

Capítulo

5

1 Introdução

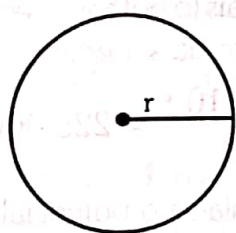
Capacidade de um condutor

A capacidade que um corpo condutor isolado tem de receber cargas elétricas é limitada e depende da sua dimensão, da sua forma e do meio que o envolve.

Define-se como *capacidade* ou *capacitância* de um condutor eletrizado e isolado de outros o quociente da sua carga armazenada Q pelo seu potencial V .

$$C = \frac{Q}{V}$$

Para um condutor esférico de raio r , isolado e no vácuo, temos:



$$V = k_0 \cdot \frac{Q}{r} ; \text{ como } C = \frac{Q}{V}, \text{ vem:}$$

$$C = \frac{Q}{k_0 \cdot \frac{Q}{r}} \therefore$$

$$C = \frac{r}{k_0}$$

A capacidade de um condutor esférico é diretamente proporcional ao seu raio.

A unidade de C no Sistema Internacional é o farad (F).

$$1 \text{ farad} = \frac{1 \text{ coulomb}}{1 \text{ volt}}$$

É usual o emprego dos submúltiplos:

$$1 \text{ microfarad} = 1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$$

$$1 \text{ nanofarad} = 1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$$

$$1 \text{ picofarad} = 1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

Problema de Aplicação

Calcular a capacidade de um condutor que possui carga de $2,0 \mu\text{C}$ e potencial 800 V .

Resolução:

$$\text{Dados } \begin{cases} Q = 2,0 \mu\text{C} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C} \\ V = 800 \text{ V} \end{cases}$$

$$C = \frac{Q}{V} \Rightarrow C = \frac{2 \cdot 10^{-6}}{800} \Rightarrow C = 2,5 \cdot 10^{-9} \text{ F ou } C = 2,5 \text{ nF}$$

Resposta: $2,5 \text{ nF}$

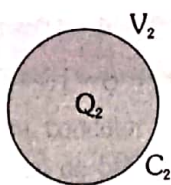
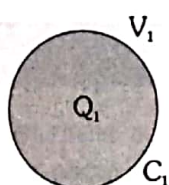
PROBLEMAS PROPOSTOS

773 Qual é a carga elétrica de um condutor de capacidade $2,0 \cdot 10^{-8} \text{ F}$ e potencial de 2000 V ?

774 Determine a capacidade de um condutor esférico, de raio 18 cm e localizado no vácuo.

2 Contato entre condutores eletrizados

Suponha dois condutores eletrizados com cargas Q_1 e Q_2 , isolados e com capacidades C_1 e C_2 , respectivamente. Sejam V_1 e V_2 os seus potenciais, com $V_1 \neq V_2$.



Colocando-os em contato, através de um fio de capacidade desprezível, as cargas se redistribuirão devido à diferença de potencial até que os condutores atinjam o equilíbrio eletrostático, cessando o movimento de cargas. Nessa condição, dizemos que os condutores atingiram o *mesmo potencial elétrico*.

Considerando o sistema eletricamente isolado, vale o princípio da conservação das cargas elétricas.

$$\text{Logo: } Q_1 + Q_2 = Q'_1 + Q'_2$$

$$C_1 V_1 + C_2 V_2 = C_1 V + C_2 V$$

$$V = \frac{C_1 V_1 + C_2 V_2}{C_1 + C_2}$$

ou

$$V = \frac{Q_1 + Q_2}{C_1 + C_2}$$

Estas expressões representam o potencial comum entre dois condutores postos em contato.

