

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
Campus Blumenau

## Física Geral III

**Aula Teórica 13 (Cap. 29):**

- 1) Força eletromotriz  $\epsilon$
- 2) Cálculo da corrente em um circuito de uma malha: Método da Energia e Método do Potencial
- 3) Resistências em série
- 4) Circuitos com mais de uma malha
- 5) Resistências em paralelo
- 6) Circuitos RC: carregando e descarregando um capacitor

Prof. Marcio R. Loos

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Bombeamento de cargas

Como podemos criar uma corrente elétrica num resistor?



+

Corrente instável



+

Corrente estável

A bateria é uma **fonte de tensão (fonte)**.

Dizemos que uma **fonte** produz uma **força eletromotriz  $\epsilon$** : realiza trabalho sobre portadores de carga (+) e mantém uma ddp entre seus terminais.

Uma fonte pode ser imaginada como uma "bomba de cargas".

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof@ufsc.br

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### FEM $\epsilon$

A **fem** da fonte pode ser representada como uma seta apontando de "−" para "+".

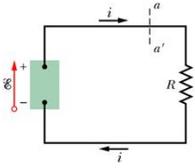
O círculo diferencia a flecha de corrente.

A fonte faz com que os portadores de carga (PDC,+) sejam **transferidos** do "−" para "+".

Os PDC se movem de uma região de **baixo potencial** para outra de **alto potencial**.

Como esse movimento é contrário ao que se espera devido ao campo E, **trabalho deve ser realizado sobre os PDC**.

Esse trabalho é realizado pela energia no interior da fonte.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof@ufsc.br

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



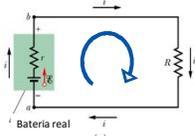


### Uma bateria real

Baterias reais (Fig. a) tem **resistência interna** ao movimento interno de cargas.

Aplicando a regra das malhas, temos:  $\mathcal{E} - ir - iR = 0$   $i = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$

Qual a ddp entre os pontos b e a?  $V_a + \mathcal{E} - ir = V_b$   $V_b - V_a = \mathcal{E} - ir$

$$V_b - V_a = \mathcal{E} - \left(\frac{\mathcal{E}}{R+r}\right)r \quad V_b - V_a = \frac{\mathcal{E}}{R+r}R$$


A bateria REAL é desenhada como uma bateria IDEAL + r

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br

---

---

---

---

---

---

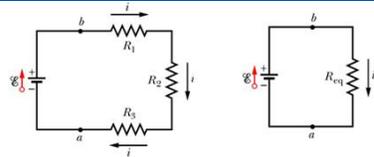
---

---

---

---

### Resistências em série



**R em série:** a corrente i é a mesma em todas as resistências.

$$i = i_1 = i_2 = i_3$$

**R em série:** a soma das ddp das resistências é igual ao V aplicado.

$$\mathcal{E} - iR_1 - iR_2 - iR_3 = 0 \quad i = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2 + R_3}$$

**Resistências em série**

$$\mathcal{E} - iR_{eq} = 0 \quad i = \frac{\mathcal{E}}{R_{eq}} \quad R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 \quad R_{eq} = \sum_{i=1}^n R_i$$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br

---

---

---

---

---

---

---

---

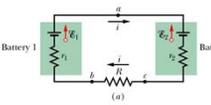
---

---

### Exercício: Múltiplas baterias

Considere o circuito ao lado.

a) Qual a corrente i do circuito?  
b) Qual a ddp entre os terminais das baterias?



**Resolução:**

Usamos a regra das malhas para obter a corrente i: (sentido anti-horário)

$$-\mathcal{E}_1 + ir_1 + iR + ir_2 + \mathcal{E}_2 = 0$$

$$i = \frac{\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1}{R + r_1 + r_2} = 0.24A$$

Escrevemos uma expressão para a ddp:  
Entre a-b (sentido horário):

$$V_b - ir_1 + \mathcal{E}_1 = V_a \quad V_a - V_b = -ir_1 + \mathcal{E}_1 = +3.8V$$

Entre a-c (sent. Horário):

$$V_a - \mathcal{E}_2 - ir_2 = V_c \quad V_a - V_c = \mathcal{E}_2 + ir_2 = +2.5V$$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Circuitos com mais de uma malha

“ O circuito da fig. tem dois nós **b** e **d** e três ramos: **badb**, **bcdb**, **bd**.

“ Quais são as correntes nos 3 ramos?

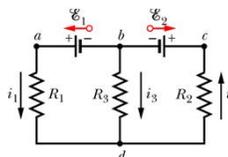
**Nó** - é qualquer ponto do circuito em que dois ou mais terminais (fios) se liguem.

**Ramo** - é o único caminho entre dois nós consecutivos.

**Malha** - é qualquer caminho fechado seguido sobre ramos de um circuito.

**Regra dos nós** - A soma das correntes que entram em um nó é igual a soma das correntes que saem.

“ Agora podemos calcular as correntes...



