



























---

## *Sumário*

<b>TABELA DOS SÍMBOLOS DOS ELEMENTOS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS .....</b>	<b>3</b>
<b>Prática 3: CAPACITORES .....</b>	<b>7</b>
Objetivos .....	7
Introdução .....	7
Descarga de um Condensador .....	9
Experimentos .....	11
I. Circuito RC Simples .....	11
II. Carga e Descarga de Capacitores .....	14
III. Lâmpada entre Dois Capacitores .....	20
IV. Conservação da Carga e Energia .....	22
V. Capacitor em Paralelo com uma Lâmpada .....	26
VI. Medida Quantitativa da Constante de Tempo RC .....	30
Exercícios.....	34



# TABELA DOS SÍMBOLOS DOS ELEMENTOS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS

	Fonte de Tensão		Gerador de Onda Quadrada
	Fonte de Tensão Variável		Gerador de Onda Senoidal
	Fonte de Tensão Alternada		Transformador
	Pilha		Lâmpada
	Pilha, Bateria		Resistor
	Terra		Potenciômetro
	Chave		LDR (Light Dependent Resistor)
	Chave de Contato (Push Button)		Diodo
	Amperímetro		LED (Light Emitting Diodo)
	Voltímetro		Capacitor
	Ohmímetro		Supercapacitor
	Frequencímetro		Capacitor Eletrolítico
	Capacímetro		Indutor







## ***Prática 3: CAPACITORES***

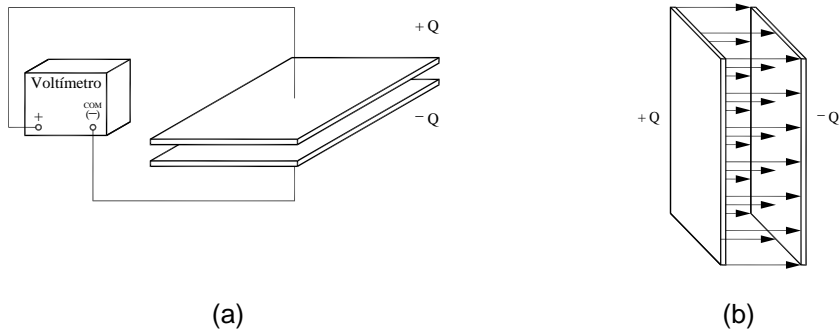
### **Objetivos**

Quando uma tensão é aplicada a um capacitor ele não se carrega instantaneamente, mas tem uma resposta temporal característica. Analogamente, o capacitor carregado tem uma curva de descarga característica. Nesta prática serão utilizados fonte de tensão, capacitores e resistores (ou lâmpadas) para estudar o processo de carga e descarga de um circuito RC através de diversos experimentos qualitativos. A curva de *decaimento* da tensão de um capacitor  $V_C(t)$  será medida e através dela, o valor da constante de tempo do circuito será determinado.

### **Introdução**

Ao longo da história da eletricidade percebeu-se que era relativamente fácil obter grandes diferenças de potencial, por exemplo, através de eletrização por atrito. O problema era conseguir grande quantidade de carga e armazená-la. Percebeu-se que quando um condutor era eletrificado, seu tamanho determinava a quantidade de carga que ele conseguia armazenar. O físico italiano **Alessandro Volta**, denominou assim **condensador** qualquer dispositivo capaz de armazenar cargas. Atualmente o termo capacitor é mais utilizado.

Figura 0.1 - (a) Capacitor de placas paralelas ligado a um voltímetro; (b) Distribuição de cargas nas placas do capacitor



Fonte: Elaborada pelo Compilador

A uma determinada diferença de potencial ( $V$ ), como esquematizado na Fig.3.1((a) e (b)) a quantidade de carga ( $Q$ ) armazenada por um corpo depende de diversas características físicas, mas  $Q$  é proporcional a  $V$ . Ou seja, podemos definir a capacitância ( $C$ ) como:

$$C = \frac{Q}{V} \quad (1)$$

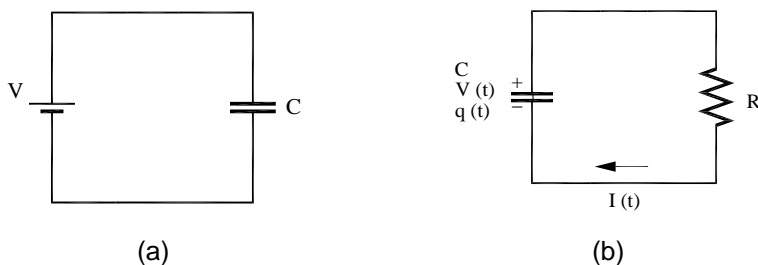
No sistema MKS, a unidade de capacitância é Coulomb/Volt, que se denominou **Farad**, em homenagem ao cientista **M. Faraday**. **Volta** introduziu o termo capacidade elétrica em analogia com o conceito de capacidade térmica ou calor específico.



