

# Laboratórios de Física

---

Física Aplicada – Lic. Eng. Informática

## ***Superfícies equipotenciais e Campo Elétrico***

## Objetivos

Identificar o tipo de campo gerado neste trabalho.

Mapear as superfícies equipotenciais e calcular a diferença de potencial entre dois pontos.

Identificar o sentido das linhas de campo elétrico e relacionar o sentido do campo com o sentido da variação do potencial.

Determinar o módulo do campo elétrico na linha imaginária que une os elétrodos e representar o seu vetor no plano.

Representar e determinar a força elétrica que sentiria uma carga de prova num determinado ponto.

## Introdução Teórica

### Campo Elétrico

Cargas elétricas geram, no espaço em torno de si, um campo elétrico, cuja forma está relacionada com o valor dessas cargas e com a distribuição espacial das mesmas. Sabendo que o campo elétrico é uma grandeza vetorial, as suas linhas definem em cada ponto a direção e o sentido da força elétrica sobre uma carga positiva colocada nesse ponto. Esta carga *pode* ser real, mas a definição de *Campo Elétrico* supõe que tal carga é *positiva* ( $q_0$ ) e *hipotética*.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q_0} \quad (\text{Eq.1})$$

Desta forma, para desenhar as linhas do campo, vamos imaginar a direção e o sentido da força elétrica que age sobre esta carga imaginária, que chamaremos *carga de prova*.

A figura 1, mostra as linhas de campo elétrico para uma carga positiva e para uma carga negativa. O número de linhas é arbitrário, mas é proporcional ao valor da carga.

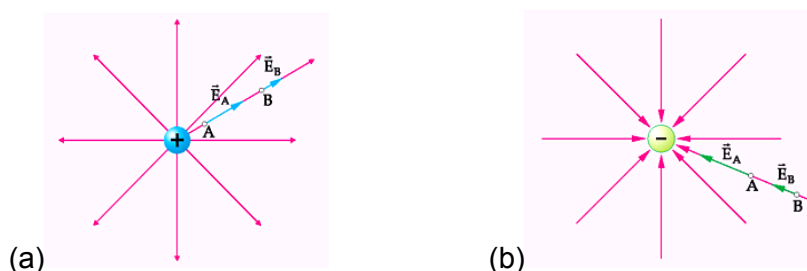


Figura 1 – Linhas de campo elétrico. (a) carga positiva; (b) carga negativa.

Pode-se observar que na carga positiva, as linhas de campo divergem. Na carga negativa as linhas de campo convergem. A seguir podemos ver o esquema do dipolo elétrico, Figura 2a, assim como uma fotografia das linhas do campo associado ao dipolo, Figura 2b, que se obteve através de suspensão de fragmentos de fibra num meio oleoso.

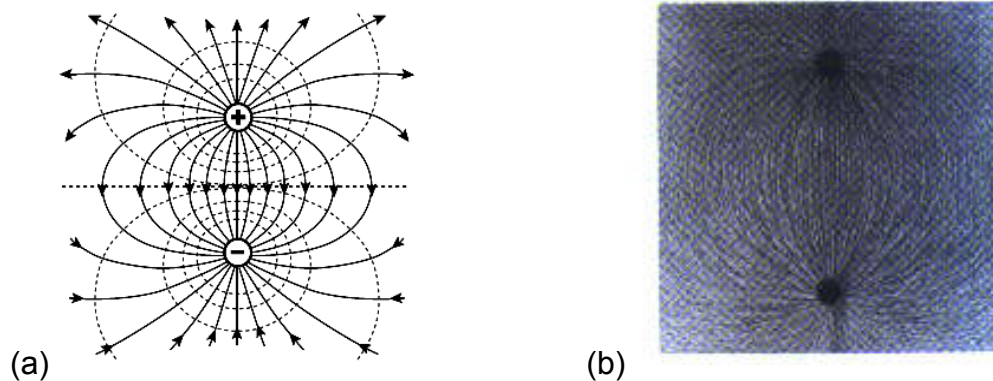


Figura 2 – a) dipolo elétrico com as linhas de campo; b) Linhas de campo num meio oleoso.

### Diferença de Potencial Elétrico

Quando uma carga positiva é transportada de um ponto A, para um ponto B, Figura 3, através do campo elétrico, é realizado trabalho sobre a carga.

