

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS BOMBEIRO MILITAR

**ANÁLISE DA EXTINÇÃO DE UMA CHAMA ATRAVÉS DE UM GERADOR DE
VAN DE GRAFF**

BRUNNO RICARDO MENDES GOMES

São Luís
2015

BRUNNO RICARDO MENDES GOMES

**ANÁLISE DA EXTINÇÃO DE UMA CHAMA ATRAVÉS DE UM GERADOR DE
VAN DE GRAFF**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do Curso de Formação de Oficiais – Bombeiro Militar da Universidade Estadual do Maranhão para obtenção do grau de Bacharel em Segurança Pública e do Trabalho.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Lima Oliveira.

São Luís
2015

Gomes, Brunno Ricardo Mendes.

Análise da extinção de uma chama através de um gerador de Van de Graff / Brunno Ricardo Mendes Gomes.–São Luís, 2015.

54 páginas

Monografia (Graduação) – Curso de Formação de Oficiais Bombeiro Militar, Universidade Estadual do Maranhão, 2015.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Lima de Oliveira.

1.Extinção de incêndios. 2.Técnicas. 3.Gerador de Van de Graaf.
I.Título.

CDU: 614.842.6

BRUNNO RICARDO MENDES GOMES

**ANÁLISE DA EXTINÇÃO DE UMA CHAMA ATRAVÉS DE UM GERADOR DE
VAN DE GRAFF**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando Lima Oliveira
Orientador)

1º Examinador

2º Examinador

A Deus, família e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar pois sem ele as coisas se tornam impossíveis.

Aos meus pais e meu irmão pelo suporte que sempre terei.

Aos meus amigos que sempre confiaram em mim.

Em especial a Iandejara, que com todo amor e dedicação foi uma peça fundamental para que esse desafio fosse concluído, e que tenho certeza que sempre terei esse porto seguro ao meu lado.

“Se enxerguei mais longe é porque me apoiei em ombros de gigantes.”

(Isaac Newton)

RESUMO

O presente trabalho experimental teve o objetivo de verificar a extinção da chama de uma vela por meio de um Gerador de Van de Graaff adaptado para atividade. A montagem permite que através dele seja criado um campo elétrico, que por sua vez com a da chama esta seja reduzida ou até mesmo suprimida. Neste caso, foi confeccionado um modelo adaptado deste Gerador e foram feitos testes experimentais para verificação deste fenômeno. Posteriormente foi feito um estudo sobre o Gerador Van de Graaff e suas particularidades. Em seguida foi confeccionado um Gerador adaptando uma aleta pontiaguda para direcionar o campo elétrico à chama. O experimento completo foi confeccionado a partir de material de fácil acesso e baixo custo. Posteriormente definiram-se os procedimentos da metodologia experimental para observar o fenômeno que se previa acontecer. De modo geral pode-se concluir que o campo elétrico a partir deste Gerador de Van de Graaff adaptado pôde em determinadas condições fazer a extinção da chama de uma vela através de seu campo elétrico. O experimento permitiu afirmar que se fazem necessários muitos experimentos para obter melhor entendimento deste fenômeno para a futura possibilidade de sua aplicação prática em especial pelo Corpo de Bombeiro.

Palavras-chave: Extinção de incêndios. Técnicas. Gerador de Van de Graaff.

ABSTRACT

This experimental study aimed to check the flame of a candle by a Van de Graaff generator adapted to activity. The assembly allows through it an electric field is created, which in turn with the flame this is reduced or even suppressed. In this case, it was made an adapted model of this generator and experimental tests were made to check this phenomenon. It was later made a study of the Van de Graaff generator and its peculiarities. Then he was made a generator adapting a pointed fin to direct the electric field the calls. The entire experiment was made from easily accessible and inexpensive material. Later were defined procedures of experimental methodology to observe the phenomenon that was expected to happen. In general it can be concluded that the electric field from this Van de Graaff generator adapted could under certain conditions make the flame of a candle by its electric field. The experiment allowed to state that many experiments are needed for better understanding of this phenomenon for the future possibility of its practical application in particular by the Fire Department.

Keywords: Fire Extinction, Technical, Van de Graaff generator.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Triangulo do fogo.....	.....
Figura 2. Tetraedro do fogo.....	.....
Figura 3. Sentido do campo elétrico.....	.....
Figura 4. Influência das cargas eletricas no espaço.....	.....
Figura 5. Vetor campo elétrico.....	.....
Figura 6. Campo elétrico de afastamento.....	.....
Figura 7. Campo elétrico de aproximação.....	.....
Figura 8. Campo elétrico de cargas puntiformes.....	.....
Figura 9. Representação do campo elétrico gerado por cargas positivas e negativas.....	.....
Figura 10. Campo elétrico produzido por várias cargas.....	.....
Figura 11. Linhas de campo elétrico.....	.....
Figura 12. Linhas de campo elétrico.....	.....
Figura 13. Linhas de campo elétrico gerado por cargas positivas e negativas.....	.....
Figura 14. Trabalho entre as duas cargas elétricas.....	.....
Figura 15. Soma algébrica dos potenciais gerados por várias cargas.....	.....
Figura 16. Representação algébrica da intensidade do capo elétrico.....	.....
Figura 17. Potencial elétrico constante.....	.....
Figura 18. Linhas de força sobre uma superfície equipotencial.....	.....
Figura 19. Van de Graaff demonstrando o seu experimento em 1929.....	.....
Figura 20. Detalhes do Gerador de Van de Graaff.....	.....
Figura 21. Motor de liquidificador.....	.....
Figura 22. Cinto vermelho para fazer a correia.....	.....
Figura 23. Cubo de bicicleta.....	.....
Figura 24. Eixo de um cubo de bicicleta.....	.....
Figura 25. Rolamentos.....	.....
Figura 26. Escovas feitas através de latinhas de metal.....	.....
Figura 27. Tigelas de salada de inox.....	.....
Figura 28. Cano de PVC.....	.....
Figura 29. Fios condutores conectados a escova de metal.....	.....
Figura 30. Motor acoplado na base.....	.....
Figura 31. Conjunto: Roletes superior e inferior, cano de PVC e tigela.....	.....
Figura 32. Fixação do cano de PVC na base.....	.....

Figura 33. Correia e as escovas de metal no gerador de Van de Graaff.....

Figura 34. Tigela de metal na parte superior do gerador de Van de Graaff.....

Figura 35. Gerador de Van de Graaff confeccionado.....

Figura 36. Gerador (sem aleta pontiagudo) próximo à vela.....

Figura 37. Gerador com a aleta e próximo à vela.....

Figura 38. Gerador de Van de Graaff com a vela no recipiente.....

Sumário

1. INTRODUÇÃO	13
2. ESTUDO DA FORMAÇÃO DO FOGO	15
3. CAMPO ELÉTRICO	20
3.1 VETOR DO CAMPO ELÉTRICO	22
3.2 SENTIDO DO VETOR CAMPO ELÉTRICO	24
3.3 CAMPO DE UMA CARA PUNTIFORME	25
3.4 CAMPO ELÉTRICO PRODUZIDO POR VÁRIAS CARGAS.....	26
3.5 LINHAS DE CAMPO ELÉTRICO	27
4 ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA	29
4.1 TRABALHO DA FORÇA ELÉTRICA E VARIAÇÃO DE ENERGIA POTENCIAL	31
4.2 TRABALHO E ENERGIA POTENCIAL NUM CIRCUITO ELÉTRICO.....	32
4.3 POTENCIAL ELÉTRICO	32
4.4 RELAÇÃO ENTRE O VETOR CAMPO E O POTENCIAL ELÉTRICO	33
5 GERADOR DE VAN DE GRAAFF	37
6 MONTAGEM E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	41
6.1 ACESSÓRIOS DO GERADOR DE VAN DE GRAAFF	41
6.2 MONTAGEM DO GERADOR DE VAN DE GRAAFF	45
6.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
7 CONCLUSÃO	52
8 REFERENCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

Geralmente presume-se que a atividade de atendimento dos bombeiros à população esteja unicamente ligada ao combate a incêndio, sendo ainda, que esta atividade muitas vezes é erroneamente associada em apenas utilizar grandes quantidades de água no fogo sem o devido cuidado de técnicas apropriadas adquiridas com capacitação neste tipo de atividade.

Como se sabe, mesmo com todos os meios utilizados durante o combate a incêndio, na finalização deste incêndio além de outros produtos utilizados para o combate, a água acaba também sendo utilizado. Desta forma, tem-se ainda o desgaste de cada profissional envolvido nestas ocorrências e o tempo gasto para conseguir o resultado desejado.

Além disto, a busca de novas técnicas de combate a incêndio vem se tornando uma prática muito utilizada pelo Corpo de Bombeiros. Esta atividade é fomentada por meio de Cursos especializados voltados para esta área em que o bombeiro é submetido a vários testes e protocolos oriundos de inúmeros estudos e experiências dos profissionais envolvidos. Um dos cursos bastante ativos nesta área é os realizados com extintores de incêndios.

Como ferramenta de combate a incêndios os extintores de incêndio executam uma função necessária e salvam vidas, contudo, respirar os produtos químicos utilizados neles pode causar alguns problemas de saúde. Os produtos químicos são de particular preocupação para aqueles que sofrem de doenças e alguma condição clínica. Para usar um extintor de incêndio com segurança, é necessário reconhecer os riscos potenciais à saúde dos produtos químicos usados neles.

Como exemplos podem ser citados os extintores de pó seco que causam efeitos na saúde quando o usuário inala o pó. Irritação nasal e irritação da garganta, assim como tosse ou desconforto no peito, são resultados desta inalação. Pessoas com quadros clínicos, como a asma, podem ter dificuldade respiratória após exposição aos compostos em pó dos extintores de incêndio.

Diante deste quadro, uma estratégia de combate a incêndio que demandasse pouco tempo e menos desgaste físico aos profissionais envolvidos seria de suma importância. Além

disto, caso haja a existência de um dispositivo ou equipamento capaz de apagar as chamas de um incêndio de forma limpa e rápida, sem a utilização de água, poderia garantir resultados significativos e eficientes em vários casos ou em casos específicos.

