

# **Física II**

Resumo

**Rafael Rodrigues**

LEIC

Instituto Superior Técnico  
2023/2024

# Contents

<b>1</b>	<b>Fundamentos</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Eletrostática</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Condutores e Dielétricos</b>	<b>2</b>
3.1	Condutor . . . . .	2
3.1.1	Propriedades . . . . .	2
3.1.2	Cargas Induzidas . . . . .	2
3.1.3	Cavidades . . . . .	2
3.2	Condensador . . . . .	3
3.2.1	Condensador de placas paralelas . . . . .	3
3.2.2	Condensador de esferas concêntricas . . . . .	3
3.2.3	Condensadores em Paralelo . . . . .	3
3.2.4	Condensadores em Série . . . . .	3
3.2.5	Trabalho . . . . .	3
3.3	Dielétricos . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Magnetostática</b>	<b>4</b>
4.1	Corrente Elétrica . . . . .	4
4.1.1	Densidade de Corrente . . . . .	4
4.1.2	Corrente Elétrica . . . . .	4
4.1.3	Lei de Kirchhoff . . . . .	4
4.2	Lei de Ohm . . . . .	4
4.3	Lei de Joule . . . . .	5
4.4	A Força de Lorentz . . . . .	5
4.5	A Lei de Biot-Savart . . . . .	5
4.5.1	Experiência de Ampère revisitada . . . . .	5
<b>5</b>	<b>Campo magnético na matéria</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>Eletrodinâmica</b>	<b>5</b>
<b>7</b>	<b>As equações de Maxwell</b>	<b>5</b>

# 1 Fundamentos

## Campos

Um campo ( $\phi$ ) é uma zona do espaço onde em cada ponto está definida uma quantidade.

## 2 Eletrostática

## 3 Condutores e Dielétricos

### 3.1 Condutor

Num condutor as cargas elétricas podem mover-se livremente no material. Um condutor pode ser metálico onde as cargas são eletrões, ou líquido onde as cargas são iões.

#### 3.1.1 Propriedades

- $\vec{E} = 0$  dentro de um condutor

Quando aplicamos um campo  $\vec{E}$  sobre um condutor **isolado**, as cargas negativas (**cargas induzidas**) movem-se na direção oposta ao campo  $\vec{E}$ , separando-se das cargas positivas e criando um campo  $\vec{E}'$ .

$$\vec{E} + \vec{E}' = 0 = \vec{E}_{total}$$

- $\rho = 0$  dentro de um condutor

Pela lei de Gauss  $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$ , como  $\vec{E} = 0 \implies \rho = 0$ .

Há cargas no interior do condutor, mas em igual quantidade de + e -, de modo a que se anulam.

- $\vec{E} \perp$  à superfície do condutor

Qualquer carga remanescente situa-se na superfície do condutor, o que significa que

- um condutor é um equipotencial

#### 3.1.2 Cargas Induzidas

As Cargas procuram sempre o equilíbrio ( $\vec{E} = 0$ ).

Se tivermos uma carga  $+Q$  e um condutor não carregado, as cargas negativas são atraídas para a carga  $+Q$ , para que assim se anule o campo no interior do condutor.

#### 3.1.3 Cavidades

No caso de no interior do condutor houver uma cavidade e a carga  $+Q$  estiver dentro dela, então o campo é não nulo nessa região.

Assim a carga induzida  $Q_{ind}$  é igual a  $-Q$  e a carga à superfície do condutor passa a ser positiva porque as cargas negativas aproximaram-se da carga  $+Q$  deixando de estar na superfície.

No caso de não haver carga na cavidade,  $\vec{E} = 0$  na cavidade (Gaiola de Faraday).

## 3.2 Condensador

Um condensador é um componente que armazena cargas elétricas num campo elétrico, composto por dois condutores, com cargas  $+Q$  e  $-Q$ .

### 3.2.1 Condensador de placas paralelas

Composto por duas placas paralelas a uma distância  $d$ .

- Densidade de carga de cada placa:  $\sigma = \frac{Q}{A}$
- Campo elétrico entre as placas:  $\vec{E} = \frac{Q}{A\epsilon_0}$
- Diferença de potencial entre as placas:  $V = \frac{Qd}{A\epsilon_0}$
- Capacitância:  $C = \frac{A\epsilon_0}{d}$

### 3.2.2 Condensador de esferas concêntricas

Composto por duas superfícies esféricas concêntricas de raios  $a$  e  $b$ .

