros não. Em todo caso, vale a pena citá-los.

1. Quando trabalhamos com eletricidade estática, devemos ter sempre em mente que as *pontas* e os cantos *afiados*, devido ao [poder das pontas](#) (clique no texto em destaque para saber mais sobre isso), agirão como pontos de descarga e sangrarão a carga elétrica do domo de descarga, dando assim a impressão de que o GVDG não está funcionando.

Uma vez que um GVDG trabalha no princípio de tensões muito altas e correntes muito baixas, pode ser comparado a um revólver de esguichar água. Um esguicho de seringa fornece uma quantia muito pequena de água, porém, sob alta pressão, suficiente para fazer a água percorrer uma grande distância. Se um vazamento pequeno (um furinho) ocorrer na seringa que esguicha (equivalente a um canto vivo, afiado, em um GVDG), a água não irá mais tão longe. Assim, sempre que possível, todas as extremidades afiadas devem ser arredondadas, curvadas para dentro ou cobertas. É devido a esse poder das pontas que daremos preferência às cúpulas *arredondadas* e com a *gola* (contorno do furo feito na cúpula) voltada para dentro. Voltaremos a falar dessa *gola*.

Essas são as causas observadas em geradores cujas faíscas vão até a base --- há cabeças de parafusos expostas.

2. Todos os tipos de substâncias estranhas podem causar contaminações (sujeira, graxa, sabões, limpadores, poeira etc.) e são causas suficientes para que um gerador possa deixar de funcionar. Certa vez, presenciamos a coluna de apoio de um gerador (supostamente limpa) brilhar como fogo vivo de eletricidade estática, enquanto o domo de descarga permanecia inativo. Se algumas partes precisam de limpeza, use componentes que realmente retirem toda a sujeira. A solução de amônia e água constitui um bom produto para limpeza (e sai barato também...).

3. Se seu GVDG não está funcionando a contento, a causa pode ser a seguinte: certos materiais que parecem ser bons isolantes elétricos, freqüentemente não o são. Com os níveis de tensões produzidas, até mesmo em pequenos geradores, muitos desses materiais (habitualmente tratados como isolantes) conduzirão eletricidade. Um isolante para os corriqueiros 110 V torna-se um condutor sob tensão de 20000 V ou mais!

4. Finalizamos esse *faça e não-faça* alertando-o sobre o carbono (grafite, carvão). O *carvão* das escovas, muito utilizado em pequenos motores elétricos, pode servir como meio para transferir eletricidade estática do domo para a base do aparelho.

Enquanto o motor funciona, a escova se desgasta e seu pó é lançado para fora através das aberturas do motor, empurrado pela ventoinha de refrigeração. Pó de carbono é quase invisível e, quando depositado sobre superfícies, até mesmo em pequenas quantias, pode criar um filme bom condutor de eletricidade.

Esse filme pode fazer um GVDG parar de funcionar. Carbono também é usado em plásticos e borrachas. *Negro de fumo* é freqüentemente acrescentado para tornar a borracha mais resistente ao ozônio e à deterioração  $\frac{3}{4}$  ele confere à borracha sua *cor preta*  $\frac{3}{4}$  e impede seu GVDG de funcionar. Carbono também é usado em muitos plásticos, pelas mesmas razões.

### [Voltar ao topo](#)



## Teoria Básica

Quando alguém menciona um Van de Graaff, a primeira coisa em que as pessoas pensam, freqüentemente, é o efeito de eriçar os cabelos. Embora isso não deixe de ser um experimento notável e atrativo, há outros experimentos diferentes, muitos deles até mais atrativos e esclarecedores, que podem ser feitos com a eletricidade estática.

Antes dessa fase de experimentos, apresentaremos, neste artigo, as estruturas dos dois modelos básicos dos geradores de Van de Graaff (GVDG).

Daremos maior ênfase ao primeiro, que é o tipo auto-excitado, por ser ele o mais comum e, com certeza, aquele em que as pessoas pensam quando um GVDG é mencionado.

O gerador auto-excitado trabalha segundo princípios do **efeito triboelétrico**. Esse termo refere-se ao fenômeno que ocorre quando dois materiais diferentes estão bem juntos e então são puxados para que se separem.

Todos nós já experimentamos esse efeito alguma vez. O melhor exemplo, um pelo qual a maioria certamente já passou (especialmente em um dia seco e quente), é o que ocorre quando estamos caminhando sobre um piso atapetado e a seguir tocamos na maçaneta da porta ou em outro objeto metálico; ouvimos e sentimos uma pequena faísca saltar de nossos dedos. É comum ouvirmos essas crepitações ao tirarmos um vestuário de lã. Assim como os sapatos são afastados do piso atapetado, as roupas puxadas para longe de outras roupas, todos os demais materiais diferentes, quando separados, experimentam uma migração de elétrons de um para outro, tornando-se ambos eletrizados. Esse é o resultado do efeito triboelétrico --- a **eletrização** que ocorre ao separarmos materiais diferentes que estão bem juntos.

O segundo tipo de gerador é o sistema bombeado, borrifado ou ainda externamente excitado. Uma fonte de alimentação de alta tensão deposita elétrons na correia móvel. Esses elétrons são transportados até o domo de descarga. A forma física básica desses dois tipos são quase idênticas. Porém, não incluiremos muitas explicações ou desenhos para se construir esse tipo, porque a fonte de tensão requerida é cara ou de difícil montagem para os alunos. Além disso, são fontes perigosas para um manuseio por pessoas inexperientes. No entanto, para quem "mexe" com eletrônica, como o amigo Newton C. Braga, por exemplo, diretor técnico da revista Saber Eletrônica, essas fontes são brinquedinhos de expelir elétrons!

### [Voltar ao topo](#)



## Projeto Básico

É possível construir um pequeno gerador com mínimas despesas, uma vez que suas partes podem ser obtidas no comércio ou podem ser fabricadas. O modelo descrito é para um gerador com uma correia de 2 cm a 3,5 cm de largura, uma cúpula de descarga com cerca de 20 cm a 35 cm de diâmetro e algo entre 40 cm e 65 cm de altura. O modelo baseia-se em GVDGs já construídos pelo autor, os quais funcionam em seus rendimentos máximos.

Na descrição desse projeto não incluímos detalhes profundos sobre certas partes. Por exemplo, não citaremos "use um motor da marca tal, modelo tal, número de série tal". Do mesmo modo, certas partes precisam ser fabricadas. Assim, optamos por expor as exigências gerais e dar ao construtor liberdade para obter, achar, mandar fazer, comprar, trocar etc. ou ele próprio fazer essas partes.

### [Voltar ao topo](#)



## Motor

Praticamente todos os pequenos motores disponíveis servirão para esse projeto. O autor já utilizou motor de toca-discos, de ventilador doméstico, de ventilador de computador, de máquina de costura etc. Como citamos anteriormente, aos poucos, fomos eliminando aqueles que utilizam escovas de carvão. Os motores de indução são os eleitos, mas, talvez, seja difícil achar um com as especificações certas.

Tipicamente, o motor deve apresentar o seguinte:

Velocidade: 3 000 rpm a 5 000 rpm : 1/10 HP a 1/4 HP.

Tamanho do eixo: 1/4" a 3/8" de diâmetro x 1,25" a 1,5" de comprimento livre.

Montagem: base de fixação plana. Um motor com base de fixação plana é preferível; caso contrário, deve-se recorrer a alças metálicas, as quais podem dar algum trabalho extra.

(Se um motor com escovas de carvão for utilizado, o construtor deverá ter em mente que tal GVDG requererá limpezas mais freqüentes. Um pequeno ventilador de exaustão pode ser estrategicamente montado para remover e afastar o pó de carvão da correia e do tubo suporte.)

O autor já utilizou, com excelentes resultados, um motor de máquina de costura, que é praticamente todo blindado. Além disso, é dotado de um reostato (com discos de carvão), o qual permite controlar a velocidade de trabalho do motor. Esse tipo de reostato para controlar a velocidade do motor é um tanto "primitivo" (se bem que perfeitamente adaptado ao fim a que se destina --- máquina de costura). Ele foi substituído, mais tarde, por um [dimmer com TRIAC](#) (clique no texto em destaque para saber como montá-lo).

## [Voltar ao topo](#)



## Cilindros ou Roletes

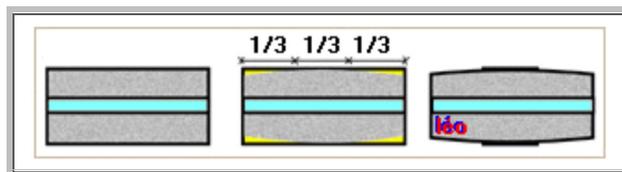
Os cilindros, junto com a correia, constituem o coração de um GVDG auto-excitado. Como mencionamos anteriormente, geradores eletrostáticos trabalham assentados no efeito triboelétrico. A série triboelétrica (uma lista abreviada é fornecida a seguir) nada mais é que uma lista de materiais ordenados segundo a carga relativa que adquirem quando atritados (ou separados) dois a dois. Os materiais mais comumente escolhidos para os cilindros estão nessa tabela.

<b>mais positivo</b>	ar vidro fibra sintética lã chumbo alumínio papel	Materiais que estão mais próximos do extremo <b>mais negativo</b> , têm uma disposição por assumir uma carga elétrica negativa. Os materiais mais próximos ao extremo <b>mais positivo</b> tendem a assumir carga elétrica positiva. Idealmente, os materiais da correia e do cilindro inferior devem estar entre o mais afastados possível dessa lista, enquanto o material do cilindro superior deve estar na região dos <b>neutros</b> .  <b>Uma Nota em Relação à Polaridade de um Van de Graaff</b>
<b>neutro</b>	algodão aço madeira borracha cobre acetato	

	poliéster poliuretano polipropileno vinil (PVC) silicone	Para uma dada combinação rolete inferior-correia-rolete superior, a polaridade do domo do GVDG fica determinada. Por exemplo, se a correia é de borracha, o rolete inferior é de plástico e o rolete superior é de alumínio, o domo ficará negativo. Usando o mesmo desenho, porém colocando-se o rolete de plástico como superior e o de alumínio como inferior, o domo ficará positivo.
<b>mais negativo</b>	teflon	

Para ver detalhes teóricos do conjunto roletes-correia, vento elétrico, fogo de Sant'Elmo, plasma etc., basta clicar no texto em destaque: [Roletes e Correia](#).