Neste contexto, alguns princípios da Física, especificamente quando se estuda a ação de campos elétricos, indicam ser possível que o campo elétrico seja capaz de contribuir para extinção do fogo. Tal fenômeno foi observado e analisado em pequena escala por meio de estudos laboratoriais. Naturalmente maior clareza da ação do campo elétrico neste caso precisa ser mais bem definida.

Este trabalho é uma pesquisa que sugere o desenvolvimento de um equipamento para a extinção do fogo de situações diversas, objetivando também apresentar a confecção de um Gerador de Van de Graaff adaptado capaz de promover a extinção da chama de uma vela; analisar a extinção da chama de uma vela através desse Gerador de Van de Graaff adaptado e apresentar recomendações para trabalhos futuros que podem ser exploradas na presente bancada experimental, ou seja, um dispositivo que pode apagar chamas por meio da eletricidade gerada de um campo elétrico que seja capaz de promover uma reação na estrutura molecular do fogo fazendo com que a chama seja extinguida. Em seguida será apresentado o modelo deste instrumento indicando suas características e funcionalidades. Além disto, serão feitos testes experimentais para se avaliar o potencial deste equipamento em relação aos métodos que atualmente são utilizados em incêndios em diferentes ambientes.

2 ESTUDO DA FORMAÇÃO DO FOGO

A existência do fogo na humanidade se dá desde a sua formação. Hoje se sabe que desde o início a Terra já foi uma massa incandescente, entrando por um processo de resfriamento, até chegar à formação atual, passando a coexistir com o homem depois do seu aparecimento.

Acredita-se que os primeiros contatos, que os primitivos habitantes tiveram com o fogo, foram através de manifestações naturais como os raios que provocam grandes incêndios florestais. Na sua evolução, o homem primitivo passou a utilizar o fogo como parte integrante da sua vida. O fogo colhido dos eventos naturais e, mais tarde, obtido intencionalmente através da fricção de pedras, foi utilizado na iluminação e aquecimento das cavernas e no cozimento da sua comida.

Steckel (2004) designa o fogo como sendo uma reação de oxidação denominada combustão, ocorrendo o desprendimento de calor e luz que pode ser proveniente de material sólido, líquido ou gasoso. Ainda conforme Brentano (2004) o fogo “é uma mistura de gases a alta temperatura resultante de uma reação química denominada combustão, que é uma oxidação rápida entre o material combustível (sólido, líquido ou gasoso) e o oxidante provocada por uma fonte de calor que gera luz e calor”.

Nesse período, o homem dominava, plenamente, as técnicas de obtenção do fogo tendo-o, porém, como um fenômeno sobrenatural. O célebre filósofo e cientista Arquimedes, nos estudos sobre os elementos fundamentais do planeta, ressaltou a importância do fogo, concluindo que eram quatro os elementos: o ar, a água, a terra e o fogo.

O fogo sempre foi um elemento fascinante para o homem, tornando-se com o evoluir dos tempos, num dos elementos da natureza mais utilizados no seu cotidiano. No entanto, quando o fogo ocorre sob condições descontroladas, pode se torna perigoso e destruidor.

Segundo Pyne et al. (1996), combustão é o nome dado a reação exotérmica que surge através da rápida combinação de um comburente com um combustível na presença indispensável de uma fonte de calor, acompanhada pela emissão de luz e energia na forma de calor. O calor produzido auto sustenta a reação de combustão. O fogo é um tipo de combustão que produz chamas. A chama é uma mistura incandescente de gases que resulta da combustão de um combustível na forma gasosa.

Resumidamente o fogo é a reação química exotérmica com liberação de luz e calor e incêndio é uma forma generalizada dessa reação.

Segundo Melhado; Souza, 1998, cita que:

[...] A combustão é uma reação extremamente complexa, a qual pode, no entanto, ser considerada preliminarmente como uma série de reações de oxirredução que, dentro de condições propícias, se processam de forma bastante violenta [...] (MELHADO; SOUZA, 1998).

Fogo e combustão são termos frequentemente usados como sinônimos, entretanto, tecnicamente, o fogo é uma forma de combustão. O fogo pode ser conceituado como um processo (reação química) de oxidação rápida, autossustentável, acompanhada pela produção de luz e calor em intensidades variáveis.

De uma forma elementar o fogo é a reação química exotérmica com liberação de luz e calor e incêndio é uma forma generalizada dessa reação. Steckel (2004) designa o fogo como sendo uma reação de oxidação denominada combustão, ocorrendo o desprendimento de calor e luz que pode ser proveniente de material sólido, líquido ou gasoso. Seito *et al.* (2008) descrevem que, mesmo com o avanço da ciência do fogo, inexistente ainda um consenso entre as normatizações ao definir esses termos, citando as definições dadas pelas diferentes normas. A norma brasileira NBR 13860:1997 define o fogo como “processo de combustão caracterizado pela emissão de calor e luz”.

A “National Fire Protection Association” (NFPA, 2003) define oxidação rápida autossustentada acompanhada de evolução variada da intensidade de calor e de luz. A ISO 8421-1 e a BS 4422: Parte 1 definem como sendo um processo de combustão caracterizado pela emissão de calor acompanhado de fumaça, chama ou ambos.

Para que exista o fogo três elementos são necessários: o combustível, o comburente (Oxigênio) e a Fonte de Calor (Temperatura de Ignição), ou seja, isto é chamado de Triângulo do Fogo, conforme mostra a Figura 1.



Figura 1. Triângulo do fogo (Fonte: Google Imagens)

O Triângulo do Fogo é uma forma didática, criada para melhor ilustrar a reação química da combustão onde cada ponta do triângulo representa um elemento participante desta reação.

Contudo, para que se produza uma combustão, se necessitam quatro elementos, portanto, para efeito didático, se adota o tetraedro (Figura 2) para exemplificar e explicar o fenômeno da combustão, atribuindo-se, a cada uma das faces, um dos elementos essenciais do fogo, a saber: o combustível (algo que queima), o oxigênio (agente oxidante), o calor (energia térmica) e a reação química em cadeia.

Além disso, o combustível deve estar em presença de oxigênio, em uma concentração adequada e na temperatura de ignição. Devemos considerar ainda que a combustão continue existindo até que o combustível se consuma, o agente oxidante diminua sua concentração para níveis abaixo dos necessários à combustão, o combustível se esfrie para abaixo da temperatura de ignição ou a reação em cadeia se interrompa. Na falta de qualquer um dos quatro elementos, a combustão não se produz.



Figura 2. Tetraedro do fogo (Fonte: Google Imagens)

Neste aspecto, diz-se que o fogo é um processo de oxidação rápida acompanhado de elevação da temperatura pelo aquecimento dos produtos gasosos da combustão e pela emissão de radiação visível e invisível, enquanto que, o incêndio é toda e qualquer combustão fora do controle do homem, que pode danificar ou destruir bens e objetos e lesionar ou matar pessoas. Contudo, é importante verificar que o fogo quando aproveitado corretamente fornece grandes benefícios que podem suprir nossas necessidades industriais e domésticas, mas, quando descontrolado, pode causar danos materiais e sofrimento humano.

Para a definição de incêndio, as normas são mais coerentes. A NBR 13860: 1997 destaca que “Incêndio é o fogo fora de controle” e a ISO 8421-1 como “Incêndio é a combustão rápida disseminando-se de forma descontrolada no tempo e espaço”.

Os incêndios podem parecer iguais em qualquer situação, mas sabe-se que existem incêndios que são gerados por meio de descargas elétricas assim como podem ser gerados por meio de vazamentos de combustíveis, e com isso suas características diferem assim como a sua extinção.

A partir desta observação existem quatro classes de incêndio que são estudadas no Brasil, e essas classes se diferem pelos elementos que nelas são envolvidos. A classe “A” é caracterizada pela queima de materiais na superfície e profundidade a combustão se dá com a formação de brasas (materiais sólidos), em outras palavras são incêndios que envolvem combustíveis sólidos comuns (geralmente de natureza orgânica), e ainda, tem como características queimar em razão do seu volume (queimam em superfície e profundidade) e deixar resíduos fibrosos (cinzas).

A classe “B” é caracterizada por ocorrer em combustíveis e líquidos inflamáveis, ou seja, São incêndios envolvendo líquidos inflamáveis, graxas e gases combustíveis. É caracterizado por não deixar resíduos e queimar apenas na superfície exposta (queimam só em superfície).

A classe “C” é gerada por elementos energizados, ou seja, qualquer incêndio envolvendo combustíveis energizados. Alguns combustíveis energizados (aqueles que não possuem algum tipo de armazenador de energia) podem se tornar classe A ou B, se for desligado da rede elétrica.

E finalizando o incêndio classe “D” ocorrem em ligas metálicas combustíveis que é necessário produtos ou processos especiais para a sua extinção, assim, incêndios resultantes da combustão de metais pirofóricos, são ainda caracterizados pela queima em altas temperaturas e reagirem com alguns agentes extintores (principalmente a água).

É importante comentar que os incêndios podem ser suprimidos de três formas: a) o abafamento que é a retirada do oxigênio (comburente) do processo de queima; b) o resfriamento que consiste em diminuir a temperatura de queima até o ponto que a temperatura de ignição de combustível seja insuficiente para que ocorra a combustão, e por último, c) a retirada do combustível que é a remoção do mesmo do local do incêndio, essa retirada pode ser total ou parcial.

Neste contexto, várias formas de extinção de incêndio foram desenvolvidas no decorrer da história, e técnicas foram aprimoradas visando um menor gasto no tempo e uma maior resposta na sua execução, viaturas de combate a incêndio foram desenvolvidas, cursos específicos foram criados e com isso os profissionais de segurança se tornaram menos vulneráveis, e vários acidentes causados por desinformações básicas foram evitados.

3 CAMPO ELÉTRICO

Ao iniciar o estudo do eletromagnetismo o primeiro conceito apresentado é o de carga elétrica. A partir daí aprendemos que duas cargas elétricas interagem por meio de uma força de atração ou de repulsão inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas (Lei de Coulomb).