## Descarga de um Condensador

Para determinarmos a capacitância de um condensador,  $C$ , faremos um experimento que consiste em carregar o mesmo com uma tensão inicial  $V$ . Isto é feito ligando-se o capacitor em paralelo a uma fonte, (Fig. 3.2(a)).

Figura 0.2 - a) Circuito para carregar o condensador; (b) Descarga do condensador em uma resistência  $R$



Fonte: Elaborada pelo Compilador

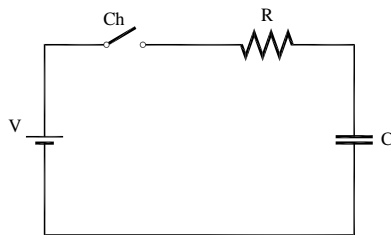
A Fig.3.2(b) ilustra que quando este capacitor carregado é ligado a um resistor, ele é descarregado pela corrente  $I(t)$ , ou seja, à medida que sua carga  $Q(t)$  diminui a tensão no capacitor  $V_c(t)$  diminui proporcionalmente a  $Q(t)$ . Pode-se mostrar que:

$$V(t) = V \cdot \exp(-t/\tau) \quad \text{onde } \tau = RC \quad (2)$$

O decaimento da tensão no capacitor é exponencial, com tempo de resposta  $\tau = RC$ . Ou seja, em  $t = \tau$ , temos  $V_c(\tau) \sim 0.37V$ . No entanto é mais prático usar  $t_{1/3}$  definido por  $t_{1/3} = \tau \cdot \ln 3 \sim 1.10\tau$  e  $V_c(t_{1/3}) = V/3$ . Logo, medindo experimentalmente  $V_c(t_{1/3})$ , podemos determinar o valor de  $RC$  a partir da Eq.2. Nesta prática vocês irão calcular o valor da capacitância do capacitor através da medida da resposta temporal de  $V_c(t_{1/3})$ .

Nesta prática vamos estudar, também, o caso em que um capacitor, inicialmente descarregado, é conectado em série a uma fonte (tensão  $V$ ) e a um resistor ( $R$ ) (Fig.3.3).

Figura 0.3 - Circuito RC



Fonte: Elaborada pelo Compilador

Neste caso, se a chave **Ch** é fechada em  $t=0$ , pode-se mostrar que a tensão no capacitor é dada por:

$$V(t) = V \cdot [1 - \exp(-t/\tau)] \quad (3)$$

# Experimentos

## I. Circuito RC Simples

**ATENÇÃO:** Nesta prática utilizaremos capacitores que devem ser colocados na polarização correta onde uma faixa indica o terminal negativo.

Usaremos a notação ilustrada na Figura 3.4(b), onde a placa + representa a placa positiva e a outra a negativa (-).

Figura 0.4 – Notação utilizada para capacitores (a) eletrolíticos e (b) supercapacitores



(a)



(b)

Fonte: Elaborada pelo Compilador

Para não se confundirem sugerimos o uso de um cabo vermelho ligado ao terminal positivo (+) e um cabo preto ligado ao terminal negativo (-)

**Obs:** a placa (+) está indicada pela cor vermelha

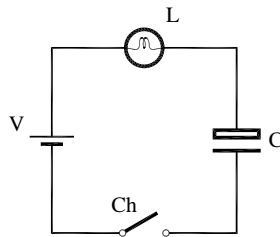
### **CUIDADO**

- montagem do capacitor com polaridade invertida pode danificá-lo.
- o capacitor não pode ser ligado a uma tensão maior  $V_0$ .

**I.1 Previsão:** Um capacitor está conectado em série a lâmpada e a uma fonte de tensão contínua (de valor  $V=10V$ ), tal como ilustrado na Fig.3.5. Suponham que o circuito tenha sido ligado há muito tempo, ou seja, o estado

estacionário já foi atingido. Respondam por escrito: como será o brilho da lâmpada?

Figura 0.5 - Circuito com uma lâmpada em série com um capacitor



Fonte: Elaborada pelo Compilador

**I.2 Experimento.** Montem o circuito da Fig.3.5 com a fonte ajustada para  $V=10V$ . No estado estacionário (após o transiente) meçam as tensões na Fonte ( $V$ ), no Capacitor ( $V_C$ ) e na Lâmpada ( $V_L$ ).