Para um modelo didático, pequeno, os roletes podem ser cilíndricos, com diâmetro ao redor dos 2,5 cm e algo como 3 cm a 4 cm de comprimento. Uma vez aberto o furo central nesses cilindros (no diâmetro correto para passar os eixos), eles devem ser "coroados". Coroar um cilindro é fazer rebaixos nos extremos de maneira que a região central fique ligeiramente mais alta que as extremidades. Esse procedimento manterá a correia centrada sobre o rolete enquanto ele funciona (a correia tende para a parte mais elevada). Ilustremos isso:

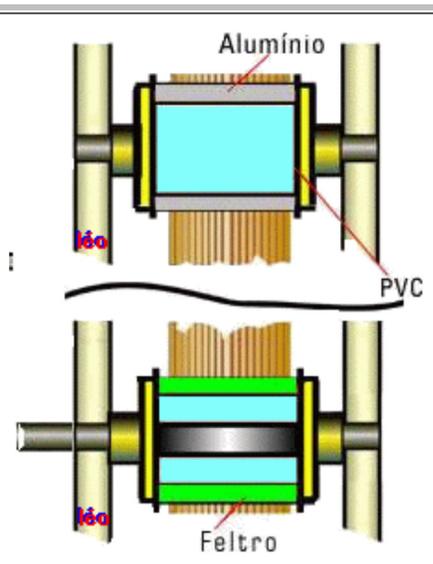


Um rebaixo de cerca de 4 graus em cada extremo (1/3) do cilindro é o bastante. Para esse serviço é recomendado o uso de um torno. O cilindro preso por um longo parafuso a uma furadeira de bancada e um esmerado trabalho de lixa podem produzir excelentes "barriletes".

Há outros recursos para fazer cilindros simples. Um deles é utilizar pedaços de canos plásticos usados nas redes domésticas de distribuição de água e colar discos em suas extremidades.

Nessa ilustração, o rolete inferior foi recoberto com uma tira de pano verde para mesas de snooker (feltro) e fixado com cola tipo Super Bonder. O rolete superior foi recoberto com uma tira de alumínio autocolante (tipo Contact).

Repare que os discos laterais têm diâmetro pouco superior ao dos canos, de modo a não permitir o escape da correia. Entretanto, os roletes tipo "barriletes" são os mais recomendados.



O rolete inferior girará solidário ao seu eixo (o eixo é colocado sob pressão), que é comandado pelo motor. O rolete superior pode girar livremente sobre o seu eixo (rolete louco) ou, se o eixo for solidário ao rolete, é o eixo que girará livremente em seus mancais.

A maioria dos modelos escolares de GVDG (fornecidos em forma de kits) tem os dois roletes feitos de PVC (maciços, em forma de tarugos), sendo o inferior recoberto com feltro e o superior recoberto com folha de alumínio autocolante; a correia é de borracha de cor laranja.

## [Voltar ao topo](#)



## Coluna de Apoio

Ao selecionar o material para a coluna de apoio, recomendamos o uso de um tubo de plástico rígido. PVC e acrílico parecem ser os materiais preferidos pela maioria dos construtores. De modo geral, o tubo deve ter um diâmetro um pouco menor que o dobro do comprimento dos cilindros. Por exemplo, se o cilindro tem 5 cm de comprimento, então o tubo deve ter um diâmetro de cerca de 10 cm (tubo de 4 polegadas, nas medidas comerciais).

Para esse cilindro é melhor usar uma correia de 4 cm de largura. 0,5 cm é uma boa espessura para a parede do tubo. Não esqueça que o eixo do cilindro superior deve repousar em um entalhe na boca desse tubo ou passar por orifícios praticados nele. Para sustentar esses cilindros, a força exercida pela borracha esticada, o peso do domo e a espessura da parede do tubo são fatores importantes. A fixação do domo nessa coluna é um assunto delicado, como veremos mais adiante.

## [Voltar ao topo](#)



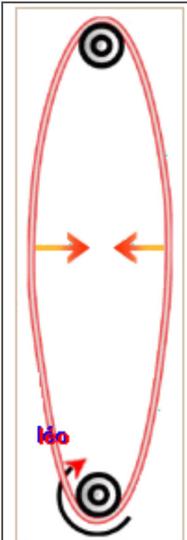
## Escolha da Correia

Como mencionamos anteriormente, no item **Faças e Não-Faças** (Segurança no uso do gerador), evite, para a correia, as borrachas de cor preta. As borrachas de cor preta têm maior possibilidade de conter "negro de fumo" – carvão, carbono.

Quando selecionar um material, procure um que tenha uma boa resistência ao ozônio. Durante a operação de um Van de Graaff, ambas as descargas elétricas, as provenientes do globo e as das escovas, produzem ozônio. Ozônio ( $O_3$ ) é muito corrosivo, mesmo em pequenas quantidades; pode causar ferrugem, e borrachas e plásticos podem ser oxidados ou sofrerem apodrecimento. Neoprene é muito bom para resistir ao ozônio e pode ser comprado da maioria dos fornecedores de borracha. Além disso, pode ser achado na cor branca ou laranja claro, indicação de ausência de "negro de fumo".

## Espessura da Correia

Que espessura uma correia deve ter? Uma boa regra é: quanto mais fina, melhor. A própria correia não precisa ser espessa; de fato, quanto mais espessa for a correia, mais ela tenderá a sair dos cilindros. Conforme a velocidade do gerador aumenta, maior é a força centrípeta sobre a região da correia que passa acima do rolete superior e abaixo do rolete inferior. Essa força tende a afastar a correia do rolete, e a correia ficará instável em altas velocidades. Vamos entender assim: quanto menor a massa da correia, menor será sua tendência de se afastar dos roletes. Para ver esse efeito com mais clareza, proceda assim: amarre uma arruela a um fio de linha e gire-a em círculos. O puxão que você sente no fio, sua tração, tem praticamente a mesma intensidade que a força centrípeta desenvolvida na arruela pela sua rotação; quanto mais rápido girar, maior será a força que tende a arrancar o fio de sua mão.



A espessura, o comprimento útil da correia entre os dois cilindros e a tração a que está submetida são os fatores que irão comandar as vibrações estacionárias na correia. Se houver ressonância entre a frequência fundamental (ou de algum harmônico) da correia e a rotação dos cilindros, a amplitude da onda estacionária que se estabelece pode ser tal que a correia começará a bater na parede interna da coluna de apoio. Se isso acontecer, as providências possíveis são: alterar a velocidade do motor, alterar a tração na correia ou trocar a correia por outra de massa diferente.

**Como Montar a Correia**

Fazer uma correia não é realmente tão difícil como se poderia pensar. Com um pouco de paciência, algumas lâminas de aparelho para barbear --- tradicionalmente chamadas de giletes (há um termo em português para isso) --- ou facas com lâminas descartáveis e uma régua de aço podem ser feitas correias muito boas.

A **primeira** coisa para lembrar é que a tira de borracha deve ser retangular (lados perfeitamente paralelos). Uma vez cortada a tira retangular, resta saber que comprimento precisa ter.

Obtido o comprimento final da correia, seus extremos devem ser colados. Não há uma fórmula exata para determinar o máximo comprimento que a correia deverá ter. A elasticidade da borracha, o comprimento global da montagem roletes-coluna, de modo geral, é que determinará o comprimento da correia acabada.

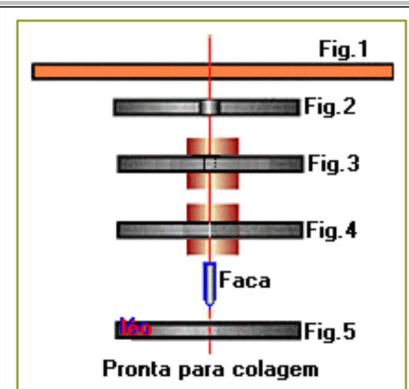
Uma regra básica é: a correia acabada (extremos já colados) deve ter um comprimento entre 2/3 e 3/4 da distância entre os centros dos roletes postos em seus devidos lugares.

Por exemplo: se a distância de centro a centro dos roletes é de 60 cm, então 3/4 desse comprimento equivalem a 45 cm ( $60 \times 0,75 = 45$ ). Se o material da correia é muito fácil de esticar (pequena constante de elasticidade), então 2/3 serão o recomendável ( $60 \times 0,66 = 40$ ). Apesar dessas referências, ainda resta a experimentação. Depois da correia acabada, instalada nos roletes, motor funcionando, se a correia tende a flutuar nos cilindros, então ela precisa ser encurtada. De experiência própria, é mais fácil encurtar uma correia do que perder material para fazer outra  $\frac{3}{4}$  assim, é melhor manter o erro para o excesso a tentar prever o tamanho final.

A **segunda** coisa é que, quando os extremos da correia são cortados, eles devem resultar perpendiculares aos bordos. Há um método simples para cortar e colar uma correia: antes de decidir pelo comprimento final, é melhor praticar com restos de borracha (mesmo que sejam emendados com Super Bonder).

Pratique, também, o uso da cola de secagem rápida (Super Bonder ou equivalente) para unir os extremos da fita. Vejamos a técnica de colagem.

Primeiro coloque a tira de borracha (cortada com régua de aço e faca de lâmina descartável ou gilete), com comprimento em excesso, sobre uma superfície plana (fig.1). A seguir dobre um extremo da correia para sua região central e então dobre o outro extremo para o mesmo lugar (fig.2). Isso lhe dará duas camadas de correia com os extremos que se encontram no meio. Superponha os dois extremos (cerca de 2 cm) de forma a ter três camadas de borracha superpostas na região central (fig.3). Deslize um pedaço de material resistente debaixo dos dois extremos superpostos; assim, quando os extremos forem cortados, a lâmina não atingirá a terceira camada de borracha (fig.4). Usando a lâmina nova e a



régua de aço posta perpendicularmente aos bordos, efetue o corte. As extremidades resultarão em perfeita coincidência, prontas para a colagem final (fig.5).

Retire o pedaço de material resistente e coloque em seu lugar um pedaço de fita adesiva dupla face. Uma face gruda na borracha debaixo e na superfície plana (e serve de apoio) e a outra face receberá os extremos a serem colados. Deixe apenas uma das extremidades presa na fita adesiva, passe uma fina camada de cola de cianoacrilato (Super Bonder, marca registrada da Loctite Corp.) na extremidade livre e a ajuste com todo capricho junto à outra extremidade presa à fita adesiva. Agora a fita adesiva manterá tudo no lugar até a secagem final da cola.