A força exercida por uma carga puntiforme sobre outra atua na direção da linha reta que passa pelas cargas. Ela varia inversamente com o quadrado da distância de separação das cargas e é proporcional ao produto das cargas. A força será repulsiva se as cargas possuírem sinais idênticos e atrativas se tiverem sinais contrários. (TIPLER, 2006).

Em concordância, Alonso e Finn (1972), afirma que, a interação eletrostática entre duas partículas carregadas é proporcional às duas cargas e ao inverso do quadrado da distância entre elas e tem a direção da reta que une as duas cargas.

Logo após, conhecemos alguns fenômenos magnéticos básicos e aprendemos que o ímã tem polos magnéticos norte e sul e que esses polos são inseparáveis.

Quando se estuda circuitos elétricos observa-se que as correntes elétricas interagem com os ímãs, o que permite medir a intensidade da corrente. Conhecemos o conceito de potencial elétrico e a partir daí a diferença de potencial e as leis que relacionam a corrente elétrica, diferença de potencial e o calor produzido nos fios. E por fim descrevemos as relações de energia que envolvem corrente elétrica com os conceitos de força eletromotriz e força contra eletromotriz.

Esse conjunto de conhecimentos formam a teoria de circuitos elétricos, onde foi desenvolvida na primeira metade do século XIX e levou a invenções de aparelhos que hoje são de grande importância para o ser humano. Até hoje, ela é a base para projetos de inúmeros circuitos elétricos, desde um relógio de pulso até a instalação de um prédio ou uma cidade.

A força eletrostática é extremamente relevante à nossa vida. É ela que, última análise, une os átomos para formar as moléculas, e estas para formar todas as estruturas vivas. A interação elástica da mola é produto das forças elétricas entre seus constituintes, e o atrito decorre das forças elétricas entre os átomos e moléculas dos materiais que são postos em contato. Sendo assim, é muito importante obter expressões quantitativas para força elétrica. (MACHADO, 2007).

Entretanto, existem fenômenos não abrangidos pela teoria dos circuitos elétricos, como a atração e a repulsão entre as correntes, que deu origem aos motores elétricos, e as ondas eletromagnéticas, que possibilitam as telecomunicações. A teoria dos circuitos elétricos não abrange esses fenômenos porque não descreve a influência de uma carga elétrica ou de

uma corrente elétrica no espaço ao seu redor. Para descrever essa influência, na segunda metade do século XIX, alguns físicos, entre eles Michael Faraday (1791 – 1867) e James Maxwell (1831 – 1879), criaram os conceitos de Campo Elétrico e Campo Magnético.

Entende-se que o campo elétrico é considerado um sistema de forças atuante em um determinado espaço que possua uma carga fonte próxima, “[...] a força elétrica que uma carga elétrica exerce sobre outra é um exemplo de força de ação a distância [...]” uma carga elétrica provoca um campo elétrico em todo espaço, e é esse campo que atua sobre a partícula distante. [...]” (TIPLER, 2000). Entretanto, Halliday *et al.*, (2008) complementam que a força que uma carga exerce sob outra pode se estender ao longo de grandes distâncias (ver Figura 3).

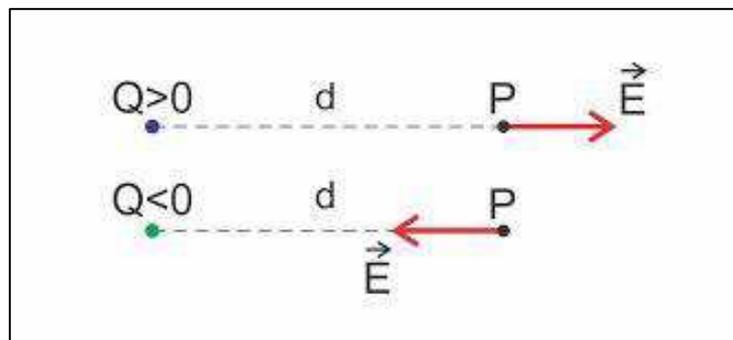


Figura 3. Sentido do campo elétrico. (Fonte: Google Imagens)

Portanto, como salienta Sampaio e Calçada (2005) qualquer partícula eletrizada que for colocada na região de um campo elétrico ficará sujeita a uma força de atração ou repulsão conforme os sinais das cargas envolvidas, e que o campo é uma grandeza vetorial, pois possui uma direção e um sentido definido em cada ponto do espaço, conforme Figura 3.

Quando é observado a aproximação de uma tempestade, há uma alteração entre as nuvens e a terra, a tal ponto que chegam a produzir grandes faíscas elétricas nessa região. Esse mesmo tipo de efeito pode ser produzido artificialmente em laboratório, por meio de máquinas simples de eletrização por atrito, que produzem efeitos tais como a atração de pequenos corpos e faíscas.

Em concordância, Máximo e Alvarenga, (2000) defendem que a existência do campo elétrico em um ponto do espaço não depende da presença da carga geradora naquele ponto específico, desta forma pode existir campo elétrico, embora não haja carga geradora nas proximidades, entretanto, só podemos ter certeza que há um campo elétrico em alguma

determinada área quando colocamos uma carga de prova para verificar se há atuação de força elétrica sobre ela, o que permite concluir se há ou não um campo naquela região.

De uma forma geral, cargas elétricas produzem uma influência de no espaço ao seu redor. Essa influência chama-se campo elétrico, de acordo com a Figura 4.

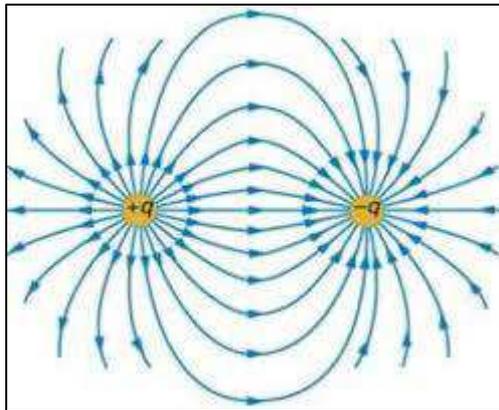


Figura 4. Influência das cargas elétricas no espaço (Fonte: Google Imagens)

De acordo com o conceito de campo, não se fala em interação entre duas cargas. A única interação a ser considerada é a interação entre campo e carga. Chiqueto (1996) afirma que toda carga cria ao seu redor um campo elétrico e que quando uma carga está imersa em um campo elétrico, surge sobre ela uma força elétrica.

A ideia de Campo elétrico traz uma grande simplificação ao estudo da eletricidade, pois não é preciso haver uma interação com interação com outra carga para que seja preciso analisar a influência de uma carga elétrica ao seu redor. Uma carga, ou um conjunto de cargas, produz seu campo, que pode ser calculado e desenhado e qualquer ponto, mesmo que ele não esteja realmente atuando sobre outra carga. Depois de descrever o campo num certo ponto, para saber o que acontecerá quando colocado uma carga nesse ponto, bastará descrever a ação do campo sobre a carga.

3.1 VETOR DO CAMPO ELÉTRICO

Considerando o Campo elétrico produzido por uma carga elétrica Q . Essa carga será chamada carga-fonte, pois o campo que estamos descrevendo é gerado por ela, conforme Figura 5.



Figura 5. Vetor campo elétrico (Fonte: Google imagens)

Para medir um campo elétrico num ponto P, colocamos nesse ponto uma carga puntiforme q , que é chamada de carga de prova. O campo faz surgir na carga de prova uma força elétrica \vec{F} .

Quando colocamos uma carga na vizinhança de outra, estabelece-se uma força elétrica, causada pelas "nuvens" de ambas. Se trocarmos esta carga por outra, uma nova força aparece, e essa força, como já vimos, depende das duas cargas. Ao colocarmos duas cargas uma próxima à outra, as "nuvens" de ambas são perturbadas. Se, no entanto, a primeira carga tiver um valor bastante pequeno, a perturbação causada por ela também será pequena. Essas cargas são conhecidas como carga-fonte ou carga geradora. Para estudar forças elétricas é necessário sempre haver pelo menos uma carga-fonte e uma carga de prova. Assim, considerando dois problemas semelhantes em que a única diferença é a carga de prova, é preciso estudá-los matematicamente desde o início, caso estejamos interessados nas forças elétricas do sistema. (MACHADO, 2007).

De acordo com os estudos realizados por Gaspar (2008) para caracterizar o campo elétrico como grandeza vetorial é necessário definir uma outra grandeza, denominada pelo vetor campo elétrico.

A medida do campo elétrico no ponto P é o vetor do campo elétrico \vec{E} , definido na seguinte forma:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} \quad \text{Eq. 1}$$

Para obter a unidade do vetor campo elétrico, dividimos a unidade de força pela unidade de carga.

No SI, a unidade do vetor campo elétrico é newton por coulomb (N/C). Podemos também utilizar a unidade volt por metro (V/m), pois elas são equivalentes.

3.2 SENTIDO DO VETOR CAMPO ELÉTRICO

Para identificar o sentido do campo elétrico, é observado o seu comportamento com a presença de uma carga de prova q positiva.

É considerado primeiramente o caso da carga q , fonte positiva: a carga de prova positiva é repelida pela carga-fonte positiva. Portanto, o vetor campo elétrico aponta para fora, conforme Figura 6.

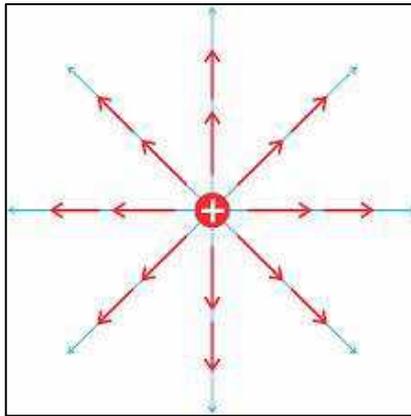


Figura 6. Campo elétrico de afastamento. (Fonte: Google imagens)

É observado o que acontece com a carga-fonte negativa: a carga de prova positiva é atraída pela carga-fonte negativa. Portanto o vetor campo elétrico aponta para dentro.