**Obs:** Por motivos técnicos, optamos por usar dois capacitores em série ao invés de um único capacitor. Entretanto, este fato não altera a interpretação do experimento.

---

**I.3** Lembrando que  $Q = C \cdot V_c$ , onde  $Q$  representa a carga armazenada no capacitor,  $C$  é a capacitância e  $V_c$  o valor da tensão no capacitor. Usando o valor de  $C \sim 0,05F$ , estimem o valor de  $Q$ .

Removam o capacitor do circuito da parte 2 (tomem o cuidado para não curto-circuitar o capacitor).

**I.4 Previsão:** Qual deve ser o valor da tensão no capacitor?

**I.5 Experimento:** Verifiquem, experimentalmente, com o auxílio do voltímetro digital, se seu prognóstico estava correto.

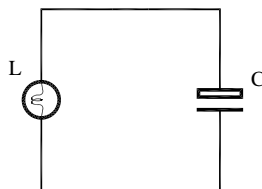
**I.6** Será que vocês conseguem acender a lâmpada usando somente o capacitor, sem usar a fonte? Tentem isto experimentalmente e anotem o

diagrama do circuito usado. Por fim, meçam o valor da tensão no capacitor. Expliquem o que ocorreu.

## II. Carga e Descarga de Capacitores

**ATENÇÃO:** *Antes de montar o próximo experimento, descarreguem o capacitor. Para isso montem um circuito (Fig.3.6) com apenas o capacitor ligado uma lâmpada, em paralelo. Quando se descarrega o capacitor com um “curto circuito”, o valor da corrente pode ser muito alto podendo danificar o capacitor.*

Figura 0.6 - Circuito para descarregar um capacitor



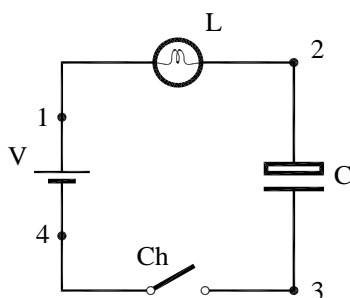
Fonte: Elaborada pelo Compilador

**Experimento:** Montem o circuito da Fig.3.7. Vocês vão repetir o experimento anterior, mas agora prestando mais atenção na resposta transiente do

circuito, ou seja, em como o brilho da lâmpada evolui no tempo, após a chave ser fechada.

**Obs:** Verifiquem se polaridade do capacitor está correta assim como o valor de  $V$ .

Figura 0.7 - Circuito com uma lâmpada em série com um capacitor



Fonte: Elaborada pelo Compilador

**II.1 Previsão:** Esbocem o gráfico da dependência temporal do brilho da lâmpada.

**II.2** Sem utilizar o voltímetro, ou seja, baseando-se apenas através de suas observações visuais, respondam qual o valor de  $V_C$  ( $V_{23}$ ) nos seguintes casos:

**a)** imediatamente após a chave ser fechada ( $t \sim 0$ );

**b)** muito tempo após a chave ter sido fechada ( $t \rightarrow \infty$ ).

**II.3** Esbocem a dependência temporal de  $V_L$  (a tensão na lâmpada,  $V_{12}$ ),  $V_C$  (a tensão no capacitor,  $V_{23}$ ),  $Q$  (carga no capacitor) e da corrente  $I(t)$ .

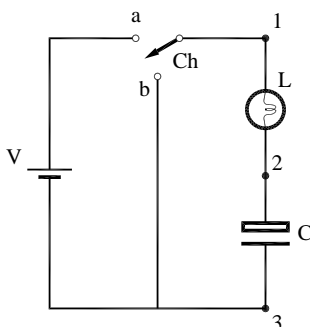


Antes de iniciar o experimento a seguir, mostrem seus resultados a um instrutor.

**Previsões:** registrem por escrito as suas previsões e/ou do grupo e justificativas.

Verificando o sentido da corrente o circuito da Fig.3.8 com o capacitor inicialmente descarregado.

Figura 0.8 - Circuito com uma lâmpada em série com um capacitor



Fonte: Elaborada pelo Compilador

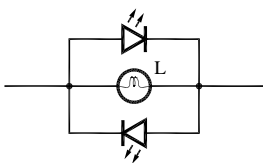
**II.4** Qual o sentido da corrente quando a chave (**Ch**) é colocada na posição **a**?