Após tudo isso teremos uma fita contínua, de espessura uniforme, em forma de loop.

Teste: enfie um lápis dentro do loop para manter a fita na vertical. Verifique se não ocorrem dobras e se há paralelismo entre as duas partes.

**Nota:** a **superposição** das extremidades "retas" da correia, na colagem, produzirá o inevitável "ploc-ploc-ploc", cada vez que a emenda descontínua passar pelos cilindros. Se a superposição for inevitável (quando a cola não está segurando devidamente), o recomendado é cortar as extremidades da correia em ângulo de 45° ou 60°. Isso permitirá uma passagem mais suave pelos roletes. Nessas situações, a cola recomendada é a utilizada nos consertos de câmaras de pneus de bicicleta.

### [Voltar ao topo](#)



## Escovas

O gerador de Van de Graaff tem **duas** escovas virtuais para transferência de cargas. A palavra "escovas" seria melhor substituída por "pontas", uma vez que, quando se fala em escova, há exata idéia de algo que entra em contato com outro corpo. As escovas dos motores universais são realmente escovas, pois estão em permanente contato com o anel de terminais do rotor. Manteremos a palavra "escovas" por comodidade de expressão --- e viva a língua portuguesa!

	<p>A primeira fica localizada na base, sob o rolete inferior e próxima à face externa da correia. A segunda escova fica localizada sobre o cilindro superior e próxima à face externa da correia.</p> <p>O melhor material para fazer as escovas é a tela de metal, aquela usada em telas de janelas.</p> <p>Basicamente, as escovas têm a mesma largura da correia. Depois que o material é cortado na largura indicada, repique com uma tesoura várias camadas dos fios horizontais; isso deixará pontas (farpas) de maior comprimento voltadas para a correia. Monte as escovas bem próximo à correia, mas sem tocarem nela. A escova inferior deve ser ligada eletricamente à terra (condutor aterrado). Se usar um cordão de força de três fios para o motor (plugue de 3 pinos – um dos pinos é o terra da residência), essa escova deve ser ligada ao fio-terra do cordão.</p>
--	---

A escova superior deve ser ligada, elétrica e internamente, ao domo de descarga. O espaçamento das escovas deve ser ajustado com o motor girando --- deverá existir um espaço de ar entre as pontas das escovas e a superfície externa da correia.

### [Voltar ao topo](#)



## Cúpula de Descarga

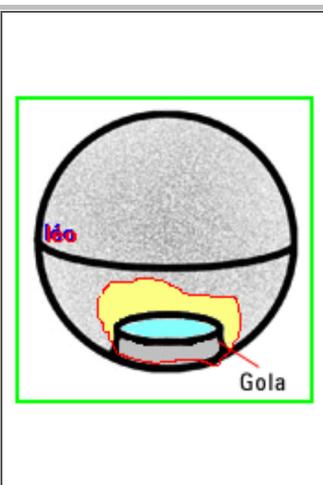
O "segredo" do porquê um GVDG consegue acumular boa quantidade de cargas elétricas e atingir altíssimos potenciais está no modo como a carga é colocada na cúpula. Se você quer saber como isso é feito, basta clicar sobre o texto em destaque: [Teoria sobre a esfera do GVDG.](#)

Na parte construtiva, a cúpula ou domo de descarga **ideal** para o GVDG requer trabalho de torno e repuxo. É serviço de profissional.

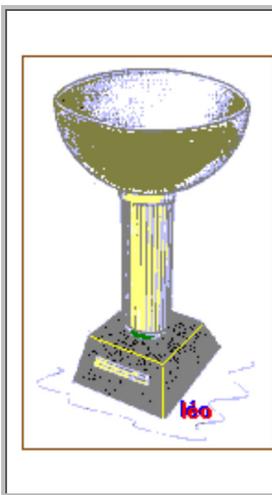
É constituída por duas superfícies hemisféricas (calotas esféricas) que se ajustam perfeitamente devido a encaixes trabalhados nas bordas. Esses hemisférios podem ser feitos com chapas de alumínio com 1 mm ou 1,5 mm de espessura, repuxadas num torno para adquirirem a forma de hemisférios; trabalho muito parecido com os repuxos para fazer cúpulas de lustres, de lâmpadas de quintal etc.

A parte inferior, que é fixada no alto da coluna de apoio, tem uma gola voltada para dentro. Isso facilita todo o trabalho de fixação com parafusos metálicos e arruelas de borracha (que minimizam as vibrações). Aqui os parafusos podem ser usados por ficarem dentro do globo.

Eis a ilustração da cúpula ideal.



Se uma cúpula de descarga especificamente projetada não está disponível, então outras [cúpulas alternativas](#) (clique no texto em destaque para ver nossas sugestões) poderão ser construídas. O recurso usado pelo autor em uma de suas montagens é o apresentado a seguir.



Consiga duas taças esportivas com diâmetro superior a 20 cm. Elas são, em geral, confeccionadas em latão, anodizadas ou niqueladas. Retire-as do suporte. Você terá duas calotas esféricas, cada uma com um orifício de cerca de 4 mm no vértice. Feche um desses orifícios com um arrebite de cabeça larga, limando e lixando cuidadosamente (para não riscar a calota), de modo a deixá-lo quase como parte integrante da calota. Essa será a calota superior.

Na outra calota, que será a inferior, deve ser praticado um grande orifício (com ferramenta adequada), por onde passará justo o tubo de suporte do GVDG. Procure não deixar qualquer rebarba de material nesse corte. Arredonde as bordas com lixa. Use cantoneiras em L para fixar o tubo suporte nessa calota inferior. Os arrebites tipo pop são os indicados.

Para minimizar o poder das pontas nas bordas desse orifício, o autor adaptou uma argola de alumínio maciço (não recordamos se foi proveniente de uma pulseira ou de um puxador de cortinas) de diâmetro

interno igual ao diâmetro externo do tubo.

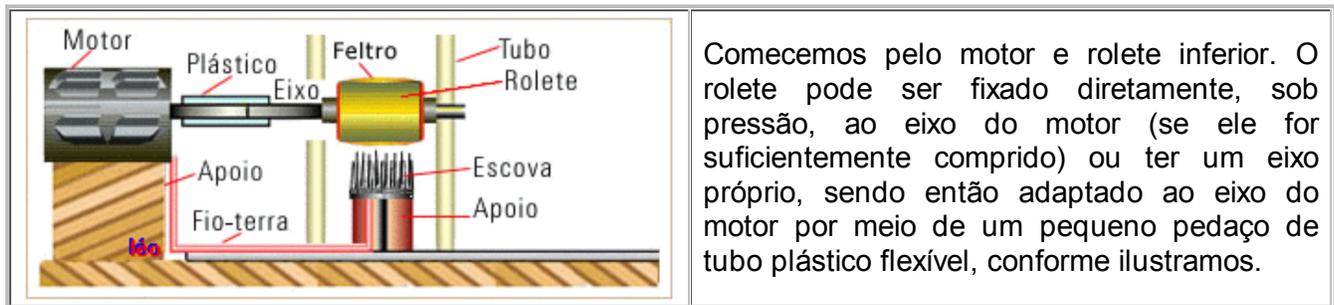
De início, nas primeiras experimentações, a calota superior foi simplesmente apoiada na inferior e fixada com fita isolante. Mais tarde, com o auxílio de um amigo torneiro, foi feito um perfeito trabalho de encaixe nos dois hemisférios. Ele retirou o material em excesso nas duas bordas (havia uma espécie de bainha saliente), rebaixou ligeiramente uma das bordas e repuxou a outra. Ficou excelente.

### [Voltar ao topo](#)



## Montagem do GVDG

Agora que todos os componentes foram descritos, é hora de reuni-los.



Começamos pelo motor e rolete inferior. O rolete pode ser fixado diretamente, sob pressão, ao eixo do motor (se ele for suficientemente comprido) ou ter um eixo próprio, sendo então adaptado ao eixo do motor por meio de um pequeno pedaço de tubo plástico flexível, conforme ilustramos.

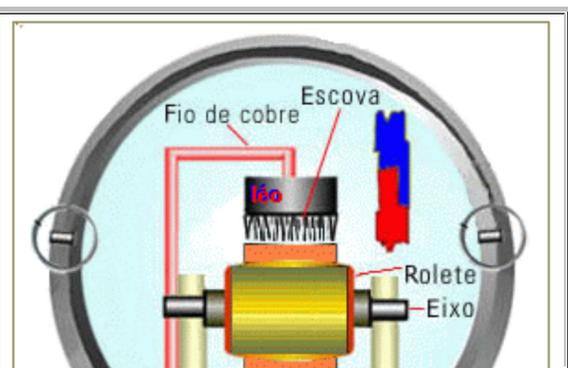
Dependendo do motor (rotação, por exemplo), alguns montadores preferem adaptar polias aos dois eixos e acoplá-las com correia de máquinas de costura. O tubo de sustentação deve ter próximo à sua base um furo que permita a introdução desse rolete. Essa montagem admite alterações. O importante é que fique tudo muito bem alinhado e isento de vibrações durante o funcionamento.

O conjunto rolete + eixo + tubo plástico deve ser removido por permitir a colocação da correia. Dentre os materiais da série triboelétrica, optamos pelo PVC para a confecção dos dois roletes e recobrimos o inferior com uma tira de feltro, sem superposição, fixada com *Super Bonder*.

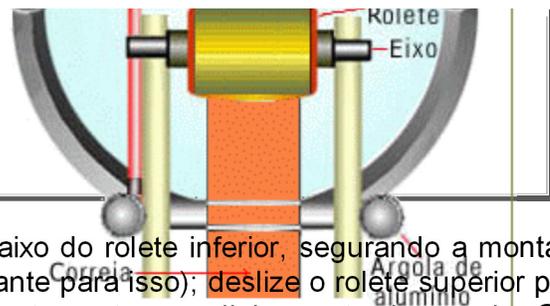
O material mais simples para a base e demais apoios (motor, escova e controle de velocidade), onde tudo foi fixado, é a madeira envernizada. Os critérios para eles são: (a) onde a coluna de sustentação será fixada; (b) onde o suporte da escova será montado; (c) onde ficará o motor e seu controle de velocidade. Tudo deve ser pensado visando a um modo fácil de substituir componentes avariados e à limpeza de tubo e correia de tempo em tempo.

O desenho geral do GVDG é que ditará quão robusto o tubo e a base devem ser. A coluna de sustentação para um pequeno gerador pode ser fixada na base com chapinhas metálicas em ângulo reto ou braçadeiras convenientes, mas um maior precisará de um *layout* mais elaborado. Uma vez fixada a coluna, verifique se o rolete ficou bem posicionado no centro do tubo.