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 13

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Circuitos com mais de uma malha

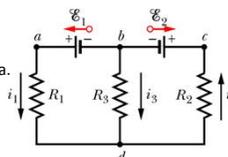
“ Determine os nós, ramos e malhas. badb:  $i_1$   
bcdb:  $i_2$   
bd:  $i_3$

“ Nomeie arbitrariamente as correntes: a corrente deve ter o mesmo valor em todos os pontos de um ramo.

“ As direções das correntes são arbitrárias: Correntes negativas significam direção oposta.

“ Regra dos nós (em d):  $i_1 + i_3 = i_2$

“ Use a regra dos nós à vontade: Geralmente o nº de vezes que podemos aplicá-la é uma a menos que o nº de nós no circuito.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 14

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Circuitos com mais de uma malha

“ Selecione uma malha e escolha uma direção arbitrária.

“ Seguindo a direção da corrente,  $iR < 0$  e a voltagem diminui;

“ O oposto ocorre percorrendo o sentido contrário ao da corrente;

“ fem será positiva quando percorrida de “-” para “+” e negativa no caso oposto.

“ Regra das malhas:

**badb**: anti-horário  $\epsilon_1 - i_1 R_1 + i_3 R_3 = 0$

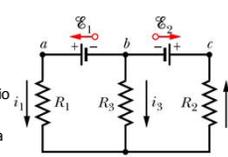
**bcdb**: anti-horário  $-i_3 R_3 - i_2 R_2 - \epsilon_2 = 0$

“ Aplique a regra das malhas quantas vezes for preciso... desde que um novo elemento de circuito ou corrente surja nas eq.

“ Outras Malhas:

**badcb**: anti-horário  $\epsilon_1 - i_1 R_1 - i_2 R_2 - \epsilon_2 = 0$   
=badb+bcdb

**bcdb**: horário  $\epsilon_2 + i_2 R_2 + i_3 R_3 = 0$



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 14

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Circuitos com mais de uma malha

Em geral, para resolver um circuito, o nº de equações independentes necessários a partir das duas regras (*nós e malhas*), é igual ao nº de correntes desconhecidas.

Solução:

$$i_1 + i_3 = i_2$$

$$\mathcal{E}_1 - i_1 R_1 + i_3 R_3 = 0$$

$$-i_3 R_3 - i_2 R_2 - \mathcal{E}_2 = 0$$

$$i_1 = \frac{\mathcal{E}_1 R_2 + \mathcal{E}_1 R_3 - \mathcal{E}_2 R_1}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} \quad i_2 = \frac{\mathcal{E}_1 R_2 - \mathcal{E}_2 R_3 - \mathcal{E}_2 R_1}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} \quad i_3 = \frac{-\mathcal{E}_2 R_1 - \mathcal{E}_1 R_2}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}$$

Teste as Eq.. Por ex. **faça**  $R_3 = \infty$        $i_3 < 0$ : o sentido é contrário ao na Fig.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Resistências em paralelo

Quando uma ddp é aplicada a resistências em paralelo, todas resistências terão mesma ddp V.

Regra dos nós na Fig. a:

$$V = V_1 = V_2 = V_3$$

$$i = i_1 + i_2 + i_3 = V \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

Regra das malhas na fig. b:

$$V - i R_{eq} = 0 \quad i = \frac{V}{R_{eq}} \quad \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad \text{Resistências em paralelo}$$

O inverso da resistência de resistores em paralelo é igual à soma dos inverso das resistências individuais.

A  $R_{eq}$  será sempre menor que a menor resistência da associação.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Circuitos RC: Carregando um Capacitor

Circuito RC: corrente varia com o tempo!  $q(t)$ !

Para carregar o capacitor, ligamos "a".

Regra das malhas:  $\mathcal{E} - iR - \frac{q}{C} = 0$

Mas  $i = \frac{dq}{dt}$

Substituindo e rearranjando:  $R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = \mathcal{E}$       Eq. de carga      Eq. diferencial: qual a função  $q(t)$  ?

Condições de contorno:  $q(t=0) = 0; \quad i(t=0) = \frac{\mathcal{E}}{R}; \quad q(\text{max}) = C\mathcal{E}; \quad i = 0;$

Logo:  $\frac{dq}{dt} = \frac{\mathcal{E}}{R} - \frac{q}{RC} \quad \frac{dq}{dt} = \frac{C\mathcal{E}}{RC} - \frac{q}{RC} = \frac{q - C\mathcal{E}}{RC} \quad \frac{dq}{q - C\mathcal{E}} = -\frac{1}{RC} dt$

Integrando:  $\int_0^q \frac{dq}{q - C\mathcal{E}} = -\frac{1}{RC} \int_0^t dt \quad \ln\left(\frac{q - C\mathcal{E}}{-C\mathcal{E}}\right) = -\frac{t}{RC} \quad \frac{q - C\mathcal{E}}{-C\mathcal{E}} = e^{-\frac{t}{RC}}$

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Circuitos RC: carregando um capacitor

$q(t) = C\varepsilon(1 - e^{-t/RC})$  Capacitor carregando

$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = \frac{\varepsilon}{R} e^{-t/RC}$

q(t) pode ser obtido experimentalmente medindo-se a ddp no capacitor  $V_c$ :