**II.5** Comparem o sentido da corrente nos pontos **1**, **2** e **3** do circuito.

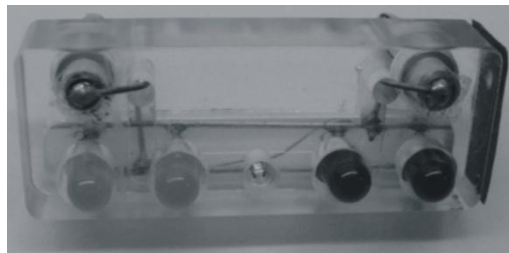
**II.6** Suponham que após o sistema atingir o estado estacionário, a chave seja colocada na posição **b**. Para este instante, prevejam o sentido da corrente, nos pontos **1, 2 e 3**.

Na Fig.3.9 temos uma associação em paralelo de dois LEDs de cores diferentes, com polaridades contrárias (antiparalelos). Na prática **2**, vimos que esta configuração pode ser usada para indicar a direção da corrente

Figura 0.9 – (a) Circuito com dois LEDs em paralelo e invertidos ligados em série com uma lâmpada, (b) Foto da montagem dos dois LEDs com a lâmpada, .



(a)



(b)

Fonte: Elaborada pelo Compilador

**II.7 Experimento:** Montem o circuito (Fig.3.8) inserindo o conjunto de LEDs, no lugar da lâmpada. Verifiquem o sentido da corrente (nos pontos **1**, **2** ou **3**) quando o capacitor é carregado (chave na posição **a**). O sentido é o mesmo?

**Obs.:** *os LEDs podem ser inseridos nos pontos **1**, **2** ou **3**.*

**II.8** Observem agora o caso em que o capacitor é descarregado (chave na posição **b**). Registrem os resultados.

*Neste ponto é muito importante que o grupo analise e discuta os resultados. Depois discuta suas conclusões com um instrutor antes de prosseguir a prática.*

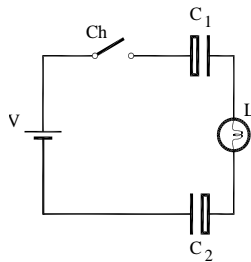
**Obs.:** *Se desejarem repetir o experimento lembrem-se de descarregar o capacitor através de uma lâmpada.*

### III. Lâmpada entre Dois Capacitores

**III.1 Previsão:** Uma lâmpada é conectada a dois capacitores inicialmente descarregados, como ilustrado na Fig.3.10. A respeito deste circuito um estudante fez o seguinte prognóstico:

*“A corrente irá fluir do lado positivo da bateria para o lado negativo. Uma vez que a lâmpada está isolada da bateria por dois capacitores, a lâmpada não irá acender (ou brilhar)”.*

Figura 0.10 - Circuito com uma lâmpada em série com dois capacitores



Fonte: Elaborada pelo Compilador

Vocês concordam com este prognóstico? Discutam e registrem por escrito a justificativa.

**Experimento:** Montem o experimento com 2 capacitores e  $V \sim 10V$ . **Sem o usar o voltímetro** respondam, logo após a chave ser fechada ( $t \sim 0$ ):

**III.2** Qual a tensão na lâmpada? (**Obs.:** *Observe o brilho da lâmpada*)

**III.3** Qual a diferença de potencial nos capacitores?

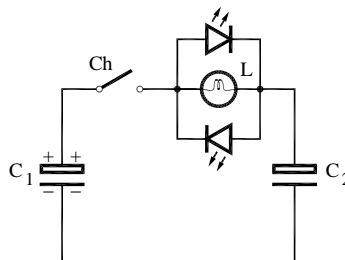
**III.4** Respondam novamente as mesmas perguntas 2 e 3 para o estado estacionário (muito tempo após a chave ter sido fechada,  $t \rightarrow \infty$ ).

**III.5** Com os capacitores descarregados, substituam a lâmpada pelo conjunto de LEDs, no circuito da Figura 3.10 e verifiquem o sentido da corrente usando a dupla de LEDs (Fig.3.9(a))

## IV. Conservação da Carga e Energia

A Fig.3.11 ilustra um circuito onde inicialmente o capacitor,  $C_1$ , está carregado e o capacitor,  $C_2$ , está inicialmente descarregado, ou seja,  $V_{C_1}(0)=V$  e  $V_{C_2}(0)=0$ .

Figura 0.11 - Circuito de uma lâmpada em série com dois capacitores, um carregado e outro descarregado



Fonte: Elaborada pelo Compilador

**IV.1 Previsões:** registrem por escrito as suas previsões e/ou do grupo e justificativas.

O que ocorrerá quando a chave for fechada? A lâmpada vai acender? Como será o comportamento da corrente,  $I(t)$ , e das cargas,  $Q_1(t)$  e  $Q_2(t)$ , dos capacitores  $C_1$  e  $C_2$ , respectivamente?