Chiqueto (1996) afirma que o vetor campo elétrico produzido por uma carga positiva tem sentido de afastamento em relação à carga. O vetor campo elétrico produzido por uma carga negativa tem sentido de aproximação em relação à carga, conforme a Figura 7.

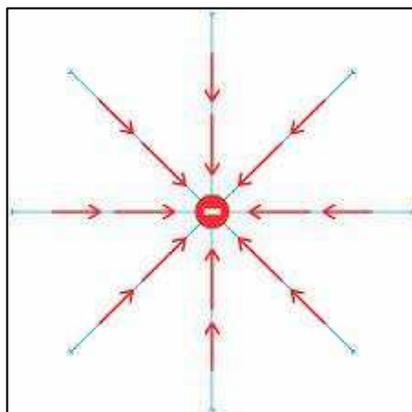


Figura 7. Campo elétrico de aproximação. (Fonte: Google imagens)

De acordo com Sampaio e Calçada (2005), qualquer partícula eletrizada que for colocada na região de um campo elétrico ficará sujeita a uma força de atração ou repulsão conforme os sinais das cargas envolvidas, e que o campo é uma grandeza vetorial, pois possui uma direção e um sentido definido em cada ponto do espaço.

3.3 CAMPO DE UMA CARGA PUNTIFORME

O campo elétrico mais simples é o campo produzido por uma única carga elétrica puntiforme Q já que a direção e o sentido do campo elétrico são conhecidos.

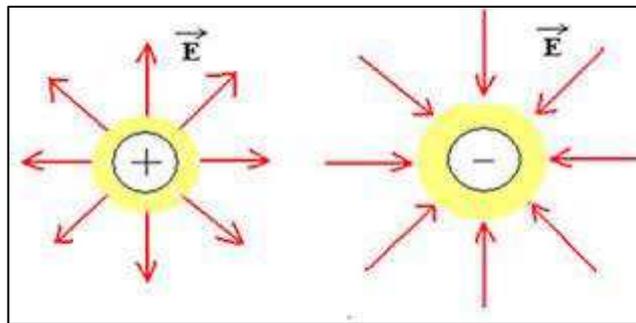


Figura 8. Campo elétrico de cargas puntiformes. (Fonte: Google imagens)

Segundo Machado (1997), afirma que o campo elétrico de uma carga pontual tem uma simetria esférica radial, em cada ponto da superfície o campo \vec{E} tem módulo constante, e ele está na mesma direção que a normal à superfície, que é radial, conforme Figura 8.

Para determinar o módulo do vetor \vec{E} , será colocado uma carga de prova q num ponto P , a uma distância r de Q , conforme Figura 9.

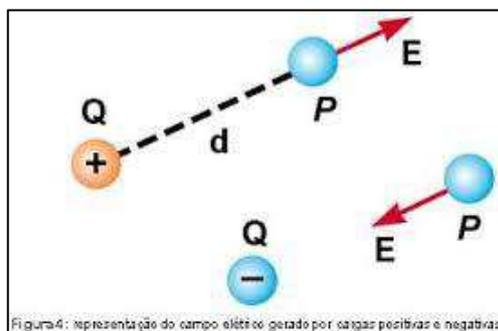


Figura 9. Representação do campo elétrico gerado por cargas positivas e negativas (Fonte: Google imagens)

O vetor \vec{E} é dado por:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} \quad \text{Eq. 2}$$

Portanto, seu módulo é:

$$\vec{E} = \frac{F}{q} \quad \text{Eq. 3}$$

O módulo da força aplicada na carga q pode ser expresso pela lei de Coulomb:

$$\vec{F} = k \frac{|Q \cdot q|}{r^2} \quad \text{Eq. 4}$$

Dividindo F por $|q|$, obtemos E :

$$\vec{E} = k \frac{|Q|}{r^2} \quad \text{Eq. 5}$$

Chiqueto (1996) afirma que a intensidade do campo elétrico produzido por uma carga puntiforme num certo ponto é diretamente proporcional à carga e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre ponto e carga.

3.4 CAMPO ELÉTRICO PRODUZIDO POR VÁRIAS CARGAS

Para obter o vetor campo elétrico devido a um conjunto de cargas puntiformes, num ponto P , é preciso calcular separadamente o vetor campo elétrico produzido por cada uma e depois fazer a soma vetorial dos mesmos, conforme Figura 10.

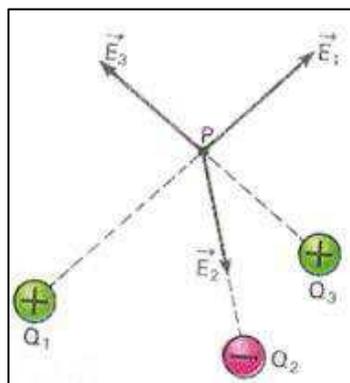


Figura 10. Campo elétrico produzido por várias cargas. (Fonte: Google imagens)

3.5 LINHAS DE CAMPO ELÉTRICO

A cada ponto de um campo elétrico associa-se um vetor \vec{E} . A representação gráfica de um campo elétrico é feita desenhando-se um número conveniente de vetores \vec{E} , outra maneira gráfica de se representar um campo elétrico consiste em utilizar linhas de força. Linhas de força são linhas tangentes ao vetor campo elétrico em cada um dos seus pontos. As linhas de força são orientadas no sentido do vetor campo, conforme Figura 11.

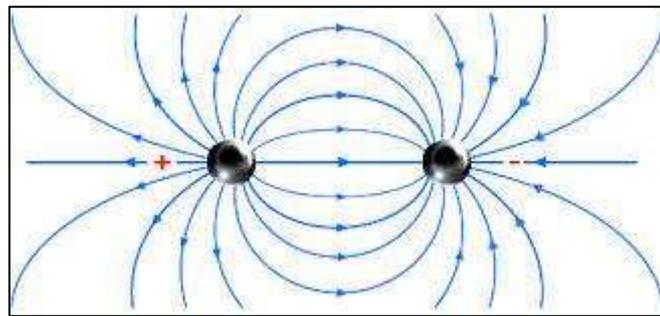


Figura 11. Linhas de campo elétrico. (Fonte: Google imagens)

É importante ressaltar que o campo é representado por linhas de força, [...] “As linhas do campo elétrico são também chamadas de linhas de força, pois mostram, em cada ponto, a direção da força que se exerce sobre uma carga de prova [...]” (TIPLER, 2000). Entretanto, essas linhas são imaginárias e não representam situações concretas.

Segundo Gaspar (2008), os corpos carregados eletricamente alteram sua região no espaço em que se encontram, porém não é possível visualizar essa alteração, o que tornaria mais fácil entender como acontece a interação elétrica entre corpos carregados. É por este fato que os físicos utilizam o conceito de linhas de força. O desenho das linhas de força numa certa região nos dá ideia de como variam, aproximadamente, a direção e o sentido do vetor \vec{E} na região considerada, conforme Figura 12.

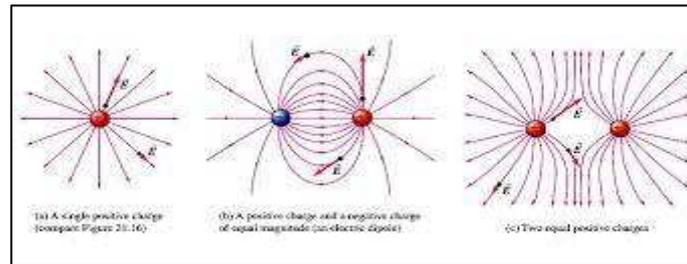


Figura 12. Linhas de campo elétrico. (Fonte: Google imagens)

Imaginando duas cargas puntiformes de sinais opostos e módulos diferentes, da carga de maior módulo nasce (se a carga for positiva) ou morre (se a carga for negativa) um número maior de linhas de força. Onde as linhas estão mais próximas, o campo é mais intenso, conforme Figura 13.

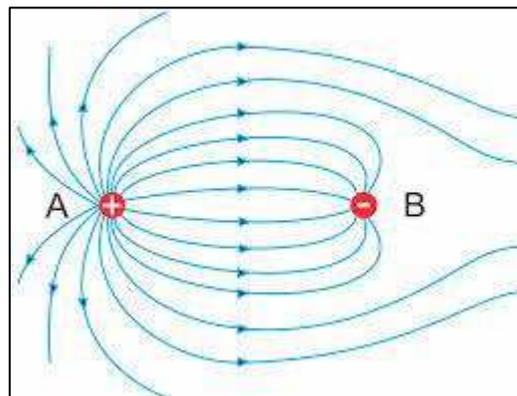


Figura 13. Linhas de campo elétrico gerado por cargas positivas e negativas. (Fonte: Google imagens)

As linhas de força dão uma ideia concreta da interação entre as cargas que produzem os campos. Quando as cargas têm mesmo sinal, os campos se repelem e fica evidente que as cargas se repelem. Quando as cargas têm sinais opostos, os campos parecem se difundir, o que a ideia de atração.

As linhas do Campo elétrico são também chamadas de linhas de força, uma vez que elas mostram a orientação da força exercida sobre uma carga positiva. Para um ponto qualquer nas proximidades de uma carga puntiforme positiva, o campo elétrico é orientado radialmente afastando – se da carga. Consequentemente, as linhas do Campo Elétrico nas proximidades de uma carga positiva também serão orientadas de forma a se afastarem da carga. Analogamente, nas proximidades de uma carga puntiforme negativa, as linhas de Campo serão orientadas em direção a carga negativa. (TIPLER, 2000).

4 ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

A grande importância da eletricidade se deve à possibilidade de se obter trabalho a partir da força elétrica. Esse trabalho é o que faz funcionar todos os aparelhos elétricos, como motores, aquecedores etc. Por isso, uma das informações mais importantes sobre uma determinada configuração de cargas elétricas é a quantidade de trabalho que se pode obter dela.

O trabalho que se pode obter de uma determinada configuração de cargas elétricas chama-se energia potencial elétrica. Entretanto, Halliday *et al.*, (2008) complementa que energia potencial elétrica é a energia de um objeto carregado na presença de um campo elétrico externo (ou, mais precisamente, a energia do sistema formado por um objeto e um campo elétrico externo); é medida em joules.