Problema de Aplicação

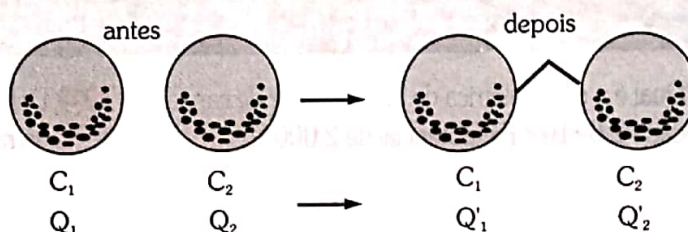
Dois condutores, de capacidades $C_1 = 3 \mu\text{F}$ e $C_2 = 2 \mu\text{F}$, estão eletrizados com cargas $Q_1 = 9 \mu\text{C}$ e $Q_2 = 1 \mu\text{C}$, respectivamente. Supondo-se que eles sejam ligados por um fio metálico, determinar:

- o potencial do equilíbrio;
- a nova carga de cada condutor.

Resolução:

$$\text{Dados} \begin{cases} Q_1 = 9 \mu\text{C} = 9 \cdot 10^{-6} \text{ C} \\ Q_2 = 1 \mu\text{C} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ C} \\ C_1 = 3 \mu\text{F} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C} \\ C_2 = 2 \mu\text{F} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C} \end{cases}$$

Esquema:



$$\text{a) } V_E = \frac{Q_1 + Q_2}{C_1 + C_2} = \frac{9 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 10^{-6}} = \frac{10 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-6}} = 2 \therefore V_E = 2 \text{ V}$$

$$\text{b) } Q'_1 = C_1 V_E = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 2 = 6 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$Q'_2 = C_2 V_E = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 2 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

Resposta: a) 2 V b) $Q'_1 = 6 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ e $Q'_2 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$

PROBLEMAS PROPOSTOS

775 Uma esfera metálica A tem 5 cm de raio e outra esfera metálica B tem 10 cm de raio. As duas esferas isoladas recebem a mesma carga, de $6 \cdot 10^{-9} \text{ C}$, e são imediatamente ligadas por um fio condutor fino e comprido. Determine, após o equilíbrio, as cargas das esferas A e B.

776 Dois condutores esféricos de raios $r_1 = 2 \text{ cm}$ e $r_2 = 3 \text{ cm}$, supostos isolados e solitários, estão eletrizados e com potenciais respectivamente iguais a $V_1 = 4,10 \text{ V}$ e $V_2 = 2,60 \text{ V}$. Ligam-se os dois condutores por um fio condutor de capacidade desprezível. Calcule o potencial de equilíbrio.

777 Dois condutores, A e B, têm raios $r_A = 2,0 \text{ cm}$ e $r_B = 6,0 \text{ cm}$. O condutor A está eletrizado com carga $Q = 8,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, enquanto B está neutro. Ligam-se os dois fios condutores por meio de um fio metálico de capacidade desprezível. Calcule as novas cargas de A e B, após o equilíbrio eletrostático.

778 Uma esfera condutora de raio $r_1 = 5 \text{ cm}$ está eletrizada com uma carga $Q = 2 \cdot 10^{-9} \text{ C}$.

Qual o potencial dessa esfera?

Qual o seu novo potencial após ter sido colocada em contato e depois separada de uma segunda esfera de raio $r_2 = 10 \text{ cm}$, inicialmente neutra?

Dado: $k_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$.

3 Energia potencial elétrica de um condutor

O trabalho realizado para carregar um condutor com uma carga Q sob potencial V não é perdido, mas fica armazenado no condutor sob a forma de energia denominada *energia potencial elétrica*.

Essa energia é dada por:

$$E_p = \frac{Q \cdot V}{2}$$

Podemos escrever a expressão da energia potencial da seguinte forma:

se $Q = CV \Rightarrow E_p = \frac{C \cdot V^2}{2}$

Problema de Aplicação

Calcular a energia potencial elétrica de um condutor com carga $5 \mu\text{C}$ e potencial 100 V .

Resolução:

Dados $\begin{cases} Q = 5 \mu\text{C} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ C} \\ V = 100 \text{ V} = 10^2 \text{ V} \end{cases}$

$$E_p = \frac{QV}{2} \Rightarrow E_p = \frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 10^2}{2} \Rightarrow E_p = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ J}$$

Resposta: $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ J}$

PROBLEMAS PROPOSTOS

779 Determine a carga de um condutor eletrizado que possui energia potencial de 500 J sob um potencial de 200 V .

780 Calcule a energia potencial elétrica de um condutor de capacidade 2 nF e carga $500 \mu\text{C}$.

781 Um condutor de $10 \mu\text{F}$ foi ligado a uma diferença de potencial de 50 V .

- Qual a carga do condutor?
- Qual a energia potencial armazenada?