---

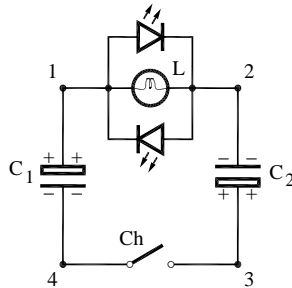
**IV.2 Experimento:** Façam o experimento, com  $C_1$  carregado ( $V_{C1}=10V$ ) e  $C_2$  descarregado. Montem o circuito tal como ilustrado na Fig.3.11, ou seja, a placa negativa de  $C_1$  ligada à placa negativa de  $C_2$ . Logo em  $t=0$ ,  $V_{C1} \sim 10V$  e  $V_{C2} \sim 0V$ . Registrem suas observações e comparem a previsão (não é preciso usar o voltímetro).

*Nota: Para carregar o capacitor, basta fazer novamente o que é solicitado na Atividade I (Circuito RC Simples), fechando a chave.*

**IV.3** No estado estacionário ainda há carga nos capacitores? Como você pode verificar este fato experimentalmente?

A Fig.3.12 ilustra o caso em que dois capacitores foram carregados simultaneamente, de tal forma que  $V_{C1} = V_{C2} \sim 10V$ .

Figura 0.12 - Circuito de uma lâmpada em série com dois capacitores carregados



Fonte: Elaborada pelo Compilador

**IV.4 Previsões:** registrem por escrito as suas previsões e/ou do grupo e justificativas. O que ocorrerá? Discutam e façam um prognóstico análogo ao do item 1.

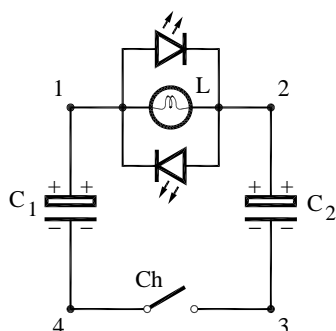
**IV.5 Experimento:** Realizar o experimento e discutir (análogo aos itens IV.2 e IV.3).

**IV.6** Em qual dos experimentos (IV.2 (Fig.3.11), ou IV.5 (Fig.3.12)) a lâmpada brilha mais? Expliquem por que.



**IV.7 Previsões:** Repetir o item **IV.4** na configuração ilustrada na Fig.3.13, com dois capacitores inicialmente carregados ( $V_{C1} = V_{C2} \sim 10V$ ).

Figura 0.13 - Circuito de uma lâmpada em série com dois capacitores carregados



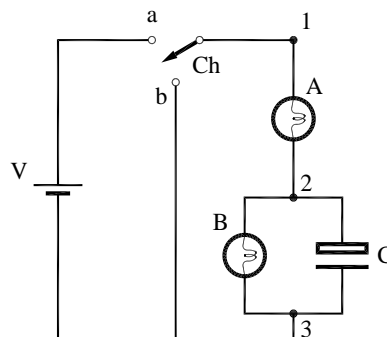
Fonte: Elaborada pelo Compilador

**IV.8 Experimento:** realizar o experimento e discutir (análogo aos itens **IV.2** e **IV.3**).

## V. Capacitor em Paralelo com uma Lâmpada

Duas lâmpadas idênticas e um capacitor (inicialmente descarregado) são conectados a uma fonte ideal tal como ilustrado na Fig.3.14.

Figura 0.14 - Circuito de uma lâmpada em série com um circuito em paralelo formado por uma lâmpada e um capacitor



Fonte: Elaborada pelo Compilador

**V.1 Previsões:** registrem por escrito as suas previsões e/ou do grupo e justificativas.

Como se comportará o brilho das lâmpadas (**A** e **B**) quando a chave (**Ch**) for fechada em  $t=0$ ? Alguma das lâmpadas estará apagada (brilho nulo) em  $t=0$ ?

**V.2 Experimento:** montem o experimento com  $V \sim 10V$ . Observem e discutam o que acontece nas situações  $t \sim 0$  e  $t \rightarrow \infty$  (estado estacionário).

**Obs.:** **NÃO** utilizem o voltímetro, ou seja, respondam somente a partir de suas observações visuais.

Logo após ( $t \sim 0$ ) a chave ser fechada, respondam:

**V.3** Qual o valor da diferença de potencial na lâmpada **A** ( $V_A$ ), na lâmpada **B** ( $V_B$ ), no capacitor ( $V_C$ ), e na bateria ( $V$ )? Explique.

**V.4** Classifiquem (maior, menor ou igual) as correntes nas lâmpadas ( $I_A$ ,  $I_B$ ) no capacitor ( $I_C$ ) e na bateria ( $I_o$ ).