É observado o que é esse sistema simples, pensando em duas cargas puntiformes positivas: a carga Q fixa e a carga q móvel, conforme Figura 14.

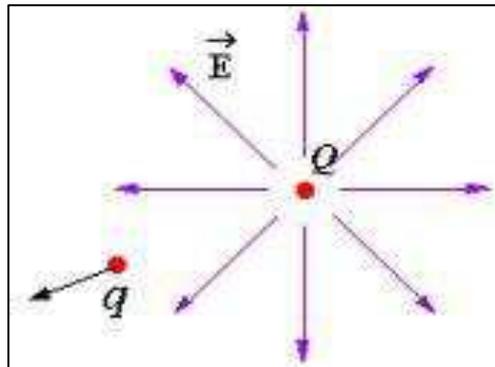


Figura 14. Trabalho entre as duas cargas elétricas. (Fonte: Google imagens)

A força de repulsão entre as duas cargas é capaz de fornecer trabalho. Para obter esse trabalho, basta deixar que a carga q se afaste de Q . À medida que a carga q se afasta, a força elétrica vai se deslocando e realizando trabalho positivo. Se não houver nenhuma outra força aplicada na carga q , ela vai adquirir energia cinética nesse deslocamento.

Quando a carga q estiver num ponto muito distante de Q , a força de repulsão entre elas será praticamente nula. Nessa situação, não haverá mais trabalho disponível no sistema.

É chamada de energia potencial elétrica de q o trabalho que se pode obter da força elétrica quando q está numa determinada posição. Para medi-la, é adotado um ponto de referência, ao qual se atribui energia potencial nula. A energia potencial numa posição

qualquer é, então, o trabalho que a força elétrica vai realizar se a carga q se deslocar até o ponto de referência.

A energia potencial elétrica é uma propriedade de um sistema de partículas como um todo, entretanto pode-se encontrar situações nas quais a energia potencial elétrica é mencionada como se fosse uma propriedade de apenas uma partícula do sistema. Frases como “Um elétron em um campo elétrico tem uma energia potencial de $10^{-7}J$ ” são bastante comuns. Afirmações desse tipo são aceitáveis contanto que se tenha em mente que a energia potencial está sempre associada a um sistema; no caso, o sistema constituído pelo elétron e as partículas carregadas que constituem o campo. Também é preciso ter em mente que só faz sentido atribuir a uma partícula, ou mesmo a um sistema, um valor específico de energia potencial, como o $10^{-7}J$, se o valor de referência da energia potencial for conhecido.

Quando a energia potencial é associada a apenas uma partícula do sistema, costuma-se dizer que um trabalho foi realizado pelo campo elétrico sobre a partícula. Isso significa que o trabalho foi realizado pela força produzida pelas cargas responsáveis pelo campo elétrico. (HALLIDAY E RESNICK, 2008).

É adotado como referência um ponto muito distante de Q , a carga q tem energia potencial positiva, pois a força elétrica vai realizando trabalho positivo se a carga q se afastar de Q .

Se duas cargas (Q e q) forem negativas, a energia potencial de q , quando estiver próxima de Q , também será positiva, pois elas estarão se repelindo.

No caso das cargas de sinais opostos. Supondo que a carga Q seja positiva e q , negativa, para levar q até o ponto de referência, isto é, até um ponto muito distante, é preciso aplicar uma força em q , pois a força elétrica é de atração. Como a força \vec{F} tem sentido oposto ao deslocamento, a força elétrica realiza trabalho negativo durante o deslocamento. Isso significa que a energia potencial da carga q é negativa num ponto próximo de Q .

Segundo Chiqueto (1996), se uma carga está próxima de outra de mesmo sinal, ela tem energia potencial positiva, conseqüentemente se uma carga está próxima de outra de sinal oposto, ela tem energia potencial negativa.

Pode-se demonstrar que a energia potencial de um sistema de duas cargas puntiformes é diretamente proporcional a cada uma das cargas e inversamente proporcional à distância entre elas.

Assim, para duas cargas Q e q , a uma distância r uma da outra, a energia potencial é representada pela expressão:

$$E_p = k \frac{Q \cdot q}{r} \quad \text{Eq. 6}$$

A constante k é a mesma utilizada na Lei de Coulomb.

Nessa expressão, se utilizarmos as cargas com seus respectivos sinais, a energia potencial será obtida com seu sinal correto: se as cargas tiverem sinais opostos, o produto $Q \cdot q$ será negativo, se elas tiverem o mesmo sinal, esse produto será positivo.

4.1 TRABALHO DA FORÇA ELÉTRICA E VARIAÇÃO DE ENERGIA POTENCIAL

Imaginaremos que a carga q se desloca de um ponto sua energia potencial E_{p1} até outro ponto onde sua energia potencial é E_{p2} .

Como a energia potencial é a capacidade de a força elétrica realizar trabalho, é dito que o trabalho da força elétrica nesse deslocamento corresponde à diminuição da energia potencial, ou seja, igual a diferença entre as energias potenciais inicial e final, conforme Figura 15.

Como o trabalho realizado pelas forças elétricas tem sinal contrário ao do trabalho externo, e como a variação da energia potencial elétrica tem sinal oposto ao do trabalho realizado pelas forças elétricas, há uma compensação de sinais. De modo que esta afirmação realça o fato de que o potencial elétrico está associado a energia potencial elétrica, a qual, por sua vez, só pode ser definida em virtude do fato de que a força é conservativa. O trabalho externo é produzido por alguma força que não é conservativa, de forma que não podemos associar uma energia potencial a essa força. Assim nos parece ser fisicamente mais coerente, principalmente com o conceito de força eletromotriz. (MACHADO, 1997)

$$\tau = E_{p1} - E_{p2} \quad \text{eq 7}$$

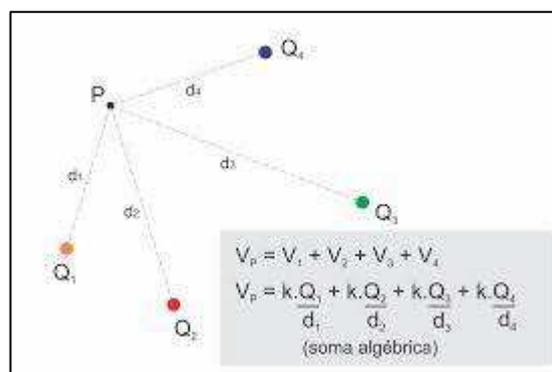


Figura 15. Soma algébrica dos potenciais gerados por várias cargas. (Fonte: Google imagens).

4.2 TRABALHO E ENERGIA POTENCIAL NUM CIRCUITO ELÉTRICO

Será observado como se aplicam conceitos de trabalho da força elétrica e energia potencial em um circuito elétrico.

Deve-se imaginar um elétron deslocando-se por um fio do polo negativo para o pólo positivo de um gerador a ele conectado. Os pólos do gerador são regiões de concentração de cargas positivas e negativas. Um elétron, estando no pólo negativo, está próximo de uma grande quantidade de cargas de sinais de mesmo sinal que ele.

Assim, ele tem energia potencial positiva. À medida que o elétron se desloca pelo fio, afastando-se pelo pólo negativo, a força elétrica realiza trabalho positivo e a energia potencial elétrica diminui. No pólo positivo, a situação do elétron é inversa a inicial. Aí ela está próximo a uma grande quantidade de carga de sinal oposto e sua energia potencial é negativa.

Como exemplo deve-se imaginar que a energia potencial inicial do elétron, no polo negativo, é igual a +1 e que a energia potencial final, no pólo positivo, é igual a -1. O trabalho da força elétrica nesse deslocamento é:

$$\tau = E_{p1} - E_{p2}$$

$$\tau = 1 - (-1)$$

$$\tau = +2$$

De fato, o trabalho da força elétrica é positivo quando o elétron se desloca pelo fio. No entanto, esse trabalho não se transforma integralmente em energia cinética do elétron, pois há outras forças aplicadas nele que o impedem de ser acelerado. O trabalho acaba sendo dissipado no fio por efeito Joule, ou seja, acaba se transferindo para as moléculas do fio, aumentando a energia cinética delas.

4.3 POTENCIAL ELÉTRICO

Com relação a um campo elétrico, é importante observar que há uma capacidade de realizar trabalho, associada ao campo em si, independentemente do valor da carga q colocada num ponto desse campo. Para medir essa capacidade, utiliza-se a grandeza potencial elétrico.

Para obter o potencial elétrico de um ponto, coloca-se nele uma carga de prova q e mede-se a energia potencial adquirida por ela. Essa energia potencial é proporcional ao valor

da carga q . Portanto, o quociente entre a energia potencial e a carga é constante. Esse quociente, que depende do ponto considerado, chama-se potencial elétrico do ponto.

Sendo E_p a energia potencial da carga q no ponto P, o potencial elétrico do ponto P é:

$$V = \frac{E_p}{q} \quad \text{Eq. 8}$$

O potencial elétrico é uma grandeza escalar.

No SI, o potencial elétrico é medido em volt (V).

Para calcular o potencial elétrico num ponto próximo a uma carga puntiforme devemos colocar nesse ponto uma carga de prova q .

Sabemos que a energia potencial adquirida pela carga q é $E_p = k \frac{Q \cdot q}{r}$. Portanto, o potencial do ponto P será:

$$V = \frac{E_p}{q} \rightarrow V = k \frac{Q}{r} \quad \text{Eq. 9}$$

O potencial elétrico produzido por uma carga puntiforme num determinado ponto é proporcional à carga e inversamente proporcional à distância da carga até o ponto. Cargas positivas produzem potencial positivo e cargas negativas produzem potencial negativo. (CHIQUETTO, 1996).

Para obter o potencial elétrico devido a um conjunto de cargas puntiformes num ponto P, é preciso calcular separadamente o potencial elétrico produzido por cada uma e depois somá-los.

4.4 RELAÇÃO ENTRE O VETOR CAMPO E O POTENCIAL ELÉTRICO

O vetor campo elétrico \vec{E} e o potencial elétrico V são duas formas diferentes de descrever a mesma coisa: o campo elétrico. A diferença entre as duas é que a primeira é vetorial e a segunda é escalar.