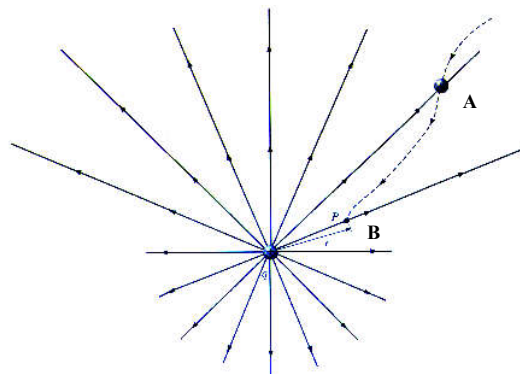


Figura 3 – Transporte de uma carga positiva do ponto A para o ponto B.

Definindo-se a diferença de potencial entre os pontos A e B,  $V_{AB}$ , como o trabalho realizado sobre a carga:

$$V_A - V_B = V_{AB} = \frac{W_{AB}}{q_0} \quad (\text{Eq. 2})$$

A unidade de *d.d.p.* (diferença de potencial) no SI é o volt: 1 volt = 1 joule / coulomb.

Denominamos *potencial elétrico*, como a diferença de potencial em relação a um dos pontos, tomado como referência (potencial zero).

O conjunto de pontos no espaço que tenham o mesmo valor de potencial elétrico, em relação à mesma referência chamamos *superfície equipotencial*.

### Relação entre Campo Elétrico e Potencial Elétrico

As linhas de campo elétrico são perpendiculares às superfícies equipotenciais. O sentido é contrário ao crescimento do potencial. Isto pode ser interpretado matematicamente como: o *campo elétrico é o gradiente da função potencial* e pode ser escrito como:

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V \quad (\text{Eq. 3})$$

Para uma simetria esférica, a equação pode assumir a forma:

$$\vec{E} = -\frac{dV}{dr} \hat{r} \quad (\text{Eq. 4})$$

Sendo que o gradiente é um vetor na direção da máxima variação de uma função. Ao longo de uma curva equipotencial temos  $dV = 0$ .

Assim, o potencial elétrico,  $V$ , pode ser encontrado integrando o campo elétrico desde um ponto inicial a um ponto final, ao longo de um percurso  $\mathbf{s}$ . Se o campo elétrico for paralelo a esse percurso (para cada elemento do percurso), isto é, se  $\vec{E} \parallel d\vec{s}$ , então

$$V_{if} = -\int_i^f E \cdot ds \quad (\text{Eq. 5})$$

e então a componente de  $E$  na direção de  $\mathbf{s}$  é dada por:

$$E_s = -\frac{dV}{ds} = -\left( \frac{V_f - V_i}{s_f - s_i} \right) \quad (\text{Eq. 6})$$

Na figura seguinte, Figura 4, mostra-se uma carga positiva, com as linhas de campo elétrico e, em corte, as superfícies esféricas, concêntricas, que são as superfícies equipotenciais. Quando uma carga se desloca sobre uma superfície equipotencial o trabalho realizado é nulo.

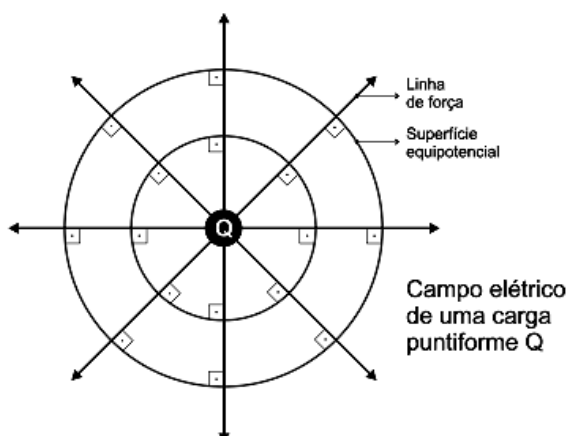


Figura 4 – Linhas das superfícies equipotenciais.

## Material Necessário

- 1 Tina de água;
- 1 Voltímetro;
- 1 Fonte de alimentação;
- 2 Eléktodos (cilíndrico e plano);
- 1 Ponta de prova;
- Fios de ligação.

## Procedimento

1 - Faça a montagem que se apresenta na figura seguinte, Figura 5, começando com a colocação dos dois eléctrodos a uma distância entre 15 a 17 cm entre si. Coloque os fios de ligação e o voltímetro, com a respetiva ponta de prova, conforme o esquema apresentado.

NOTA: No Anexo I, apresentam-se as principais funções de um multímetro e de uma fonte.