Muito tempo após ( $t \rightarrow \infty$ ) a chave ser fechada, respondam:

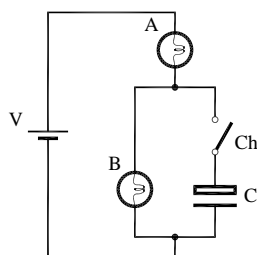
**V.5** Classifiquem as correntes  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  e  $I_o$ . Se alguma corrente for nula, indiquem explicitamente.

**V.6** Classifiquem (comparem) os valores das tensões  $V_A$ ,  $V_B$ ,  $V_C$ ,  $V$ . Expliquem.

**V.7** Sumarizem seus resultados descrevendo o comportamento transiente (brilho) das lâmpadas A e B.

Considerem agora o caso em que a chave é colocada **em série** com o capacitor (inicialmente descarregado), como ilustrado na Fig.3.15.

Figura 0.15 - Circuito de uma lâmpada em série com um circuito em paralelo formado por uma lâmpada e um capacitor



Fonte: Elaborada pelo Compilador

**V.8 Previsão:** o que ocorre com o brilho das lâmpadas se, após a chave for fechada?

**V.9 Experimento:** Montem o experimento com  $V \sim 10V$  e verifiquem experimentalmente se suas previsões estavam corretas.

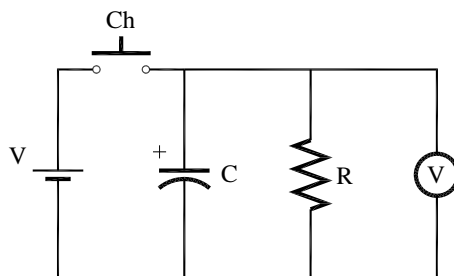
**Obs.:** *Certifiquem-se que o capacitor esteja inicialmente descarregado.*

## VI. Medida Quantitativa da Constante de Tempo RC

**VI.1** Montem o circuito da Fig.3.16 utilizando um voltímetro digital,  $R=220k\Omega$  e  $C=100\mu F$ . Ajustem a fonte para  $V=10V$ . Com a chave **Ch** fechada leiam a tensão no voltímetro. Desliguem a chave **Ch** e observem a variação temporal da tensão sobre o capacitor que se descarrega pela resistência **R**.

**Obs:** Este experimento deve ser feito com um capacitor eletrólítico.

Figura 0.16 - Circuito RC em paralelo ligado a um Voltímetro



Fonte: Elaborada pelo Compilador

**VI.2** Construam uma tabela dos valores da tensão  $V_C(t)$  em função do tempo de descarga, medindo o tempo com um cronômetro. O cronômetro deve ser inicializado ( $t=0$ ) quando, após ser carregado a chave é aberta e o capacitor é descarregado. (**Obs:** Aqui, você pode ser utilizado o celular para filmar o cronômetro e o voltímetro, ou mesmo utilizar o tempo de gravação do próprio vídeo para facilitar a coleta de dados).

Tabela 0.1- Valores da tensão  $V_C(t)$  em função do tempo de descarga.

<b>t</b>	<b><math>V_C(t)</math></b>		

**VI.3** Façam um gráfico em papel *monolog* de  $V_C(t)$  contra  $t$ , e determinem o valor da constante de tempo do circuito  $\tau=RC$ , pelo gráfico. (**Obs:** se o papel for di-log, usar apenas 1 ciclo da folha)

**VI.4** Meçam o valor de R com um multímetro. Usando este valor, calculem o valor de C. Compare com o valor determinado pelo técnico do laboratório.

Discutam o resultado obtido. A diferença entre estes dois valores está dentro da incerteza estimada para o valor de  $\tau$ ?

**VI.5** Usando os mesmos valores de R e C do experimento anterior, meçam o tempo  $t^*$  necessário para que a carga do capacitor se reduza a metade do seu valor inicial. Notem que  $V(t^*)=V/2$ , logo vocês podem usar a Eq. 5 para estimarem o valor de  $\tau=RC$  a partir de  $t^*$ . Estimem o valor de  $t$  e comparem com sua determinação mais cuidadosa feita através do gráfico. Discutam os resultados.