É sabido que conhecendo os vetores de \vec{E} , é possível saber como varia o potencial elétrico nos pontos do campo e conhecendo a distribuição do potencial elétrico, é possível desenhar os vetores de \vec{E} . Entretanto, Halliday *et al.*, (2008) complementa que o potencial elétrico é uma propriedade do campo elétrico, que não depende da presença de um corpo carregado; é medido em volts (joules por coulomb).

Partindo de um campo representado pelas linhas de força de um vetor \vec{E} .

É sabido que, em cada ponto, o vetor \vec{E} tem o mesmo sentido que a linha de força e direção tangente a ela. Além disso, o módulo do vetor \vec{E} é proporcional a concentração das linhas, isto é, onde as linhas estiverem mais concentradas, o vetor \vec{E} tem módulo maior, conforme Figura 16.

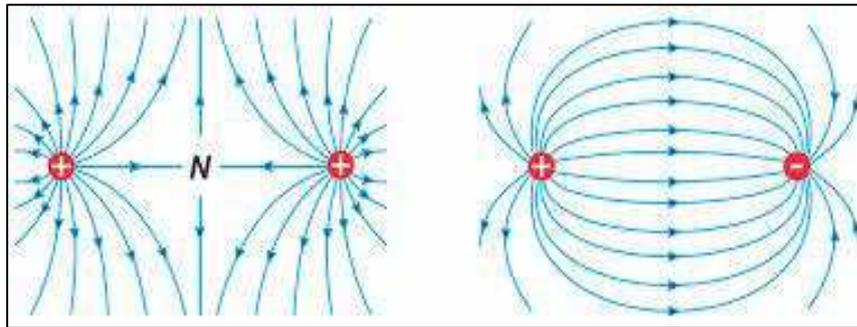


Figura 16. Representação algébrica da intensidade do campo elétrico. (Fonte: Google imagens).

Para estudar o potencial elétrico nesse campo, deve-se imaginar a carga de prova deslocando-se, de forma que a força elétrica realize trabalho. Como exemplo, é tomada uma carga de prova positiva. Inicialmente, se a carga for colocada na mesma direção e sentido que a linha de força.

Nesse caso, caso a força elétrica tem o mesmo sentido que o deslocamento, o trabalho realizado por ela é positivo. Isso significa que, nesse deslocamento, a energia potencial está diminuindo, ou seja, o produto $q \cdot V_a$ é maior que $q \cdot V_b$.

Como a carga q é positiva, concluímos que V_a é maior que V_b .

De acordo com Chiquetto (1996), percorrendo uma linha de força no mesmo sentido que ela, o potencial diminui.

Deve-se imaginar o deslocamento de uma carga por uma linha normal às linhas de força, o trabalho realizado será nulo. Isso significa que não há diferença de potencial entre os pontos não equidistantes da carga Q . O potencial dos pontos equidistantes da carga Q tem o mesmo valor.

Chiquetto (1996), afirma que, percorrendo uma linha normal às linhas de força, o potencial elétrico é constante, conforme figura 17.

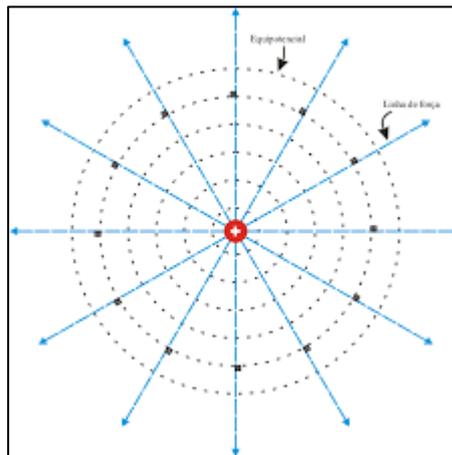


Figura 17. Potencial elétrico constante. (Fonte: Google imagens).

Se for traçada uma linha normal às linhas de força, passando pelo ponto A, todos os seus pontos terão potencial V_a . Dessa mesma forma, podemos obter todos os pontos que tem potencial V_b .

As linhas construídas dessa forma chamam-se linhas equipotenciais, pois em cada uma delas o potencial elétrico é constante.

De fato, o campo elétrico ocupa o espaço de três dimensões. Por isso, os pontos de potencial V_a não estão numa única linha, mas sim numa superfície que é normal às linhas de força do campo. Da mesma forma, os pontos de potencial V_b estão em outra superfície. Essas superfícies são chamadas de superfícies equipotenciais, conforme Figura 18.



Figura 18. Linhas de força sobre uma superfície equipotencial. (Fonte: Google imagens).

Num campo elétrico qualquer, cada valor de potencial corresponde a uma superfície equipotencial. Da mesma forma que se pode apresentar graficamente o campo por

meio de um conjunto de linhas de força, pode-se também representá-lo por um conjunto de superfícies equipotenciais.

Em qualquer campo elétrico são respeitadas as propriedades onde falam que as superfícies equipotenciais são normais as linhas de força e percorrendo uma linha de força no mesmo sentido que ela, o potencial diminui. Acrescentando ainda, as linhas de força do campo elétrico não são curvas fechadas, isto é, nunca voltam ao mesmo ponto.

Essas propriedades nos levam a uma compreensão mais profunda do significado do vetor campo elétrico. Ele é um vetor que indica, em cada ponto, qual é a direção e o sentido para onde o potencial diminui mais.

O vetor campo elétrico é, portanto, um indicador de diferença de potencial do espaço. Se não há diferença de potencial numa certa região, o vetor campo elétrico é nulo.

5 GERADOR DE VAN DE GRAAFF

Diversas máquinas construídas durante o século XVIII faziam sucesso nos salões e utilizavam o atrito para realizar transferência de cargas elétricas. Ou seja, através do atrito pode-se transferir uma grande quantidade de cargas elétricas de um objeto a outro.

Um aparelho utilizado para fazer esta demonstração é o Gerador de Van de Graaff. Este instrumento foi imaginado originalmente em 1780 por Lorde Kelvin (William Thompson, 1824), entretanto, apenas em 1929 o físico norte-americano Robert Jeminson Van de Graaff (1901-1967) demonstrou o primeiro modelo desse aparelho, conforme Figura 19.

O aparelho era bastante simples e usava como correia de transporte de cargas uma fita de seda. Em 1931, voltando a trabalhar no MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts), ele construiu um exemplar que podia produzir 10 milhões de Volts.

Nas escolas, este aparelho é destinado ao estudo experimental da eletrostática. Um motor movimenta uma correia isolante que passa por duas polias, uma delas acionada por um motor elétrico que faz a correia se movimentar. A segunda polia encontra-se dentro da esfera metálica oca. Através de pontas metálicas a correia recebe carga elétrica de um gerador de alta tensão. Ou seja, no gerador de Van de Graaff, uma correia de borracha gira entre duas polias, acionada por um motor ou por uma manivela. Ao mover-se, atrita-se com uma flanela e eletriza-se positivamente a esfera externa.



Figura 19. Van de Graaff demonstrando o seu experimento em 1929. (Fonte: Google imagens).

Como o processo é contínuo, pode-se acumular muita carga na esfera do gerador, obtendo-se uma tensão muito alta entre a esfera do gerador e a Terra. Quando um material condutor de eletricidade é eletrizado, as cargas repelem-se entre si distribuindo-se sobre todo o objeto e o mais distante possível uma das outras.

Já um material como a borracha, que é um isolante elétrico (ou dielétrico), retém as cargas elétricas da superfície onde foram eletrizadas. Na esfera do gerador, as cargas ficam na superfície externa porque é a posição em que estão mais afastadas uma das outras.

Se a esfera do gerador deixar de ceder novas cargas negativas, a disposição das cargas excedentes positivas será tal que a distância média entre elas ficará a maior possível. Nesta situação, é afirmado que a esfera está em equilíbrio eletrostático.

Caso novos elétrons sejam retirados da esfera, o equilíbrio eletrostático se desfaz, as cargas se redistribuem e a esfera atinge uma nova situação de equilíbrio eletrostático.

As experiências envolvendo potenciais elétricos precisam de uma quantidade grande de cargas elétrica, muito maior do que as que são obtidas mediante processos de eletrização por atritos de pente ou bastões, por exemplo.

Dois corpos constituídos de materiais diferentes podem ser carregados eletricamente por meio do atrito entre eles. Isso ocorre porque durante o atrito entre dois materiais diferentes os elétrons se transferem de um corpo para outro de modo que, ao cessar o contato entre eles, um apresenta-se com excesso de elétrons e o outro com falta de elétrons. Dizemos que o corpo que se apresenta com excesso de elétrons fica carregado negativamente enquanto o outro, com falta de elétrons, fica carregado positivamente (HEWITT, 2002).

Um pequeno condutor com carga positiva q é colocado internamente na cavidade de um grande condutor. Na condição de equilíbrio, o campo elétrico é nulo no interior do material de ambos condutores. As linhas de campo elétrico que saem da carga positiva q devem terminar na superfície interna do condutor maior.

Seja qual for a carga do condutor maior, o condutor menor, colocado no interior da cavidade, está sujeito a um potencial maior, uma vez que as linhas de campo elétrico estão orientadas desse condutor para o condutor maior. Se os condutores forem conectados agora através de um fio condutor fino, toda carga originalmente no condutor menor será transferida para o condutor maior.

Quando essa conexão for interrompida, não haverá mais carga no condutor menor posicionado no interior da cavidade, e não haverá mais linhas de campo entre os condutores. A carga positiva transferida do condutor menor estará totalmente na superfície externa do condutor maior.

Se mais carga positiva for colocada no condutor menor da cavidade e novamente os condutores forem conectados com um fio fino toda carga do condutor interno fluirá novamente para o condutor externo. O processo pode ser repetido indefinidamente. Esse método é utilizado para produzir grandes potenciais pelo dispositivo conhecido como Gerador de van de Graaff.