A seguir, instale o rolete superior. O desenho do rolete superior é que ditará como ele será montado na coluna. A montagem mais simples é cortar duas aberturas pequenas no topo do tubo para o eixo do cilindro descansar nelas. Duas arruelas elásticas ou dois pinos enfiados em orifícios nas extremidades desse eixo impedirão que o cilindro deslize para fora das aberturas na coluna. Fique atento à montagem dos roletes  $\frac{3}{4}$  quando tudo estiver pronto, verifique se estão



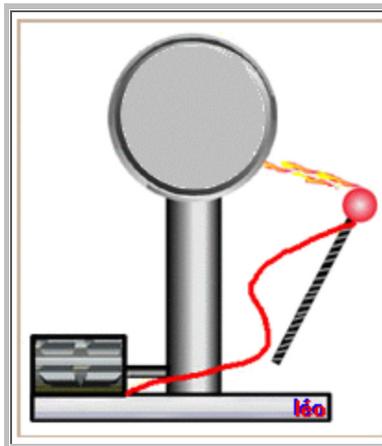
alinhados na vertical e paralelos entre si. Se não houver perfeito alinhamento, a correia tenderá a deslizar para um de seus extremos. As coroas dos roletes tentarão minimizar esse efeito, mas tudo tem seus limites...



O próximo passo é a colocação da correia. Passe-a por baixo do rolete inferior, segurando a montagem toda; estique-a para cima (pode-se usar uma alça de barbante para isso); deslize o rolete superior para o seu devido lugar e deixe assentar. Confira bem esse assentamento e o alinhamento da correia. Gire a correia com a mão e observe se trabalha corretamente. Se, até aqui, tudo estiver em ordem, pode-se ligar o motor em baixa rotação.

Repare em tudo. Já deve ser percebida a presença de um campo eletrostático ao redor da coluna de sustentação (notadamente pelos pelinhos do braço que ficam eriçados). Se a correia não traciona corretamente, ajuste os apoios do rolete superior até que tudo fique em ordem.

Se a correia se comporta bem da velocidade mínima até a máxima (pois está em perfeito alinhamento), é hora de colocar a escova superior (lembre-se de que ela deve estar eletricamente ligada à cúpula) e fechar o globo. Para impedir a queda da metade superior do domo, no caso de simples ajuste de um sobre o outro, passe uma fita isolante para fixá-lo. O GVDG está pronto para ser testado.



Antes de ligar o aparelho completo pela primeira vez é conveniente preparar um centelhador para receber as faíscas. Ele servirá para testar distâncias de faíscamento, assim como descarregar o globo entre experimentações e testes. Pode ser feito com uma vareta plástica, com uma esfera metálica na ponta e um longo fio ligado na base do aparelho (no fio-terra).

[Voltar ao topo](#)



[Pondo à funcionar](#)

Uma vez que o gerador já está montado e com o motor ligado, o construtor poderá verificar imediatamente se a unidade está funcionando ou não. Ele poderá ouvir, ver (pelo faiscamento) e sentir as cargas elétricas estáticas que vêm da cúpula de descarga. Se o gerador parece não estar trabalhando, pode haver várias razões do porquê ele não funciona. De início, apague todas as luzes e observe a região acima das pontas da escova inferior --- um brilho azulado deve ser visto. Se há brilho na escova inferior, ótimo; cargas estão sendo transferidas para a correia. Agora observe, ainda no escuro, todas as superfícies externas do gerador; os fluxos azulados que podem aparecer denunciam as fontes de sangria da carga elétrica. Até mesmo partículas de sujeira podem aparecer como pontos de descarga indesejáveis. Limpe tudo e reinicie os testes. Um simples fio de linha, preso com durex no globo, permitirá visualizar a carga acumulada no domo.



Há uma técnica muito boa para você conversar com seu GVDG e perguntar a ele qual a melhor solução para o melhor desempenho; para tanto, basta clicar no texto em destaque: [Converse com seu GVDG](#).

Outra razão do baixo desempenho do aparelho é a umidade. Umidade alta atrapalha substancialmente seu correto funcionamento. Os dias frios são mais recomendados para realizar esses experimentos. Um secador de cabelos, usado com cautela para não danificar seus componentes, poderá ser utilizado para eliminar as gotículas de água que aderiram na correia, tubo e domo.

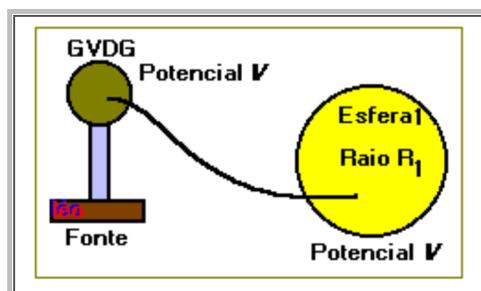
[Voltar ao topo](#)



## Detalhes, recursos e teorias

### Poder das pontas

Vejamos, de início, alguns parâmetros relacionados a uma esfera metálica isolada e ligada a um gerador eletrostático de Van de Graaff.



O potencial elétrico da fonte é  $V$ , mantido constante. Ao interligarmos o GVDG com a esfera 1, ocorre transferência de cargas elétricas até que a esfera adquira o mesmo potencial elétrico  $V$ . A quantidade de

carga extra ( $Q_1$ ) que essa esfera recebe depende exclusivamente da capacitância da esfera ( $C_1$ ) naquele meio envolvente (supostamente, o ar), uma vez que o potencial está definido ( $V$ ). Essas grandezas se relacionam assim:

$$Q_1 = C_1 \cdot V$$

A densidade elétrica superficial de carga ( $D_1$ ) nos indicará quanto de carga estará distribuída, por unidade de área. Seu cálculo se faz por meio da expressão:

$$D_1 = Q_1 / A_1$$

onde  $A_1$  é a área da superfície esférica dada por:

$$A_1 = 4 \cdot \pi \cdot R_1^2.$$

Assim,

$$D_1 = \frac{Q_1}{4 \cdot \pi \cdot R_1^2} = \frac{C_1 \cdot V_1}{4 \cdot \pi \cdot R_1^2}$$

A capacitância da esfera isolada ( $C_1$ ), é função exclusiva do raio da esfera ( $R_1$ ) e do meio envolvente (de constante eletrostática  $K$ ), assim relacionados:

$$C_1 = R_1 / K$$

Levando-se para a expressão de  $D_1$ , obtemos:

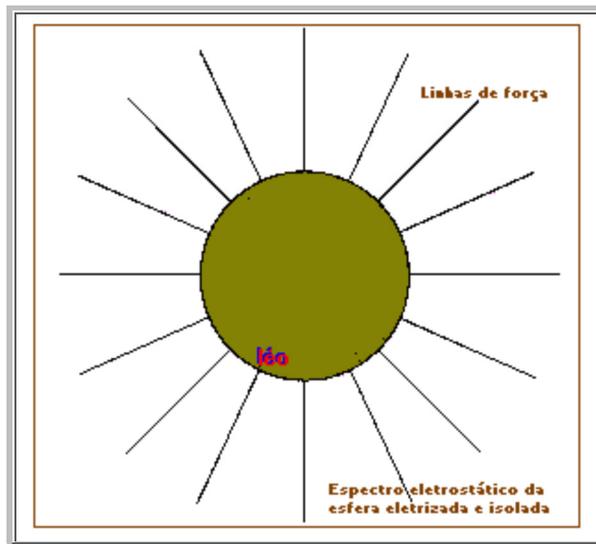
$$D_1 = \frac{\frac{R_1}{K} \cdot V}{4 \cdot \pi \cdot R_1^2} = \frac{V}{K \cdot 4 \cdot \pi \cdot R_1} = \frac{\alpha}{R_1}$$

onde agrupamos em <alfa> todas as constantes em questão

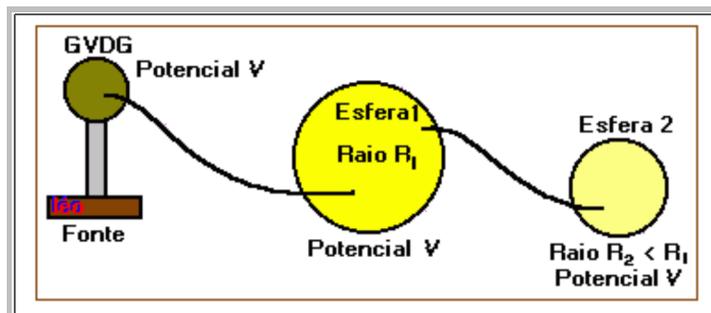
$$\alpha = \frac{V}{K \cdot 4 \cdot \pi}$$

O que observamos é que a densidade elétrica de cargas é inversamente proporcional ao raio da esfera. Em outras palavras, quanto menor o raio, maior será a concentração de cargas por unidade de área (mantidas constantes as demais grandezas envolvidas).

Essa densidade de cargas é um excelente indicador da intensidade de campo elétrico em cada região do corpo eletrizado. No caso de uma esfera isolada, com distribuição uniforme de cargas, o campo elétrico também terá uma distribuição regular ao redor da esfera, o que teria, em uma representação por linhas de campo, o seguinte aspecto:

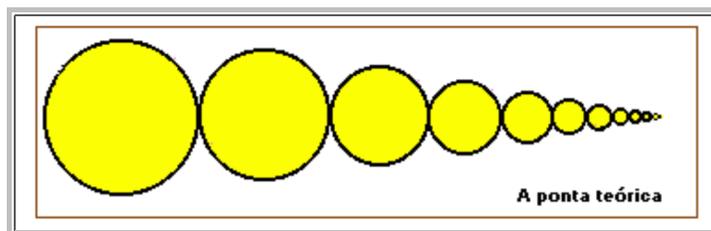


Se interligarmos a esfera 1 com outra esfera 2 (de raio  $R_2 < R_1$ ) mantendo-se a ligação com a fonte, como se ilustra, chegaremos à conclusão de que a densidade superficial de cargas nessa nova esfera é maior do que na esfera 1.