**VI.6** Repitam o item **VI.5** mudando os valores de C e/ou R.



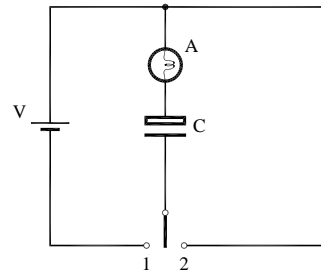
**Lista de materiais (prática 03)**

- 2 Supercapacitores (0.1F e  $V_{\max}=5.5V$ )
- 2 conjuntos de 2 capacitores em série ( $C_{\text{eq}}\sim 0.05F$ ,  $V_{\max}=11V$ )
- 2 lâmpadas incandescentes (6V)
- 2 LEDs invertidos (conjunto indicador de corrente)
- Resistor de  $220K\Omega$
- Capacitor eletrolítico  $C=100\ \mu F$
- Fonte de tensão variável
- 1 chave
- Placa de circuitos, cabos banana – banana, etc.

## Exercícios

1. O circuito da Figura ao lado contém uma bateria com tensão  $V$  (constante), uma lâmpada (A), uma chave e um capacitor. Inicialmente ( $t=0$ ) o capacitor está descarregado.

Descreva o comportamento da lâmpada nas seguintes situações:

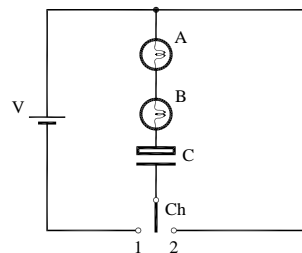


**a)** a chave é colocada na posição 1. O que ocorre com a lâmpada? (imediatamente após a chave ser fechada e até muito tempo depois) Explique.

**b).** Em seguida (após atingido o estado estacionário) a chave é colocada na posição 2. Descreva o comportamento da lâmpada imediatamente após a chave ser fechada e até muito tempo depois. Explique.

2. O circuito ilustrado ao lado contém uma bateria com tensão  $V$  (constante), duas lâmpadas idênticas (A e B), uma chave e um capacitor (C). Inicialmente ( $t = 0$ ) o capacitor está descarregado.

Descreva o comportamento da lâmpada nas seguintes situações:



**a)** a chave é colocada na posição 1. O que ocorre com a lâmpada logo após a chave ser fechada até muito tempo depois? Como o brilho inicial das lâmpadas B e C se comparam Explique.

**b)** muito tempo depois de a chave ser fechada, como a tensão no capacitor se compara (maior, menor ou igual) com a tensão na bateria?

c) suponha que depois de muito tempo da chave ter sido colocada na posição 1 (situação b) a chave seja colocada na posição 2. Descreva o comportamento do brilho das lâmpadas e da carga no capacitor.

d) qual a diferença entre o comportamento deste circuito e do problema anterior?

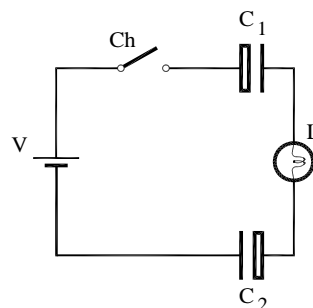
3. a) equacione a situação do exercício 1.a considerando que a lâmpada se comporta aproximadamente como um resistor de valor  $R$ . Obtenha a expressão para a tensão do capacitor,  $V_C(t)$ , a tensão na lâmpada,  $V_A(t)$  e a corrente  $I(t)$ . Esboce os gráficos de  $V_C(t)$ ,  $V_A(t)$  e a corrente  $I(t)$ .

b) Encontre o valor do tempo de subida,  $t_r$  (*rise time*), definido como o tempo necessário para que a tensão do capacitor suba de 10% a 90% do valor final (estado estacionário,  $t \rightarrow \infty$ ). Expresse seu resultado em termos de  $\tau = RC$

c) idem ao item a) para o caso descrito no exercício 1.b.

4. Um resistor de  $15,2 \text{ k}\Omega$  e um capacitor estão ligados em série. Um potencial de  $13,0 \text{ V}$  é subitamente aplicado á associação. O potencial aplicado ao capacitor sobe para  $5,00 \text{ V}$  em  $1,28 \text{ }\mu\text{s}$ . (a) calcule a constante de tempo. (b) Encontre a capacitância do capacitor.

5. A Figura ao lado mostra o experimento onde dois capacitores, de capacitâncias iguais  $C_1 = C_2 = C$ , são ligados a uma fonte de tensão  $V$  e uma lâmpada. Suponha que a chave seja fechada em  $t=0$ .



a) Logo após a chave ser fechada ( $t=0$ ) classifique a corrente na fonte ( $I_0$ ), na

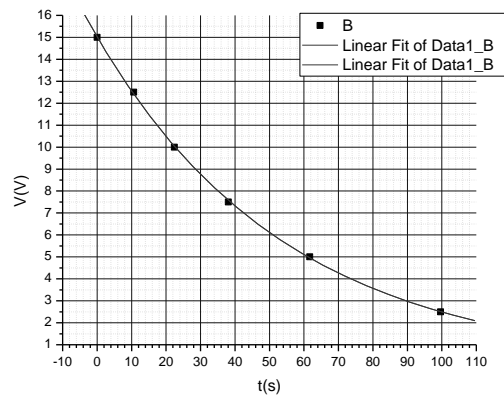
lâmpada ( $I_L$ ), no capacitor  $C_1$  ( $I_{C1}$ ) e no capacitor  $C_2$  ( $I_{C2}$ ).