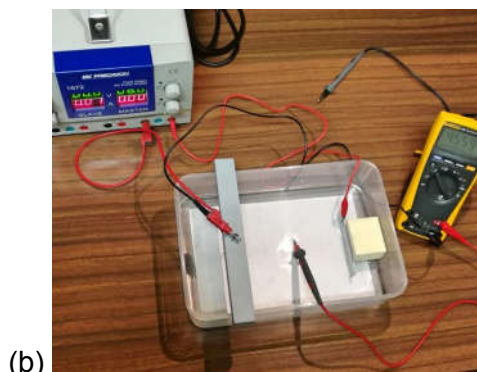
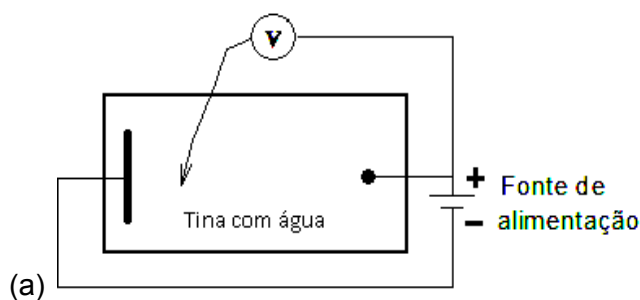


Figura 5 – (a) Esquema de montagem; (b) Montagem laboratorial.

2 – Regule a fonte de alimentação para 8,0 volt, e coloque o voltímetro a ler *d.d.p* (diferença de potencial) em C.C. (corrente contínua).

3 – Devido a presença de cargas eléctricas na tina de água é gerado um campo eléctrico. Para mapear as superfícies equipotenciais existe no fundo da tina com água uma folha de papel milimétrico. As linhas existentes servem de referência para marcar os conjuntos de pares de valores  $(x,y)$  com o mesmo potencial eléctrico.

4 - Mapear as curvas equipotenciais verificando a existência de linhas equipotenciais. Mantendo uma ponta fixa do voltímetro, ligada a um dos eléctrodos (pode ser o positivo da fonte), procure com a ponta de prova (**a entrar verticalmente na água**) as leituras do voltímetro que dão o mesmo valor de *d.d.p*.

5 – De acordo com o procedimento anterior, encontre pelo menos 10 pares de coordenadas  $(x,y)$  diferentes para o mesmo potencial.

Repita a operação para obter cinco linhas equipotenciais, distribuídas ao longo da distância (a menor distancia) que une os eléctrodos (duas mais próximas do eléctrodo cilíndrico e duas do eléctrodo plano e uma sensivelmente a meia distância entre os eléctrodos). Na Figura 6, temos um exemplo de possíveis secções de superfícies equipotenciais junto de um dos eléctrodos.

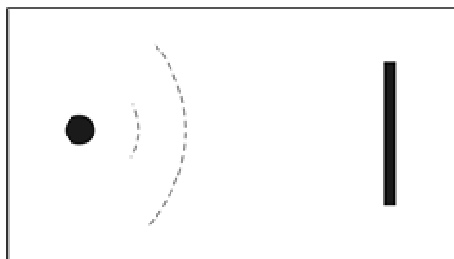


Figura 6 - Exemplo da marcação das linhas equipotenciais, resultantes das respetivas coordenadas.

6 – Para um ponto afastado 3 cm de um dos eletrodos, e na linha imaginária que une os eletrodos (menor distância) registre o valor do potencial e a coordenada  $(x,y)$  correspondente.

7 – Mantendo a distância escolhida no ponto 1 do procedimento (entre 15 a 17 cm) entre os eletrodos e tendo em consideração a linha imaginária que os une, na menor distância:

7.1 – faça o registo da *d.d.p.* existente, começando por exemplo, pelo eletrodo de menor potencial, de 2 em 2 cm, até atingir o outro eletrodo;

7.2 – faça o registo da *d.d.p.* existente junto do eletrodo cilíndrico até um afastamento de 4 cm, com leituras de 4 em 4 mm. Repita este procedimento para o eletrodo plano.

8 – Desligue os equipamentos, e retire os eletrodos da água e a ponta de prova ligada ao voltímetro da água.

### **Análise e tratamento de dados e QUESTÕES sobre a experiência**

- 1 Represente graficamente as coordenadas das linhas equipotenciais registadas no ponto 5. Identifique e coloque corretamente no mapa representado o sistema de eixos. Represente também a posição dos eletrodos no gráfico.
- 2 No gráfico obtido anteriormente, trace três linhas de força, que iniciem de um eletrodo para o outro, coloque o sentido.
- 3 Represente graficamente os valores obtidos no ponto 7. Relativos ao comportamento da *d.d.p.* da ponta de prova em função da distância ao eletrodo. Apresente todas as leituras no mesmo gráfico. Inclusive as que representam o comportamento do potencial elétrico nas zonas muito próximas dos eletrodos.
- 4 Das leituras efetuadas no ponto 6, determine o valor do campo elétrico dentro da tina de água, indicando a direção e sentido, graficamente.
- 5 Tendo por base os valores obtidos ainda no ponto 6, dos procedimentos, encontre a razão entre a força elétrica nesse ponto, e um ponto acima da linha de água, com as mesmas coordenadas, devido aos mesmos eletrodos, cujo meio neste caso será o ar.