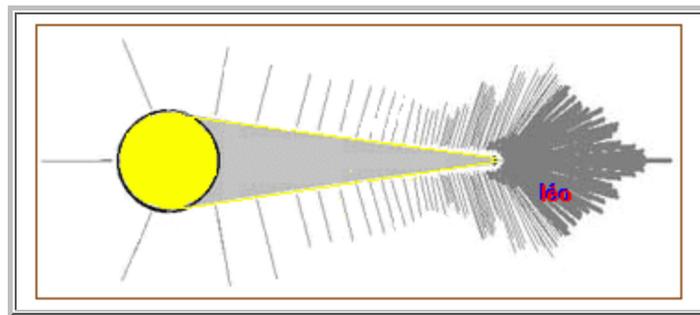
O campo elétrico ao redor da esfera 2 será mais intenso do que ao redor da esfera 1. Conforme diminui o raio, a densidade elétrica superficial aumenta, e com ela a intensidade do campo elétrico.

Seguindo esse raciocínio, podemos ir interligando esferas de raios cada vez menores. Essa interligação não necessita ser feita através de fios, para tanto, basta encostar uma na outra, como na ilustração.



Eis a nossa ponta!

Com um grande número de esferas, de raio cada vez menor, teremos um visual mais definido do que se entende por ponta. O campo ao redor dessa ponta terá o seguinte aspecto:



Observe a tremenda intensidade de campo na região pontiaguda. É esse campo intenso que irá ionizar o ar ao redor, convertendo esse ar em plasma (condutor). Quando o ar se torna condutor, ocorre a faísca, ou seja, as cargas acumuladas na ponta fluem através do plasma (ar ionizado).

### [Voltar ao tópico](#)



## Roletes e correias

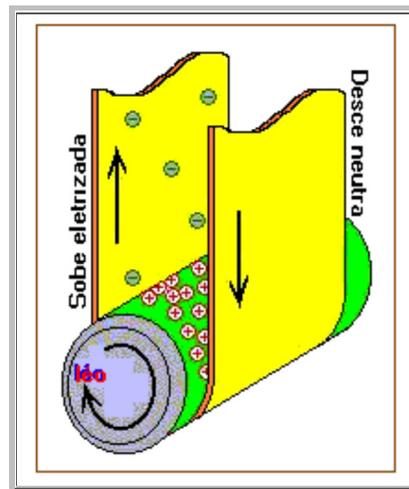
Na máquina de Van de Graaff tradicionalmente usada nas salas de aula, como já destacamos, a energia proveniente da fonte de alimentação não é utilizada diretamente para eletrizar o domo, mas somente para acionar o motor elétrico (se você abrisse a base de uma delas, verificaria que o cordão de força - AC - está ligado apenas ao motor elétrico). Se você tivesse uma caixa de engrenagens e uma manivela, você poderia, inclusive, construir uma máquina de Van de Graaff acionada manualmente, dispensando completamente a alimentação externa.

Embora pareçam simples à primeira vista, correia, escovas e cilindros ocultos combinam-se para formar um dispositivo de eletrostática chamado eletróforo de funcionamento contínuo, em que é utilizado o fenômeno da indução eletrostática para bombear carga elétrica entre a escova de metal e a superfície da correia móvel. De modo geral, esse eletróforo especial trabalha como se segue:

- » o cilindro inferior é fortemente eletrizado pelo "atrito" com a superfície interna da correia;
- » o cilindro atrai cargas elétricas opostas às cargas da escova;
- » o campo elétrico que se estabelece entre o cilindro e as pontas da escova fica intenso;
- » o ar imerso nesse campo elétrico sofre ionização, formando um plasma condutor -- efeito Corona;
- » o ar torna-se condutor e cargas elétricas da escova pulam para o cilindro;
- » as cargas elétricas móveis batem na superfície externa da correia e aderem a ela; - o cilindro gira e essas cargas elétricas são levadas para cima, pela correia; - o processo se repete continuamente.

### Eletrizando o cilindro

Na primeira fase de operação, a superfície do cilindro é fortemente eletrizada, devido ao contato íntimo entre superfície da correia e rolete inferior, do mesmo modo que um balão de borracha se eletriza quando atritado, por exemplo, no cabelo. Lembramos que a correia e o cilindro são feitos de materiais diferentes.



Eletrizando a superfície do cilindro.

Quando a superfície interna da correia de borracha atrita-se contra o rolete de plástico (que pode estar recoberto com feltro), cargas elétricas das camadas mais afastadas dos núcleos atômicos dos dois materiais transferem-se, em quantidades diferentes (pois provêm de substâncias distintas), de um para o outro. Essa desigualdade na quantidade de elétrons que se transferem é que origina a eletrização de cada material. Não aquele que cede mais elétrons do que recebe se tornará positivo, e o outro, negativo.

Como o cilindro gira, cada trecho da correia se separa do rolete logo após entrar em contato com ele. A face interna da correia e a superfície do rolete, durante o contato, aprisionam (por serem ambos isolantes elétricos) quantidades iguais de cargas elétricas, porém de sinais opostos.

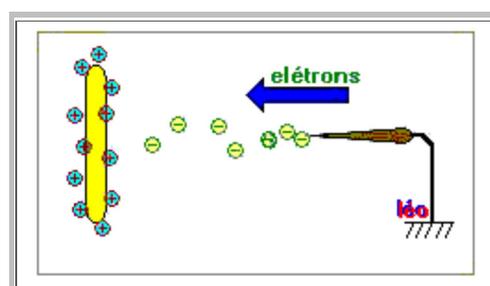
Exemplificando: suponha que durante breve intervalo de tempo de contato, 5 elétrons passaram do rolete para a correia e que 3 elétrons passaram da correia para o rolete. No cálculo geral, a correia ganha 2 elétrons e adquire carga negativa, enquanto o rolete perde 2 elétrons, ficando com dois prótons desacompanhados, e torna-se positivo.

Esse processo todo é chamado de eletrização por atrito, mas uma vez que nenhum atrito é requerido de fato, é mais próprio chamá-lo de eletrização por contato.

Nota: na figura, o cilindro recebe carga elétrica positiva, mas isso vai depender dos materiais veja a série triboelétrica ó usados para a correia e para o cilindro; em alguns GVDGs, o cilindro fica negativo.

Depois de operar por algum tempo, como veremos, a correia torna-se ligeiramente negativa, e o cilindro, fortemente positivo. Embora eles adquiram cargas elétricas iguais e opostas, a carga elétrica negativa é distribuída amplamente na correia; portanto, a densidade elétrica superficial torna-se muito menor na correia do que no cilindro. A carga elétrica de pouca intensidade na face interna da correia pode ser ignorada nas explicações posteriores, e por isso elas não aparecerão no próximo passo.

### Cargas elétricas transitando pelo ar



Objeto positivo faz a ponta soprar vento elétrico.

Uma escova metálica (pontas), devidamente aterrada, é fixada próxima à região onde a correia passa pelo cilindro. Como sabemos, da Química, pode-se dizer que os metais são constituídos por uma sólida grade de "átomos positivos" mergulhada numa nuvem de elétrons. Estando as pontas da escova próximas ao cilindro, as cargas positivas da sua superfície atraem a nuvem eletrônica do metal, mas nenhum elétron deixa o metal! O que ocorre, na escova, é a indução eletrostática, ou seja, a separação de cargas de sinais opostos pela presença de outras cargas (do cilindro, no caso).

Os elétrons da nuvem migram para as pontas da escova metálica.

As pontas da escova adquirem uma densidade de carga elétrica negativa muito alta, e essa carga elétrica negativa afeta substancialmente o ar circundante. Qualquer molécula de ar (ou seja, uma molécula de qualquer um dos gases que compõem o ar) próxima a uma ponta da escova sofre ionização devido às intensas forças de atração/repulsão; elétrons são arrancados dessas moléculas, dando origem a íons positivos. Os elétrons livres provenientes das moléculas de ar rompidas repelem-se intensamente e, ao afastarem-se uns dos outros, chocam-se com outras moléculas de ar, ocasionando novos rompimentos. Uma massa de ar ionizado e elétrons livres, então, agita-se vigorosamente no espaço próximo às pontas da escova (efeito Corona). Esse material, chamado plasma (ou Fogo de SantElmo, ou ainda quarto estado da matéria), apresenta elétrons de condução como os dos metais e, assim como um metal, é um condutor bastante bom.

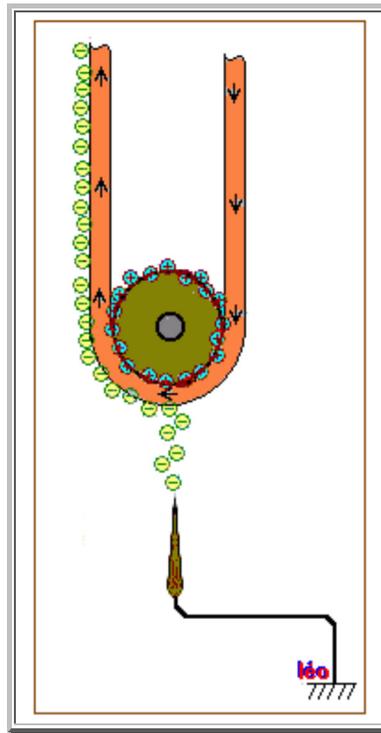
No próximo passo, os elétrons de condução desse plasma penetram nas moléculas de ar neutras tornando-as negativas. Esse ar, carregado negativamente, é então repellido pelas pontas negativas da escova forma-se o vento elétrico.

Ao mesmo tempo, os íons positivos do plasma (bem mais lentos que os elétrons) colidem com as pontas da escova e roubam elétrons dela, tornando-se moléculas neutras. Elétrons, provenientes da terra, mantêm a escova permanentemente no estado neutro (potencial elétrico nulo).

No aspecto global, é como se cargas elétricas negativas saíssem da escova e fluíssem para o cilindro positivo. O papel do plasma foi o de uma "escova virtual", servindo de ponte condutora entre o metal e a correia (cilindro). É o vento elétrico que funciona como escova. Nota: os GVDGs precisam de ar nas proximidades das pontas da escova para poderem funcionar -- GVDGs não funcionam no vácuo.

### **A correia intercepta as cargas expelidas**

O vento (negativamente carregado) é atraído fortemente para a superfície do cilindro (positivamente carregado). A região da correia de borracha que está no caminho dessas cargas, porém, recolhe boa parte delas.



O cilindro eletrizado força a escova a carregar a correia.

As cargas negativas dirigem-se para o cilindro (positivo), mas observe que a correia parcialmente o protege, e desse modo, não permite o total cancelamento de sua carga elétrica. Como o cilindro gira e a correia desloca, a carga elétrica negativa que aderiu à superfície externa da correia é transportada para cima. Novas regiões da correia de borracha, neutras, estarão continuamente expostas, devido ao movimento, e aptas a aprisionarem as cargas negativas do vento elétrico originado pelas pontas.