Capítulo

6

Capacitores

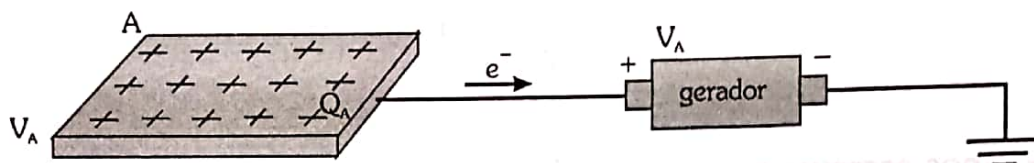
1 Introdução

Os condutores isolados, estudados anteriormente, não possuem grande capacidade de armazenar cargas elétricas, pois, mesmo com uma pequena carga, adquirem potenciais muito altos. Dessa forma, o campo elétrico também é alto e o condutor se descarrega com facilidade.

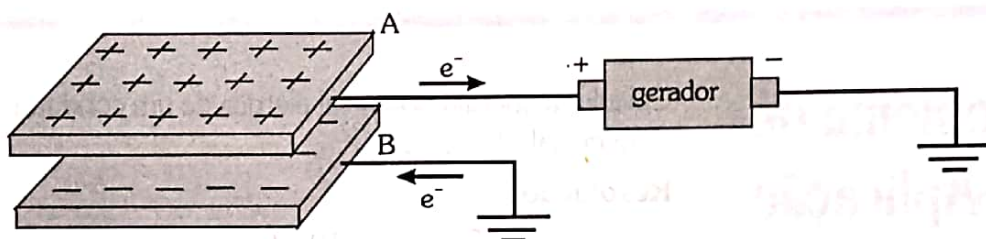
Nos circuitos elétricos e principalmente na eletrônica, há necessidade de utilizar dispositivos que possam armazenar grande quantidade de cargas elétricas para serem liberadas somente quando o circuito exigir. Consegue-se

esse objetivo utilizando-se *capacitores*, que consistem em condutores metálicos separados por um *dielétrico* (isolante), que são carregados eletricamente pelo processo de indução.

Suponha, por exemplo, uma placa metálica A, cujo máximo potencial que ela consegue suportar é V_A , devido à retirada de elétrons da placa pelo gerador. Nessa situação, a placa atingiu a carga Q_A , que é a sua capacidade-limite de carga.



Se, porém, aproximarmos do condutor A uma outra placa condutora B e a ligarmos à terra, começam a vir elétrons da terra para ela, devido à indução.



As cargas negativas fazem com que o potencial V_A da placa A diminua pelo fato de produzirem em A um potencial negativo $-V_B$.

$$V'_A = V_A + (-V_B)$$

Como surgiu uma nova diferença de potencial entre a placa A e o gerador ($V_A - V'_A$), este inicia a retirada de mais alguns elétrons, até que o condutor A retorne ao potencial de equilíbrio V_A .

Dessa forma, a placa A conseguiu armazenar maior quantidade de cargas, sem descarregar.

$$Q'_A > Q_A \quad \text{e} \quad V'_A < V_A$$

2 Definição

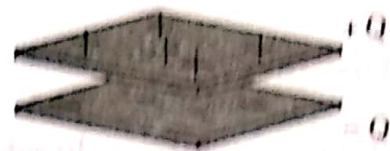
Denomina-se *condensador* ou *capacitor* o conjunto de condutores e dielétricos arrumados de tal maneira que se consiga armazenar a *máxima* quantidade de cargas elétricas.

Num capacitor o corpo indutor e o induzido recebem o nome de *armaduras*. O indutor é denominado *armadura coletora* e o induzido, *armadura condensadora*. O meio que separa as armaduras recebe o nome de *dielétrico*.