$V_c(t) = \frac{q(t)}{C} = \varepsilon(1 - e^{-t/RC})$

i(t) pode ser obtido experimentalmente medindo-se a ddp no resistor  $V_R$ :

$V_R(t) = i(t)R = \varepsilon e^{-t/RC}$

t = 0: q = 0,  $V_c = 0$ , i =  $\varepsilon/R$ ;  
 t  $\rightarrow \infty$ : q = C\varepsilon,  $V_c = \varepsilon$ , i = 0;

**RC  $\equiv \tau$  Constante de tempo capacitiva**  
 t = RC: q = C\varepsilon(1 - e<sup>-1</sup>) = 0.63C\varepsilon; i =  $\varepsilon/Re^{-1}$  = 0.37  $\varepsilon/R$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Circuitos RC: descarregando um capacitor

Circuito RC: corrente varia com o tempo! (q(t))  
 Para DEScarregar o capacitor, ligamos "b".

Regra das malhas:  $\frac{q}{C} - iR = 0$

Logo:  $R \frac{dq}{dt} = -\frac{q}{C}$   $\frac{dq}{q} = -\frac{1}{RC} dt$

Condições de contorno:  $q(t=0) = q_0$

Logo:  $\int_{q_0}^q \frac{dq}{q} = -\frac{1}{RC} \int_0^t dt$   $\ln\left(\frac{q}{q_0}\right) = -\frac{t}{RC}$   $\frac{q}{q_0} = e^{-t/RC}$

Portanto:  $q(t) = q_0 e^{-t/RC}$  Capacitor descarregando

$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = -\frac{q_0}{RC} e^{-t/RC}$

t = 0: q = q<sub>0</sub> = CV<sub>0</sub>, i = q<sub>0</sub>/RC;  
 t  $\rightarrow \infty$ : q = 0, i = 0;

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Exercício: Circuito RC

Em um circuito RC série, V=12,0V, R=1,40MΩ e C=1,80μF.

(a) Calcule a constante de tempo.  
 (b) Determine a carga máxima que o capacitor pode receber.  
 (c) Quanto tempo é necessário para que a carga do capacitor atinja o valor de 16,0μC?

Resposta:

$q(t) = C\varepsilon(1 - e^{-t/RC})$

a)  $\tau = 2,52s$   
 b)  $q = 21,6\mu C$   
 c)  $t = 3,40 s$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Exercício: Circuito RC

•58 Um capacitor com uma carga inicial  $q_0$  é descarregado através de um resistor. Que múltiplo da constante de tempo  $\tau$  é o tempo necessário para que o capacitor descarregue (a) um terço da carga inicial; (b) dois terços da carga inicial?

Resposta:

a)  $t = 0,41 \tau$

b)  $t = 1,1 \tau$

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Exercício

••40 Na Fig. 27-51  $R_1 = 100 \Omega$ ,  $R_2 = R_3 = 50,0 \Omega$ ,  $R_4 = 75,0 \Omega$  e a força eletromotriz da fonte ideal é  $\mathcal{E} = 6,00 \text{ V}$ . (a) Determine a resistência equivalente. Determine a corrente (b) na resistência 1; (c) na resistência 2; (d) na resistência 3; (e) na resistência 4.

Resposta:

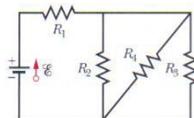
a)  $R_{eq} = 119 \Omega$

b)  $i_1 = 0,050 \text{ A}$

c)  $i_2 = 0,020 \text{ A}$

d)  $i_3 = 0,020 \text{ A}$

e)  $i_4 = 0,013 \text{ A}$




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### O que acontece quando um jacaré tenta comer uma enguia elétrica?

- (a) A enguia morre. (b) O jacaré morre.  
(c) O jacaré leva um choque. (d) Todas alternativas estão corretas.



Células nervosas especiais geram uma ddp  $\approx 0,14 \text{ V}$ .  
Uma enguia possui de 2 000 a mais de 10 000 mioeletroplacas.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Você já pode resolver os seguintes exercícios:**

Capítulo 26: 5, 6, 9, 11, 13, 14

Capítulo 26: 15, 16, 26, 28, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41

Capítulo 26: 43, 45, 48, 56, 60, 68 e 70

Capítulo 27: 2, 4, 6, 8, 11, 12, 16, 17, 18, 21, 23, 26, 27, 29, 30

Capítulo 27: 36, 46, 47, 52, 60, 63, 64 e 65.

Capítulo 28: 1, 7, 9, 15, 16, 26, 27, 28, 44, 49, 53 e 57

**Capítulo 29: 7, 11, 15, 17, 28, 29, 32, 33, 37, 45, 48, 65, 67, 72, 74 e 75.**

Livro texto: Halliday, vol. 3, 4ª edição.

Mais informações (cronogramas, lista de exercícios):

web: [loos.prof.ufsc.br](http://loos.prof.ufsc.br) e-mail: [marcio.loos@ufsc.br](mailto:marcio.loos@ufsc.br)

UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SANTA CATARINA

Prof. Loos

Física Geral III

[loos.prof.ufsc.br](http://loos.prof.ufsc.br)

25

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---