É importante destacar que, por maior que seja a carga elétrica negativa expelida pela agulha, a correia sempre a intercepta e a remove antes que a carga elétrica positiva no cilindro seja totalmente cancelada. Assim sendo, o cilindro nunca perde sua carga elétrica positiva e, permanentemente, força cargas elétricas a fluírem das pontas à correia. Esse é um processo de carga por indução, uma vez que o cilindro positivo induz a separação de cargas na escova, e também pode ser denominado carga pelo vento Corona, uma vez que a descarga Corona permitida pelo plasma dá caminho para as cargas fluírem das pontas através do ar.

### Reforçando

A escova é conectada ao solo (ao chão, ou a um grande objeto de metal) por um fio. Como cargas elétricas negativas são expelidas das pontas e são atraídas para o cilindro positivo, o fio garante um caminho para que mais elétrons cheguem à escova, provenientes do aterramento. Com o cilindro sempre girando - e mantendo sua carga positiva, que ocasiona um fluxo de elétrons das pontas para a correia -, uma pequena corrente eletrônica flui constantemente da Terra para a correia.

Há carga elétrica no solo? Sim, porque a Terra é condutora e eletricamente negativa. De modo geral, o sistema atua como uma pequena bomba elétrica forçando cargas negativas a fluírem da Terra para a superfície da correia.

### Cargas elétricas chegam ao topo

A correia leva cargas elétricas para cima, por dentro da coluna do GVDG, passa por outro cilindro e por outra escova metálica. Esse segundo cilindro age de modo contrário ao primeiro; as cargas elétricas da correia são expelidas e dirigem-se para as pontas da escova superior. Esse segundo cilindro, ao contrário do que se poderia esperar, não fica eletrizado positivamente, por uma série de motivos que escapam aos objetivos dessa montagem (em muitos GVDGs didáticos, esse cilindro é metálico e mantém-se neutro).

Como a correia negativamente carregada passa sobre o cilindro superior, sua carga repele os elétrons livres das pontas de metal, empurrando-os para longe da ponta. Assim, os átomos de metal nessas pontas passam a exibir carga positiva. Como a densidade de carga elétrica positiva nas superfícies dessas pontas é muito intensa, as forças elétricas de atração/repulsão modificam as moléculas do ar circundante, transformando-as em plasma condutor. Assim, no cilindro superior do GVDG, são os elétrons livres do plasma que são atraídos pelas pontas, que ao mesmo tempo repelem as moléculas de componentes do ar, positivamente carregadas. O vento elétrico, agora positivo, é atraído pela carga elétrica negativa na correia de borracha e, lá chegando, absorve a carga elétrica de correia, neutralizando-a totalmente. A escova, por sua vez, está ligada a um fio, o qual é conectado à esfera do GVDG, por dentro. Como a correia repele os elétrons do plasma para as pontas, essas cargas são drenadas da escova para o lado de fora da esfera (efeito Faraday). Em outras palavras, é como se toda a carga elétrica negativa passasse da superfície da correia para a escova e fosse levada para a superfície externa da esfera do GVDG. A escova superior, dentro do globo, funciona exatamente como se fosse um terra.

### **Polaridade invertida**

Poderíamos usar uma correia de plástico e um cilindro de borracha. Isso inverteria as polaridades e a correia transportaria cargas positivas em lugar de negativas, invertendo de forma global o sentido da corrente elétrica e a polaridade do desequilíbrio de carga elétrica na esfera superior. Poderíamos, também, virar a coluna de sustentação de cabeça para baixo, com o cilindro de plástico dentro da esfera oca e com o cilindro de metal dentro da base. Com essa montagem, o GVDG também trabalharia muito bem.

Poderíamos, ainda, escolher cilindros e correia de materiais diferentes, de forma que ambos os cilindros desenvolvessem uma carga elétrica ó um deles ficaria positivo, e o outro, negativo. Desse modo, cargas iguais e opostas seriam enviadas para os dois extremos da correia: enquanto metade da correia estivesse levando cargas positivas para cima, a outra metade traria cargas negativas para baixo, o que dobraria a corrente elétrica global e faria seu GVDG trabalhar melhor até com tempo úmido.

### **Fonte excitadora de cargas**

Os GVDGs de excitação externa, mais caros, eliminam completamente a necessidade de eletrização por atrito no cilindro inferior, pois apresentam um cilindro de metal conectado a uma fonte de alimentação de tensão alta. O benefício principal é garantir a operação do GVDG, mesmo quando a umidade é tão alta que, um cilindro de plástico, revestido ou não de feltro, não teria chances de ficar carregado por meio da eletrização por contato. Um GVDG excitado com uma fonte de alta tensão é muito menos sensível à sujeira.

Como dissemos no início do experimento, esse tipo de gerador requer maiores cuidados no que diz respeito à segurança, e por isso preferimos não abordar sua construção, mencionando aqui apenas a existência de modelos didáticos desse tipo de gerador no mercado e as vantagens que ele proporciona. Havendo retorno por parte dos montadores do VDG, poderemos pensar na inclusão de um modelo com excitação externa.

[Voltar ao tópico](#)

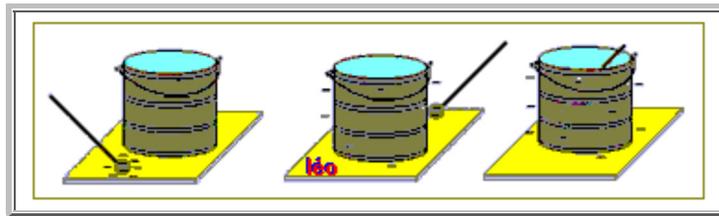
[Voltar ao topo](#)



---

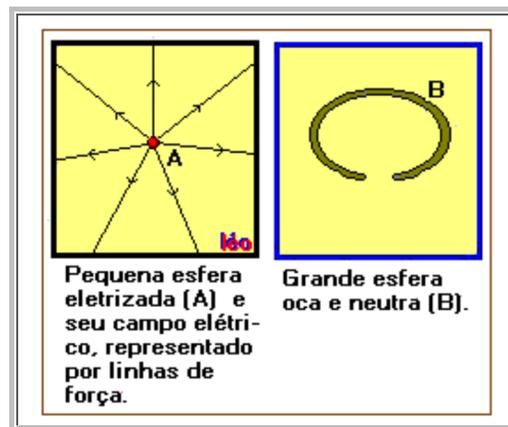
## **Teoria sobre a esfera do GVDG**

Michael Faraday brindou-nos com dezenas de descobertas. Sem elas, com toda certeza, seu computador não estaria funcionando hoje. No momento, a descoberta que nos interessa é a do balde. Sim, o Sr. Faraday queria eletrizar um balde metálico usando uma pequena esfera metálica eletrizada.



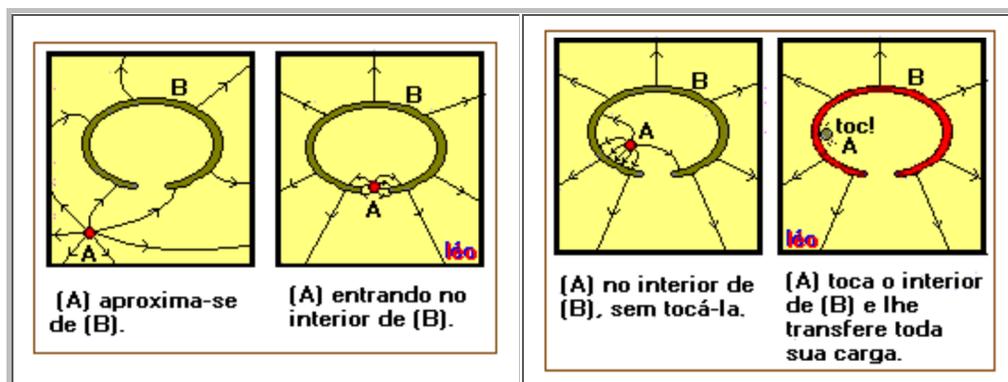
Encostando a esferinha eletrizada pelo lado de fora do balde, boa parte de sua carga transfere-se para o balde, mas nunca toda a sua carga. Sempre haverá um compartilhamento. Entretanto, quando Faraday encostou a esferinha eletrizada pelo lado de dentro do balde... surpresa! Todo o seu excesso de carga transferiu-se para o balde. Muito estranho, não? Não seria de se esperar que a carga elétrica em excesso fosse compartilhada entre o balde e a esfera? Após o toque pelo lado de dentro, Faraday constatou que a esfera retornava sempre neutra. Todo seu excesso de carga passava para o balde... e não importava o quanto de carga o balde já tinha adquirido.

Esse é o efeito Faraday da eletrização um dos princípios fundamentais para o funcionamento dos geradores eletrostáticos como o Van de Graaff. As figuras a seguir mostram o comportamento da pequena esfera metálica eletrizada (A) e a grande esfera oca (B) frente ao efeito Faraday, segundo os conceitos físicos mais modernos.



A esfera (A), na primeira figura, está cercada por um campo elétrico. Não se deixe enganar pela ilustração que mostra apenas algumas "linhas de campo". Esse campo, na verdade, preenche todo o espaço ao redor dela e não é dividido por linhas escassas. As linhas somente são postas para ilustrar a intensidade, a direção e o sentido do campo. O campo elétrico é medido em termos de "volts por metro". Assim, pode-se dizer que um campo elétrico evidencia o quanto um potencial elétrico é afetado pela distância.

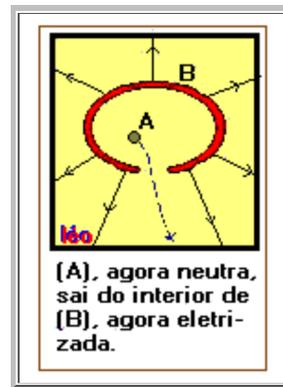
Repare bem nas linhas de campo enquanto essa pequena carga elétrica se aproxima e penetra na grande esfera metálica. Observe que, durante a aproximação, as linhas de campo se organizam do lado de fora da esfera oca, como se esta já estivesse eletrizada.