Simbolicamente, representa-se um capacitor pelos esquemas:

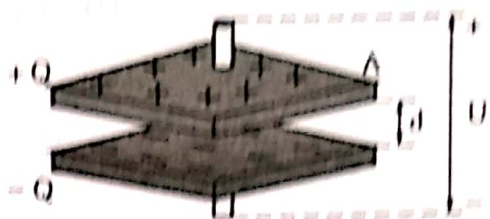


Diz-se que um capacitor está *carregado* quando as suas armaduras estão carregadas com cargas de mesmo módulo, porém de sinais contrários.



Capacitor de placas paralelas

É um capacitor formado por placas paralelas e próximas uma da outra, separadas por um dielétrico de permissividade ϵ .



Para um capacitor de placas paralelas valem as seguintes expressões:

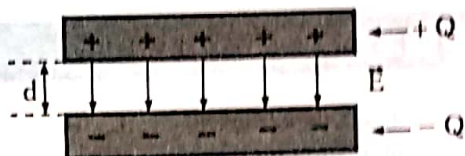
- Capacidade em função da carga e do potencial

$$C = \frac{Q}{U}$$

- Capacidade em função do campo elétrico

Como o campo elétrico entre as placas paralelas é uniforme, vale:

$$U = E \cdot d$$



Logo:

$$C = \frac{Q}{Ed}$$

- Capacidade em função da área útil das armaduras

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

Em que $\left\{ \begin{array}{l} \epsilon = \text{permissividade do dielétrico} \\ A = \text{área da superfície das placas} \\ d = \text{distância entre as placas} \end{array} \right.$

Em particular quando o dielétrico for o vácuo, temos:

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

Em que $\left\{ \begin{array}{l} \epsilon_0 \text{ é a permissividade absoluta do vácuo} \\ \epsilon_0 \approx 8,8 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} \end{array} \right.$

- Energia potencial

$$E_p = \frac{Q \cdot U}{2}$$

ou

$$E_p = \frac{C \cdot U^2}{2}$$

Problemas de Aplicação

- 1 Determinar a capacidade de um condensador que possui uma carga de $8 \mu\text{C}$ sob potencial $1\,000 \text{ V}$.

Resolução:

$$\text{Dados } \begin{cases} Q = 8 \mu\text{C} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ C} \\ U = 1\,000 \text{ V} \end{cases}$$

Sabemos que:

$$C = \frac{Q}{U} \Rightarrow C = \frac{8 \cdot 10^{-6}}{1\,000} = 8 \cdot 10^{-9} \text{ F}$$

Resposta: $C = 8 \cdot 10^{-9} \text{ F}$

- 2 Um capacitor plano é formado por duas placas paralelas com área de $0,04 \text{ m}^2$, separadas por uma distância de $0,2 \text{ cm}$. O dielétrico é o vácuo. Determinar a capacidade desse capacitor.

Resolução:

$$\text{Dados } \begin{cases} \epsilon_0 = 8,8 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} \\ A = 0,04 \text{ m}^2 \\ d = 0,2 \text{ cm} = 0,002 \text{ m} \end{cases}$$

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \Rightarrow C = 8,8 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{0,04}{0,002} \Rightarrow C = 17,6 \cdot 10^{-11} \text{ F}$$

Resposta: $1,76 \cdot 10^{-10} \text{ F}$

PROBLEMAS PROPOSTOS

- 782** Um condensador de capacidade 10^{-5} F é ligado a uma ddp de $1\,000 \text{ V}$. Calcule a sua carga elétrica.

- a) sua capacidade;
b) a carga do capacitor;
c) a energia potencial do capacitor.

- 783** Um capacitor plano, a vácuo, possui armaduras com áreas de $0,2 \text{ m}^2$, separadas por uma distância de 1 cm . A ddp entre as armaduras é $2\,000 \text{ V}$. Determine:

- 784** Quantas vezes podemos carregar um capacitor de $10 \mu\text{F}$ com o auxílio de uma bateria de $6,0 \text{ V}$, extraíndo dela a energia total de $1,8 \cdot 10^4 \text{ J}$?