O funcionamento do Gerador de Van de Graaff consiste no movimento da correia que em contato com o rolete inferior, o deixa carregado positivamente. (A superfície inferior da correia adquire uma carga negativa idêntica que é distribuída sobre uma área maior). A concentração de carga positiva no rolete atrai elétrons para as extremidades no pente inferior, onde ocorre a ruptura dielétrica, e a carga negativa é transportada para a correia através da descarga pelo efeito corona. No rolete superior, a correia carregada negativamente repele os elétrons das extremidades do pente, e a carga negativa é transferida da correia para o pente. A carga é então transferida para a superfície externa do condutor esférico oco. (TIPLER, 2000).

Conforme comentado o Gerador de Van de Graaff é um dispositivo ideal para essa captação de cargas elétricas e, que além de conseguir acumular uma grande quantidade de cargas elétricas consegue gerar potenciais elétricos elevados.

Maiores detalhes do Gerador van de Graff pode ser observado na Figura 20.

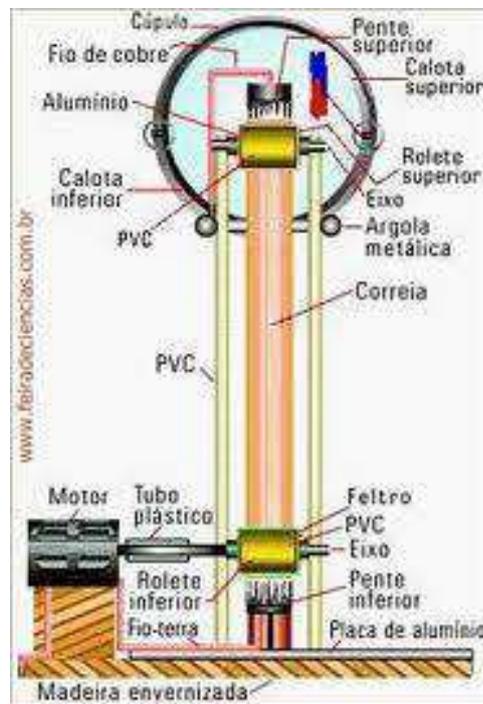


Figura 20. Detalhes do Gerador de Van de Graaff. (Fonte: Google imagens).

O fato da carga elétrica se transferir integralmente de um corpo para outro, quando há contato interno, constitui o princípio básico de funcionamento do gerador de Van de Graaff. Nestas condições, como falado anteriormente, é possível obter voltagens de até 10 milhões de volts. Podendo ser observado que a voltagem obtida no aparelho é cerca de mil vezes maior do que a voltagem fornecida pela fonte que alimenta a correia do gerador.

Versões pequenas do gerador são frequentemente vistas em demonstrações sobre eletricidade, produzindo o efeito de arrepiar os cabelos de quem tocar na cúpula, isolado da terra, pois o cabelo fica eletrizado com cargas da mesma polaridade, que conseqüentemente se repelem.

Geradores de Van de Graaff de grande porte podem produzir diferenças de potencial da ordem de milhões de volts. Em pesquisas na área da Física, eles são utilizados em especial para acelerar partículas eletrizadas, elevando consideravelmente sua energia. Após processo de aceleração, essas partículas são aproveitadas em várias experiências de bombardeamento de átomos, e os resultados obtidos são usados pelos físicos para desvendar os mistérios da Física Nuclear.

6 MONTAGEM E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Este capítulo trata da montagem e dos procedimentos adotados para realização dos experimentos com o Gerador de Van de Graaff. Este instrumento utilizado para esta análise foi confeccionado com materiais artesanais e de fácil acesso. Inicialmente serão mostrados todos os materiais utilizados e posteriormente serão mostrados os resultados obtidos.

6.1 ACESSÓRIOS DO GERADOR DE VAN DE GRAAFF

A partir de conhecimentos básicos da física e da mecânica é possível construir um Gerador Van de Graaff experimental de baixo custo com o uso peças e acessórios de fácil acesso ou fácil confecção.

Os principais componentes utilizados para a confecção do experimento foi: Motor de liquidificador; correia, cubo de bicicleta, escova de metal, duas cubas (bacias); rolamento, cano de PVC, Fios condutores, roletes e outros acessórios.

O motor escolhido foi de um usado em liquidificador (conforme Figura 21) entre 1/2 a 1/10 de CV, o suficiente para girar a correia. A escolha deste motor também se deu por ter uma rotação desejável, ou seja, acima de 1.000 rpm. A rotação do motor define a rapidez com que o gerador se carrega. É importante comentar que a velocidade não se aplica à quantidade de carga gerada no gerador, ou seja, um motor de 10 mil rpm vai ter a mesma carga que um de 1.000 rpm, a diferença é o tempo para ele eletrizar o gerador ao máximo depois de uma descarga.



Figura 21. Motor de Liquidificador

A correia usada foi uma tira de borracha fina, onde foi cortada e colada. A correia utilizada nesse projeto foi retirada de um cinto de nylon vermelho. De acordo com a figura 22. Pode-se utilizar qualquer material isolante para ser feito como correia sendo o melhor material a borracha. Não é recomendável o uso correias pretas e grossas; pretas porque normalmente borracha preta contém carbono e essas correias em altas voltagens se tornam condutora; e grossa porque quanto mais grossa mais difícil é a transferência de energia. A largura da correia deve ser a mais próxima possível daquela do cilindro para garantir que a escova "revista" a correia e não perca carga para o cilindro.



Figura 22. Cinto vermelho para fazer a correia

No cilindro superior foi usado um cubo de bicicleta, conforme figura 23.



Figura 23. Cubo de bicicleta

Já no cilindro inferior foi usado um eixo de um cubo de bicicleta, de acordo com a Figura 24.



Figura 24. Eixo de um cubo de bicicleta.

Para melhorar o movimento do eixo inferior foram utilizados dois rolamentos que foram fixados no cano de PVC junto com o eixo citado, conforme Figura 25.



Figura 25. Rolamentos

A escova foi feita de latas de metal. Quanto menores e mais afiadas forem as pontas da escova, melhor será seu desempenho. Pode-se variar a distância entre as escovas e os cilindros de acordo com a Figura 26.



Figura 26. Escovas feitas através de latinhas de metal.

A esfera é constituída por duas tigelas de material inox. Uma destas é furada para o encaixe do cano de PVC que se liga à base. Detalhes é mostrada na Figura 27.



Figura 27. Tigelas de salada de inox

Para ligar a base do gerador (que fica localizada na parte superior) até a esfera foi utilizado um tubo de PVC, conforme Figura 28. Para a base do gerador foi utilizada um pedaço de madeira 40x40 cm. E, para fazer a fixação do cano de PVC na base de madeira foram utilizadas cantoneira de 60 mm



Figura 28. Cano de PVC

Para a ligação entre as escovas de metal e a esfera, ou seja, para que haja a transferência de carga da correia para a esfera de metal foram utilizados fios condutores de acordo com a Figura 29.

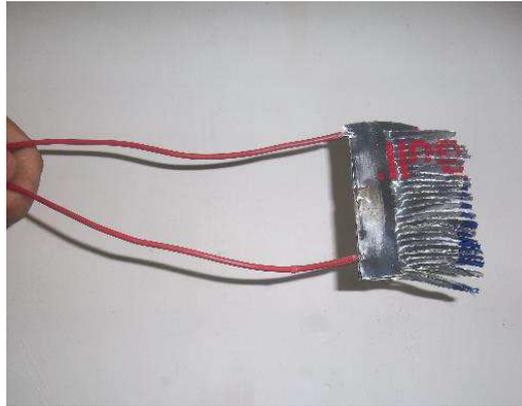


Figura 29. Fios condutores conectados a escova de metal

6.2 MONTAGEM DO GERADOR DE VAN DE GRAAFF

Com a confecção e aprontamento dos acessórios deu-se início à montagem do gerador. Primeiramente foi conectado o motor na base, de acordo com a Figura 30. Foi feito um suporte protetor para o botão de ligar e desligar.

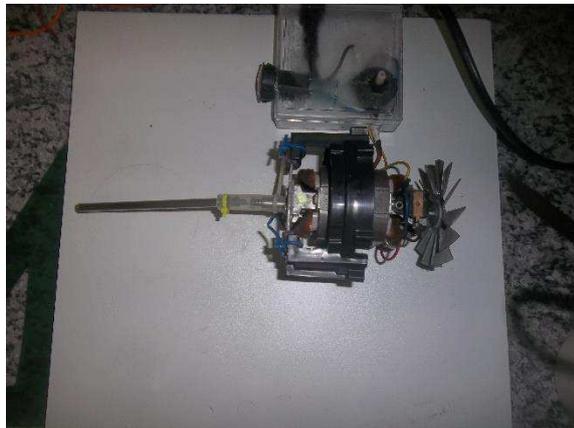


Figura 30. Motor acoplado na base

Em seguida foram colocados os roletes superior e inferior no cano de PVC juntamente com a tigela furada, o objetivo desse furo é conectar a tigela ao cano, conforme Figura 31.



Figura 31. Conjunto: Roletes superior e inferior, cano de PVC e tigela

Depois de fixado os roletes no cano de PVC, este foi anexado a base, sua fixação foi feita com as cantoneiras, de acordo com a figura 32.

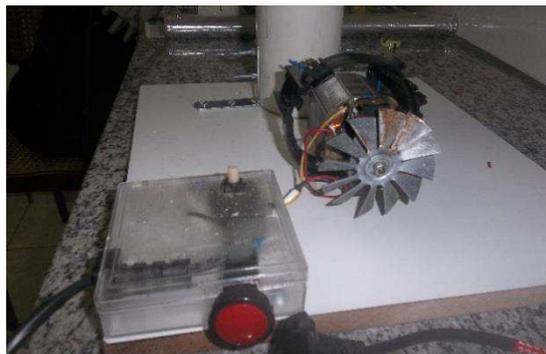


Figura 32. Fixação do cano de PVC na base.

Logo após a fixação do cano de PVC na base foi colocada a correia, com as escovas de metal no gerador, de acordo com a figura 33. É importante observar que a correia não pode ter folgas dentro do gerador, pois isto inibe a geração de cargas.