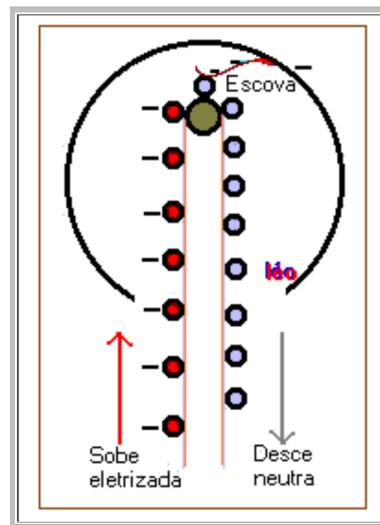
(I)

(II)

Uma observação importante é que, uma vez que a esfera carregada está dentro da esfera oca, movimentos dessa esfera pequena não afetam o campo do lado de fora. E quando a bola de metal toca a interior da esfera oca, em lugar de compartilharem a carga, toda a carga elétrica em excesso da bola de metal transfere-se para a esfera oca. **Por quê?**



O que aconteceria se um fluxo contínuo de bolas carregadas fosse entregando sua carga para a superfície interna de uma esfera de metal oca? A carga elétrica em excesso na esfera oca subiria mais e mais, sem limites. Não importa quão intensa a carga elétrica na esfera oca possa se tornar, você ainda poderia inserir uma bola carregada e, ainda assim, toda a carga elétrica dessa bola seria transferida para a esfera oca. A esfera oca parece ter um infinito efeito de sucção de carga elétrica!



A máquina de Van de Graaff é um exemplo de como aproveitar esse efeito para obter tensões enormes. Em lugar de usar pequenas bolas metálicas para levar carga elétrica para o interior da esfera oca (como é feito no Peletron - um grande acelerador de partículas instalado no Instituto de Física da Universidade de São Paulo.), uma correia de borracha carregada é usada para transportar um fluxo contínuo de carga elétrica em excesso para dentro da esfera oca. Embora cada trecho de correia eletrizada na base da máquina possa só ser capaz de adquirir poucos milhares de volts, a correia continuará transferindo cargas ao domo do GVDG como se estivesse entregando sua carga elétrica para o interior de uma esfera aterrada (esfera ligada à terra).

Dada a continuidade da correia transportadora de cargas, a tensão e a carga elétrica em excesso da esfera oca continuarão sempre subindo.

Teoricamente, a carga da esfera do GVDG continuaria sempre aumentando indefinidamente, mas na realidade esse aumento contínuo é limitado por sujeiras, por extremidades salientes na esfera, pela

curvatura da esfera, pela condutividade da correia e da coluna de sustentação e, muito importante, pela distância da esfera ao solo, além de objetos próximos. (Sim, o potencial elétrico de seu GVDG será muito reduzido se você chegar sua mão perto dele.). Eis, em linguagem bem simples, o segredo do funcionamento do gerador eletrostático de Van de Graaff.

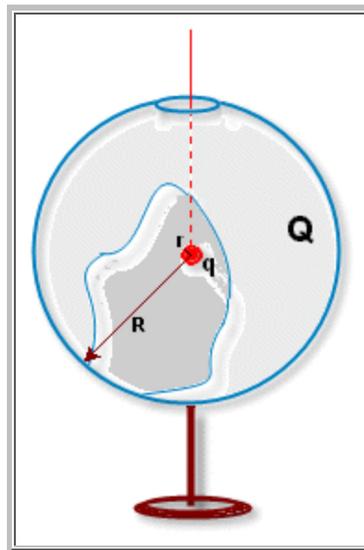
Mas, tem gente que quer saber um pouco além da 'linguagem simples' acima para justificar o funcionamento dos geradores eletrostáticos desse tipo. Você respondeu ao "Por quê?" posto quatro parágrafos acima? Assim, vamos atender também essa parcela de consulentes do Feira de Ciências.

### Princípio de funcionamento do GVDG

O princípio de funcionamento do gerador eletrostático pode ser posto em evidência através da seguinte situação simplificadora:

A grande casca esférica de raio  $R$  representará a cúpula do gerador e a pequena esfera de raio  $r$  colocada no interior da maior representará uma pequena região eletrizada da correia que ainda não tocou no coletor de cargas (escova) superior. Vamos assumir que seja  $Q$  a carga elétrica da cúpula e  $q$  a da pequena esfera.

Iniciemos calculando os potenciais elétricos individuais das duas esferas para, a seguir, calcular a diferença de potencial entre elas e assim poder julgar o 'sentido de movimento da carga  $q$ '.



O potencial elétrico da casca esférica ( $V_c = V_{\text{cúpula}}$ ) é originado, em parte, por sua própria carga  $Q$  e, em parte, por estar imersa no campo produzido pela carga  $q$  da esfera menor. Assim, pela conhecida equação da eletrostática podemos por:

$$V_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{Q}{R} + \frac{q}{R} \right)$$

O potencial elétrico da esferinha ( $V_e$ ) é originado, em parte, por sua própria carga  $q$  e, em parte, por se achar no interior da cúpula. Em razão disso escrevemos:

$$V_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{Q}{R} + \frac{q}{r} \right)$$

A diferença de potencial será igual a:

$$V_e - V_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{Q}{R} + \frac{q}{r} \right) - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{Q}{R} + \frac{q}{R} \right)$$

$$V_e - V_c = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right)$$

Dessa forma (analise bem a expressão acima), supondo  $q$  positivo, a esferinha terá, sempre, potencial mais elevado que a cúpula ( $V_e > V_c$ ).

Quando a esferinha (representando uma região eletrizada da correia) tocar o pente superior dentro da cúpula (o que é equivalente a ligar a esferinha com a casca esférica por meio de um fio condutor), a carga  $q$  "escoará" obrigatoriamente para a esfera externa, a despeito do valor da carga  $Q$  pré-existente. Observe, também, que as duas esferas, em contato, formam um único condutor em equilíbrio eletrostático, portanto, ambas ficam ao mesmo potencial elétrico. Isso significa que  $V_e - V_c = 0$ , que só se dá quando  $q = 0$ . Desse modo, a carga externa aumenta, tendo agora o valor  $Q + q$ .

**Nota:** Vou justificar o porque de colocar a palavra "escoará" entre aspas. Se  $q$  é positivo (nossa hipótese) quem realmente 'escoa' são elétrons da cúpula para a esferinha; esses elétrons anulam a carga da esferinha e ficam 'em falta' na cúpula dando-lhe um excesso de carga positiva livre, logo, tudo se passa como se a carga  $q$  positiva escoasse da esferinha para a cúpula.

No gerador em funcionamento o processo se repete e o potencial da cúpula vai aumentando gradativamente. Se a carga  $q$  é negativa,  $Q$  também o será e todo raciocínio acima continua válido. Quem tinha a dúvida "Por que o 'balde de Faraday' funciona assim?", parece-me que a demonstração acima o deixará satisfeito.

[voltar ao tópico](#)

[Voltar ao topo](#)



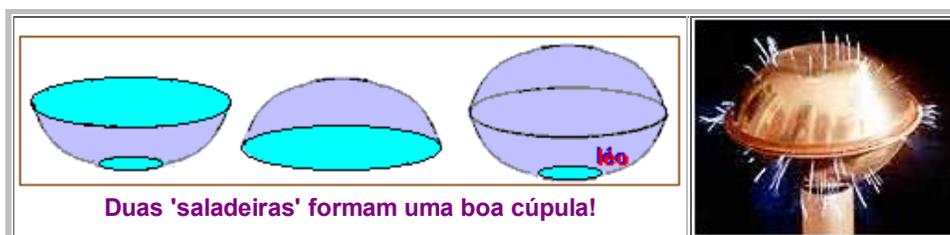
## Cúpulas alternativas para seu primeiro GVDG

### Um globo terrestre

Compre um globo terrestre, de aço, próprio para aulas de geografia. Há no mercado modelos de todo tamanho, mas os modelos menores não são os mais apropriados. Nessa alternativa, opte por um globo com diâmetro entre 20 e 30 cm.

Retire o globo do suporte e corte um buraco no "pólo Sul" (onde já há um furo para o "eixo da Terra"), com o diâmetro de seu tubo suporte. Lixe toda a pintura com lixa d'água. Faça um bom polimento com pasta para polir automóveis. Eis o seu terminal de alta tensão.

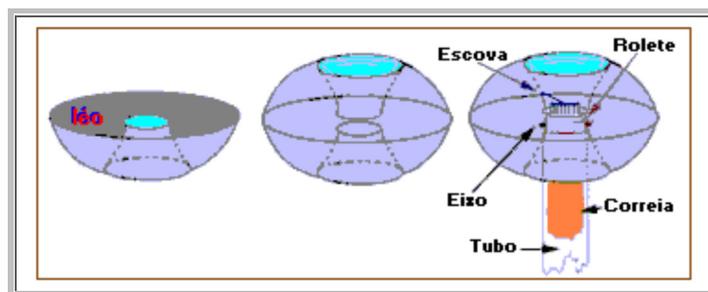
### Tigelas para saladas



Compre duas tigelas metálicas, dessas utilizadas para temperar e servir saladas. Escolha um modelo cuja forma se aproxime o mais possível de uma superfície semi-esférica e que tenham as bordas bem 'arredondadas'. Faça um buraco na base de uma delas. Há no mercado (e nas oficinas) ferramentas adequadas para esse fim. Una as tigelas pelas bordas (uma delgada camada de supercola na borda de uma delas é recomendável) e, a seguir, enrole duas ou três camadas de fita isolante ao redor dessa junção. Acima, à direita, temos a ilustração de uma montagem desse tipo (as tirinhas de papel permitem uma boa visualização do campo elétrico ao redor da cúpula).

Poderá ocorrer algum vazamento de cargas nas imperfeições dessa junção (efeito Corona), mas nada que desanime a construção dessa máquina. Tal efeito pode ser minimizado pela aplicação de um calafetador à base de silicone numa camada de espessura de 3 a 5 mm. As colas de silicone para vidros (usadas em montagem de janelas e aquários), fornecidas em tubos, são excelentes para essa finalidade.

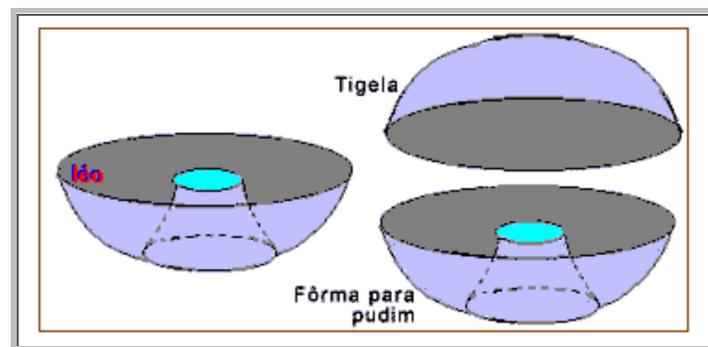
### Fôrmas de pudim



Juntando duas fôrmas de alumínio para fazer pudim, da maneira descrita para as tigelas, você também pode obter um domo para seu primeiro GVDG. O furo central já existente dispensa a necessidade de furar a fôrma para passar a coluna de sustentação do aparelho.