- campo entre as superfícies:  $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \vec{e}_r$
- Diferença de potencial entre as superfícies:  $V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)$
- Capacitância:  $C = 4\pi\epsilon_0 \frac{ab}{b-a}$

### 3.2.3 Condensadores em Paralelo

$$C = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{V} = \frac{Q_1}{V} + \frac{Q_2}{V} + \frac{Q_3}{V} = C_1 + C_2 + C_3$$

### 3.2.4 Condensadores em Série

$$C = \frac{Q}{V_1 + V_2 + V_3} \Rightarrow \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

### 3.2.5 Trabalho

Para carregar um condensador é preciso eliminar elétrons do condutor positivo e movê-los para o condensador negativo. Isso requer trabalho pois é temos de puxar cargas negativas contra o campo elétrico.

O trabalho necessário para carregar o condensador com uma carga  $Q$  é dado por:

$$W = \frac{Q^2}{2C} = \frac{CV^2}{2}$$

### 3.3 Dielétricos

Com os Dielétricos entramos no estudo do campo elétrico na matéria. Existem 2 grandes grupos:

- Condutores
  - As cargas elétricas movem-se livremente através do material
- Dielétricos ou Isolantes:
  - As cargas elétricas estão presas aos átomos ou moléculas e apenas se podem mover um pouco dentro deles
  - Existem 2 mecanismos pelos quais um campo elétrico pode distorcer a distribuição de carga de um átomo ou molécula dielétrica
    - \* Estiramento
    - \* Rotação

## 4 Magnetostática

### 4.1 Corrente Elétrica

#### 4.1.1 Densidade de Corrente

#### 4.1.2 Corrente Elétrica

#### 4.1.3 Lei de Kirchhoff

### 4.2 Lei de Ohm

Para ter corrente é preciso empurrar as cargas, a velocidade que adquirem depende das características do material. A densidade de corrente elétrica  $\vec{J}$  é proporcional à força aplicada

$$\vec{J} = \sigma \vec{f}$$

em que  $\sigma$  é uma constante experimental que depende do material e que se chama **Condutividade** do meio. É mais comum o uso da **Resistividade** do meio, que é o inverso:  $\rho = \frac{1}{\sigma}$

Nesta parte da matéria assumimos que a força aplicada às cargas é a do Campo Elétrico

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

Num condutor **em equilíbrio eletrostático** temos  $\vec{E} = 0$  e  $\vec{J} = 0$ .

Para condutores perfeitos temos  $\vec{E} = \frac{\vec{J}}{\sigma} = 0$ , mesmo que esteja corrente a fluir.

Conclui-se que o campo elétrico necessário para movimentar as cargas é quase nulo. Assim consideramos estes fios como **equipotenciais**. Já as resistências são feitos de materiais que conduzem pouco.

A Lei de Ohm é então dada por

$$R = \frac{V}{I} \Leftrightarrow V = I \times R$$

$V$ : Tensão elétrica (V),  $R$ : Resistência elétrica ( $\Omega$ ),  $I$ : Corrente elétrica (A)

$$R = \frac{\rho L}{A} \Leftrightarrow R = \frac{L}{A\sigma}$$

$R$ : Resistência elétrica ( $\Omega$ ),  $L$ : Comprimento do condutor (m),  $A$ : Secção do condutor ( $\text{m}^2$ )

$$I = \sigma EA$$

$I$ : Corrente elétrica (A),  $E$ : Campo elétrico ( $\text{Vm}^{-1}$ ),  $A$ : Secção do condutor ( $\text{m}^2$ )

### 4.3 Lei de Joule

$$P = VI = RI^2$$

$P$ : Potência elétrica (W),  $V$ : Tensão elétrica (V),  $I$ : Corrente elétrica (A),  $R$ : Resistência elétrica ( $\Omega$ )

### 4.4 A Força de Lorentz

### 4.5 A Lei de Biot-Savart

O campo magnético gerado por um fio percorrido por corrente estacionária é dada por

$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0 \mathbf{I}}{4\pi} \int_C \frac{d\vec{\mathbf{I}}' \times \vec{e}_r}{r^2}$$

A quantidade  $\mu_0$  chama-se **permeabilidade do espaço livre** com valor  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{NA}^{-2}$ .

#### 4.5.1 Experiência de Ampère revisitada

Para calcular o campo magnético de um fio longo sobre outro fio longo, paralelos entre si, a uma distância  $d$ , percorridos por correntes  $\mathbf{I}_1$  e  $\mathbf{I}_2$  usamos a fórmula

$$\vec{B}_1 = -\frac{\mu_0 \mathbf{I}_1}{2\pi d}$$

Para calcular o valor da força por unidade de comprimento dentre os dois fios utilizamos a fórmula

$$\vec{F} = \frac{\mu_0 \mathbf{I}_1 \mathbf{I}_2}{2\pi d}$$

Esta força é atrativa caso as correntes tenham a mesma direção, ou repulsiva caso contrário.

## 5 Campo magnético na matéria

## 6 Eletrodinâmica

## 7 As equações de Maxwell