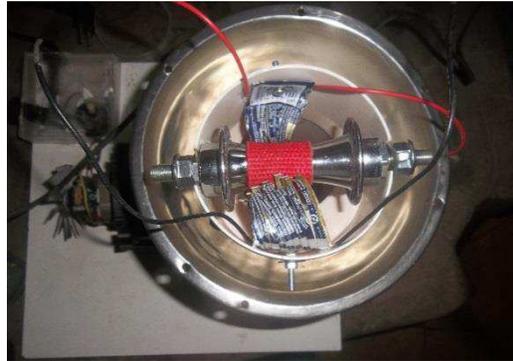


Figura 33. Correia e as escovas de metal no gerador de Van de Graaff

E por fim foi colocada a outra tigela de metal sobre a tigela acoplada no cano de PVC. Conforme mostra a Figura 34 a tigela colocada na parte superior está com uma aleta pontiaguda de metal que servirá como acessório para a aproximação da chama e observância do fenômeno que se deseja analisar.



Figura 34. Tigela de metal na parte superior do gerador de Van de Graaff

Após a montagem e ajustes dos detalhes chegou-se ao protótipo final do Gerador Van de Graaff desejado, conforme mostra a figura 35.



Figura 35. Gerador de Van de Graaff confeccionado.

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme já descrito, pretende-se analisar a influência do campo elétrico numa chama quando o Gerador se aproxima desta. Ou seja, serão observados e analisados os fatores que influenciam a supressão da chama e o que determina este fenômeno.

A execução do experimento ocorreu de três formas: **a)** o Gerador ligado *sem* aleta pontiaguda e com a vela acesa; **b)** o Gerador energizado *com* a aleta pontiaguda e com a vela acesa; e, **c)** O Gerador energizado com a chama dentro de um recipiente. A distância entre a vela acesa e a seção pontiaguda era de 5 cm. Para não ter influência de fatores externos, o ambiente do experimento deu-se em local sem refrigeração e correntes de ar natural. As Figuras 36 a 38 mostram a montagem para as três condições acima citadas.



Figura 36. Gerador (sem aleta pontiagudo) próximo à vela.

A Figura 36 mostra o Gerador ligado (energizado) sem aleta e com a vela acesa. Aqui foi observado que após uns 5 segundos a chama começou a diminuir no seu tamanho, mas não se extinguiu. Neste caso particular isto pode ter ocorrido devido a dispersão das cargas no espaço. Ou seja, apesar de o Gerador ter criado altas tensões e devido à falta de um aleta pontiagudo, não foi capaz de apagar a chama da vela por meio da propriedade eletrostática conhecida como poder das pontas que consiste em concentrar o maior número de cargas elétricas em uma superfície pontiaguda quando esta se encontra eletrizada fazendo com que o ar próximo a ponta fique com cargas de mesmo sinal e assim o repelindo criando uma espécie de vento elétrico. Mesmo assim já é possível observar que o campo elétrico influenciou no comportamento da chama.

Logo após essa verificação, foi acoplada no Gerador a aleta pontiaguda metálica, conforme Figura 37a, e foram feitos novamente os experimentos relacionados a extinção da chama da vela.



Figura 37. Gerador com a aleta e próximo à vela

Nesta condição foi verificado que quando o Gerador teve a ponta da aleta direcionada para a chama da vela, ela diminuiu o seu tamanho chegando à extinção, confirmando que a maior concentração de cargas elétricas na ponta do aleta influenciou de forma positiva na extinção da chama. (Figura 37b).

Na tentativa de realizar a extinção da chama a vela com um tempo menor foi colocada dentro de um recipiente (um cubo) aberto somente em um dos lados. O objetivo é fazer com que as cargas elétricas tenham uma concentração maior (ver figura 38).



Figura 38. Gerador de Van de Graaff com a vela no recipiente.

Desta forma, a ponta metálica existente no globo fez com que as cargas elétricas tendem a escapar quebrando assim a resistência do ar. Também nessa ponta o ar próximo assume a mesma carga por contato e tende a se repelir criando uma massa de convecção, um vento, capaz de apagar a chama pela retirada dos gases combustíveis, vapores de parafina.

Foi observado que a extinção da chama ocorreu logo após a introdução dessa cobertura sob a vela e que o tempo de extinção da chama foi de aproximadamente 10 segundos.

De modo geral, foi verificado que o gerador de Van de Graaff adaptado conseguiu gerar grande quantidade de cargas elétricas, criando tensões satisfatórias para com os resultados esperados.

7 CONCLUSÃO

O presente trabalho experimental teve o objetivo de verificar a extinção da chama de uma vela por meio de um Gerador de Van de Graaff adaptado para atividade. A montagem permite que através dele seja criado um campo elétrico, que por sua vez com a aproximação do campo elétrico da chama esta seja reduzida ou até mesmo suprimida. Neste caso, foi confeccionado um modelo adaptado deste Gerador e foram feitos testes experimentais para verificação deste fenômeno.

Inicialmente foi feito um estudo sobre o Gerador Van de Graaff e suas particularidades. Em seguida foi confeccionado um Gerador adaptando neste uma aleta pontiaguda para direcionar o campo elétrico à chama. O experimento completo foi confeccionado a partir de material de fácil acesso e baixo custo. Posteriormente definiram-se os procedimentos da metodologia experimental para observar o fenômeno que se previa acontecer.

Vale comentar aqui que não foi aplicado simplesmente um projeto pronto e nem tampouco utilizado materiais profissionais próprios para o fim. O que aconteceu foi que a curiosidade mais uma vez se tornou uma peça fundamental para novas descobertas. Ocorreu também a busca de conhecimentos em outras áreas de estudo, onde o interesse pelo conhecimento foi exitoso com informações de profissionais capacitados que puderam enriquecer ainda mais este trabalho e proporcionando ao Corpo de Bombeiros Militar o interesse pela pesquisa.

De modo geral pode-se concluir que:

- a) Foi verificado o campo elétrico a partir deste Gerador de Van de Graaff adaptado pode, em determinadas condições, fazer a extinção da chama de uma vela através de suas propriedades eletrostáticas;
- b) A ocorrência deste fenômeno possibilita um aprofundamento de estudo nesta área a fim de abranger um estudo na área de combate a incêndio;
- c) Embora os resultados sejam bem ínfimos desponta-se aqui a possibilidade de fazer a supressão de maiores volume de chama com a presença de campos elétricos, precisando assim, ampliar o campo de pesquisa para consolidar o entendimento deste fenômeno.

Ainda se pode comentar que embora este experimento seja relativamente simples precisa-se de profundo entendimento dos fatores (fenômenos físicos, químicos e eletrostáticos) que influenciam o comportamento desta observação.

Assim, seguem abaixo algumas recomendações para trabalhos futuros que podem ser exploradas na presente bancada experimental:

- ✓ Reproduzir o experimento desta configuração experimental aumentando o potencial elétrico do Gerador Van de Graaff;
- ✓ Comparar e avaliar os resultados obtidos usando diferentes tamanhos de chama e diferentes campos elétricos;
- ✓ Comparar a supressão da chama variando a distância da chama ao campo elétrico;
- ✓ Verificar a supressão da chama utilizando chama produzido por combustíveis diversos;
- ✓ Analisar a relação da concentração de emissão dos gases poluentes com a presença de um campo elétrico em diversas condições de operação;
- ✓ Avaliar o campo de temperatura na a presença de um campo elétrico em diversas condições de operação.

Por fim, é certo que se fazem necessários muitos experimentos para se obter melhor entendimento deste fenômeno para a futura possibilidade de sua aplicação prática em maiores ou menores proporções. Sendo assim, apesar deste referido trabalho ser incipiente acredita-se que este experimento possa ser fonte de pesquisa para início deste ramo de pesquisa.

8 REFERENCIAS

ALONSO & FINN, **FÍSICA um curso universitário Campos e Ondas**, vol II, Ed. Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1972;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13860: **Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio**. Rio de Janeiro, 1997.

BRENTANO, T. – **Como elaborar um plano de proteção contra incêndio (PPCI)**. Apostila - (Curso de Extensão Universitária), Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, PUC/RS , Porto Alegre, RS , 2004.

CHIQUETO, Marcos; VALENTIN, Bárbara. **Aprendendo física**. 3^a Ed., São Paulo: Scipione, 1996;

GASPAR, Alberto. **Física: 1^a Ed., Vol. Único**. São Paulo: Ática, 2008;

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Física 3**. Rio de Janeiro: LTC, 2002;

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; KRANE, Kenneth. **Física.**, 5^a Ed., Vol. 3. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos S. A., 2008;

HEWITT, P. G. Física Conceitual, 9^a ed. Porto Alegre, Bookman, 2002;

LOPES, J.BERNARDINO, **Aprender e ensinar Física: Vol Único**. Fundação Calouste Gulbenkian. Março, 2004;

MACHADO, Kleber Daum, **Teoria do eletromagnetismo: Vol. 1**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 1997;

MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz: **Física: 1^a Ed., Vol. 3**. São Paulo: Scipione, 2000.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA 101A**. *Alternative approaches to life safety*. 2003 Edition.

PYNE, J. S.; ANDREWS, P. L.; LAVEN, R. D. *Introduction to wildland fire*. 2. ed. New York, NY: John Wiley & Sons, 1996.

SAMPAIO, José Luiz; CALÇADA, Caio Sérgio. **Física: ondulatória, eletromagnetismo e física moderna. 2ª Ed., Vol. 3**. São Paulo: Atual, 2005.

SEITO, A. I. (coord.), et. al. **A segurança contra Incêndio no Brasil**. Projeto Editora, São Paulo, 2008.

STECKEL, A. L. P. A. **Proposta de adequação da NBR 9077 para locais de reunião de público**. Universidade Federal de Santa Maria, Monografia de Especialização, UFSM, Santa Maria, 2004.

TIPLER, P. A **Física – Eletricidade e Magnetismo, Óptica**. Trad. MACEDO, H. e BIASI, R de. 4 ed., v. 2. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2000.

YOUNG, Hugh; FREEDMAN, Roger. **Física III: Eletromagnetismo**. São Paulo:Pearson, 2009.