### Tigela + fôrma de pudim

Se você procurar bem poderá achar um tigela de alumínio que se adapte perfeitamente às bordas de uma dessas fôrmas de fazer pudim. O resultado final será surpreendentemente bom!



As bordas desses utensílios domésticos, quando sobrepostas, são as regiões de vazamento de cargas por efeito Corona, o que pode ser minimizado da seguinte maneira: corte ou desbaste essas bordas e, a seguir, passe as peças sobre uma lixa (apoiada numa superfície plana). Continue o processo até que os utensílios tenham bordas bem aplainadas e se ajustem o melhor possível uma com a outra. Certifique-se de que não fique nenhuma rebarba nessas bordas.

Passes uma fina camada de supercola numa das bordas e ajuste uma contra a outra. Aguarde a secagem. Pelo buraco da fôrma de pudim faça um reforço na colagem, passando uma camada de cola por dentro da cúpula. Para melhorar o reforço dessa emenda, faça o seguinte:

a) por dentro, passe uma camada de massa à base de epóxi (bem macia) nessa junção e aguarde a

secagem;

b) corte uma fita de alumínio de 2 cm de largura (a partir de uma folha de papel alumínio adesivo);

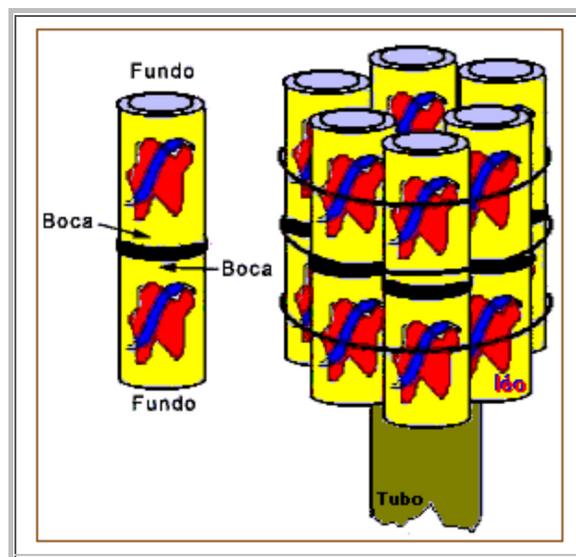
c) passe a fita ao redor da emenda e, com a parte convexa de uma colher de plástico, vá aderindo o alumínio contra a cúpula, alisando bem (evite fazer pregas ou rugas).

Outro tipo de acabamento na junção dos dois utensílios (fôrma de pudim e tigela) pode ser conseguido com o uso de epóxi condutor (ou epóxi comum seguido de pintura com tinta condutora), o que deve ser feito por seções (espere que uma endureça para começar outra). Essa tinta condutora pode ser obtida em lojas ou em oficinas de eletrônica em geral. Antes da pintura final, o epóxi em excesso deve ser removido com lixa.

### **Pintura condutora**

Podem ser encontrados no mercado globos de plástico de vários tamanhos, que podem ser recobertos com tinta condutora tinta à base de níquel. É uma tinta um tanto cara.

### **Latas de refrigerante**



Latas de refrigerante têm fundos bastante lisos. Se você remover as argolas (e os pedacinhos da tampa) de duas delas e uni-las pela boca com fita isolante, você construirá um objeto metálico (que lembra um cilindro) muito liso. Vamos usar isso para obter um bom terminal de alta tensão para o GVDG.

Escolha 12 latas vazias de refrigerante e junte-as aos pares (como visto acima) de modo a obter 6 cilindros. A seguir, conecte-os lado a lado, ao redor do tubo de PVC, com fita isolante, de forma que se tenha um grande cilindro com um buraco no meio. Esse conjunto pode funcionar como cúpula de seu GVDG, contanto que a escova superior permaneça completamente inserida na parte oca desse grande cilindro, as latas funcionarão tal qual um globo oco de metal.

### **Papel machê**

Eis aqui outra técnica que pode ser experimentada para a construção da esfera, mas que também se quer a utilização da tinta condutora. Vejamos:

a) encha uma balão de borracha;

b) prepare uma mistura de cola branca e água (50% de cada);

c) faça uma esfera de papel machê, usando a superfície do balão de borracha como molde, com tiras de jornal empapadas na mistura de cola e água;

d) aplique uma ou duas demãos de tinta condutora ou, se preferir, recorte pequenas tiras de papel alumínio auto-adesivo e recubra, cuidadosamente, toda a superfície esférica.

**Nota:** Ao contrário do que se poderia pensar, uma esfera perfeita não é condição exigida para fazer um GVDG razoável. Tudo que é necessário, realmente, é uma proteção metálica ao redor da montagem rolete + escova superior, o que pode ser realizado de vários modos, como vimos. Se você fixar uma argola de arame sobre a escova superior, e inverter sobre a argola uma lata vazia de biscoito, o fundo de uma tigela de misturar saladas ou um troféu em forma de taça, já será possível construir um GVDG!

Enfim, o que queremos dizer é: não deixe de levar adiante o projeto (que só lhe dará satisfação e novos conhecimentos) apenas por não ter uma esfera impecavelmente polida. O importante é começar mesmo que seja com uma lata vazia enfiada sobre o tubo suporte.

[voltar ao tópico](#)

[Voltar ao topo](#)



### Deixe o GVDG responder suas perguntas

Quando você estiver construindo ou aperfeiçoando um gerador de Van de Graaff, serão necessários alguns testes para comprovar o sucesso da montagem. Para saber como testá-lo, porém, será de grande valia conhecer mais alguns detalhes do aparelho.

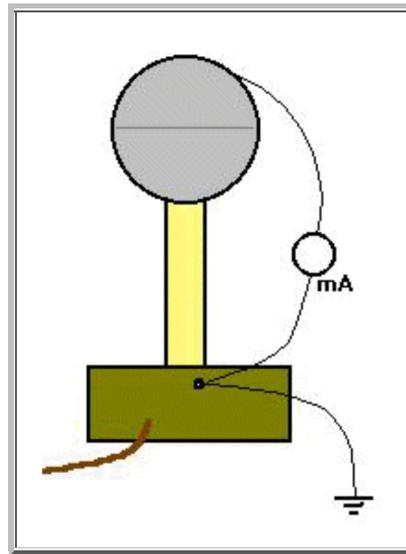
A característica fundamental desse tipo de gerador é o fato de ele ser uma fonte de corrente constante, ou seja: estabelecendo-se uma ligação elétrica entre os terminais do GVDG, e mantendo-se a velocidade da correia constante, o GVDG tende a produzir corrente constante (isto é, sempre de mesma intensidade), mesmo que a resistência elétrica entre terminais varie.

Esse comportamento é oposto ao de uma bateria ideal (fonte de tensão constante). Uma bateria ideal (ou próxima dessa condição, com resistência interna praticamente nula) sempre tende a manter constante a tensão entre seus terminais quanto menor a resistência colocada entre seus terminais, maiores serão a intensidade de corrente e a potência elétrica produzidas.

Por outro lado, um GVDG (cuja resistência interna é praticamente infinita), tende a manter constante a corrente que flui entre seus terminais - quanto maior a resistência colocada entre eles assemelhando o conjunto a um circuito aberto, mais altas serão a tensão e a potência desenvolvidas.

Uma outra maneira de comparar esses dois tipos de fonte é a seguinte: ligando-se em curto-circuito os terminais de uma fonte de tensão constante ideal, a corrente circulante é máxima, pois a resistência é mínima; promovendo-se, porém, um curto-circuito entre a esfera e a base de um GVDG, a intensidade da corrente assume o valor fixo associado à velocidade da correia no momento da observação, a despeito do fato de a resistência se apresentar muito baixa.

É assim que você deve proceder para ajustar seu GVDG: provoque nele um curto-circuito e meça a corrente circulante através desse curto. Para fazê-lo, conecte um medidor de corrente razoavelmente sensível entre a esfera e a base, ou entre as escovas superior e inferior. Um medidor de corrente, por apresentar resistência desprezível, equivale a um curto circuito; assim, nenhum outro fio é necessário.



Selecione um medidor que possa indicar intensidades ao redor dos 100 microampères. Quando o GVVG estiver funcionando, o medidor lhe mostrará a máxima corrente produzida pelo dispositivo. Um fluxo de 5 microampères é satisfatório para um Van de Graaff modesto, em baixa velocidade. Um gerador maior, com a correia em velocidade alta poderá fornecer algumas centenas de microampères. Quanto mais alta for essa corrente, melhor ele estará funcionando.

Assim, quando estiver aperfeiçoando um Van de Graaff recém-construído, você pode, com essa técnica, escolher o espaçamento ideal entre as escovas e a correia, o melhor material para a correia etc. Deixe o seu GVVG "falar" com você: basta provocar um curto-circuito, ligando o microamperímetro entre a cúpula e a base (terra), para medir a corrente circulante.

Ajuste os componentes para conseguir o valor mais alto em seu medidor. Uma correia de plástico trabalhará melhor? Você deveria usar muitas agulhas na escova ou poucas? Faça como indicamos, ligue seu Van de Graaff, meça a corrente produzida e você terá as respostas.

**Voltar ao tópico**

[Voltar ao topo](#)





[TOPO DA PÁGINA](#) | [HALL](#)

Copyright © Luiz Ferraz Netto - 2000-2008 © - Web Máster: Todos os Direitos Reservados

[Motores Eletricos Usados](#)

Compre seu motor elétrico usado com garantia e preço baixo 5x no cartão

[www.motorescampinas.com.br](http://www.motorescampinas.com.br)

[Bombas Peristálticas](#)

Líder Mundial Bombas e mangueiras dosagem precisa, manutenção zero

[www.watson-marlow.com.br](http://www.watson-marlow.com.br)

[Gerador Stamac](#)

Frota nova 0800 772 1601 24h. todo Brasil ID. 84\*77587

[www.TecnogeraGeradores.com.br](http://www.TecnogeraGeradores.com.br)

Anúncios Google