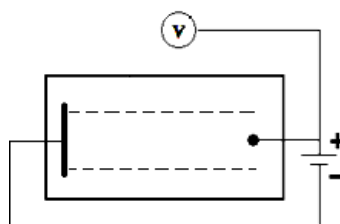
- 6 Determine qual é o trabalho realizado pelas forças elétricas representadas no gráfico obtido no ponto 2 (da análise e tratamento) sobre um eletrão, que parte do eletrodo negativo até atingir o eletrodo positivo?

**Nota 1** - Esta análise gráfica deve ser feita preferencialmente em suporte informático, recorrendo para isso ao *Microsoft Excel*.

**Nota 2** - Todas as grandezas físicas calculadas devem ser apresentadas com os algarismos significativos corretos, assim como, as suas unidades SI e ainda as incertezas absolutas e relativas das mesmas.

**Questão 1** – Como interpreta os resultados que obteve, no ponto 3 da análise e tratamento de dados, em função da forma da linha representativa dos valores. Se for mais fácil, divida a explicação do gráfico em zonas ou comportamentos. Como referência tem o gráfico com a representação de todos os pontos.

**Questão 2** – Explique como se comporta a força elétrica, ao longo de uma das linhas tracejadas que está representada no seguinte esquema (representativo da montagem experimental). Como referência pode usar o gráfico construído no ponto 1 da análise e tratamento de dados.



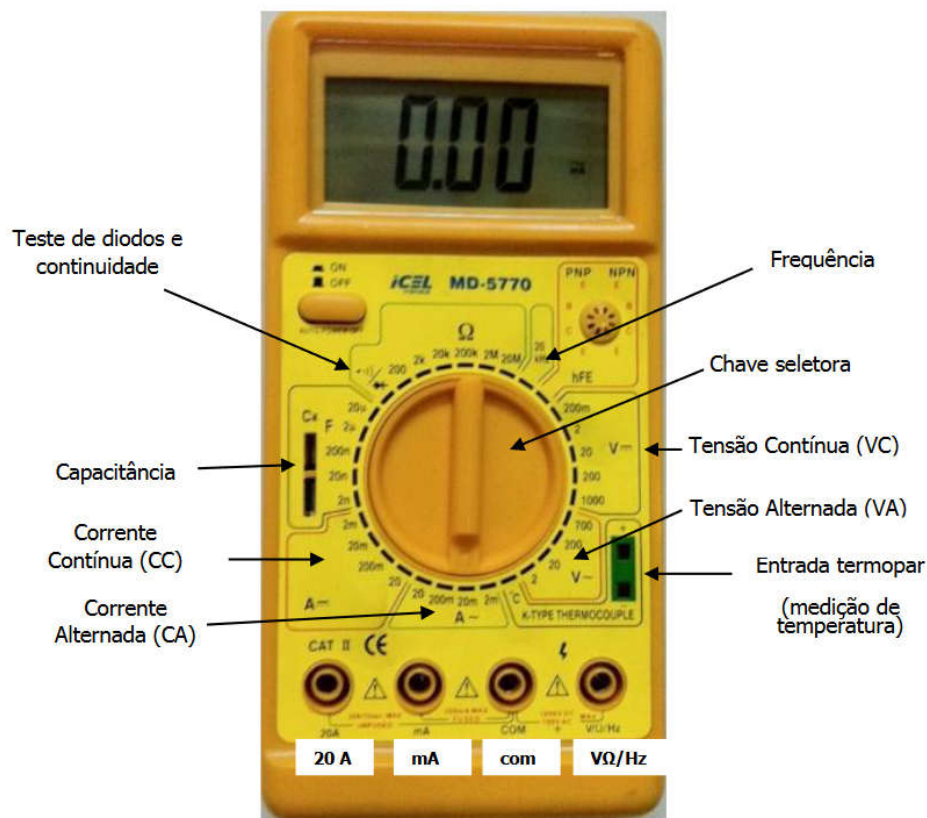
## **Bibliografia**

Edward M. Purcell, *Electricity and Magnetism*, Berkeley Physics Course, Vol.2, McGraw-Hill Book Company, 1965.

Feynman R.P., Leighton R.B., Sands M., *The Feynman Lectures on Physics*; vol.2, Addison-Wesley, 1964.



## Anexo I

Funções principais de um multímetroFonte de tensão em CC