- b)** Após o sistema atingir o estado estacionário, compare o valor das cargas nos capacitores ( $Q_1$  e  $Q_2$ ) e suas tensões ( $V_{C1}$  e  $V_{C2}$ ).
- c)** Repita os itens a) e b) considerando agora que os capacitores são diferentes, com capacitâncias  $C_1=2C_2=C$ .

**6.** O gráfico ao lado ilustra a curva de decaimento de um circuito RC, ou seja, a dependência temporal da tensão no capacitor,  $V_C(t)$ .

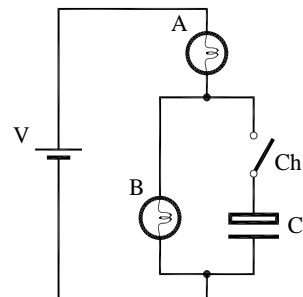
**a)** Faça um gráfico em papel monolog de  $V_C(t)$ .

**b)** Calcule (aproximadamente) a constante de tempo do decaimento.



**7. a)** Duas lâmpadas idênticas e um capacitor (inicialmente descarregado) de capacitância  $C=0.1F$ , são conectados a uma bateria ideal (com tensão  $V=10V$ ) tal como ilustrado na Figura ao lado.

Logo após a chave ser fechada ( $t \sim 0$ ):

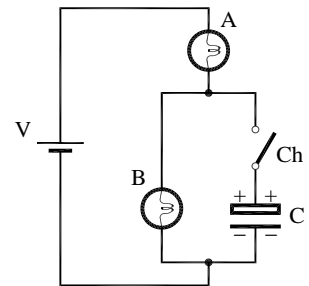


- i) descreva o que observou em relação ao brilho das lâmpadas A e B.
- ii) Qual o valor da diferença de potencial na lâmpada A ( $V_A$ ), na lâmpada B ( $V_B$ ), no capacitor ( $V_C$ )?
- iii) Como uma primeira aproximação, considere que a lâmpada se comporta como um resistor ôhmico, com resistência efetiva de valor  $R=100\Omega$ . Em  $t \sim 0$ , calcule os

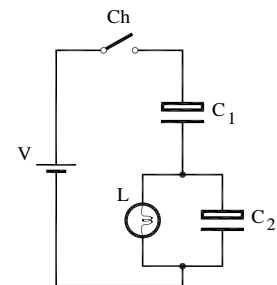
valores das tensões  $V_A$ ,  $V_B$  e  $V_C$ ; e correntes  $I_0$  (da bateria),  $I_A$ ,  $I_B$  e  $I_C$ .

iv) repita o item (iii) no caso  $t \rightarrow \infty$ , ou seja, muito tempo após a chave ser fechada quando o estado estacionário é atingido.

b) considere agora o caso em que inicialmente ( $t \sim 0$ ) o capacitor está carregado com tensão  $V_C(t \sim 0) = V$ . Repita todo o problema a) considerando esta situação.



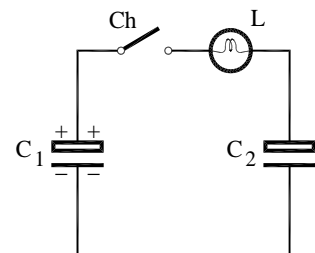
8. Faça um prognóstico detalhado (de modo análogo ao feito no exercício 7) o comportamento do circuito ao lado, supondo que inicialmente os dois capacitores estejam descarregados e que as capacitâncias sejam iguais ( $C_1 = C_2 = C$ ).



9. Considere o experimento realizado nesta prática (V.A), com dois capacitores idênticos,  $C_1 = C_2 = C$ . Inicialmente (antes da chave ser fechada)  $C_1$  está carregado, com carga  $Q_{10} = V.C$ , e  $C_2$  descarregado ( $Q_{20} = 0$ ).

a) Qual o valor das cargas  $Q_1$  e  $Q_2$ , muito tempo após a chave ser fechada?

b) Compare o valor da carga inicial  $Q_i = Q_{10} + Q_{20}$  com a



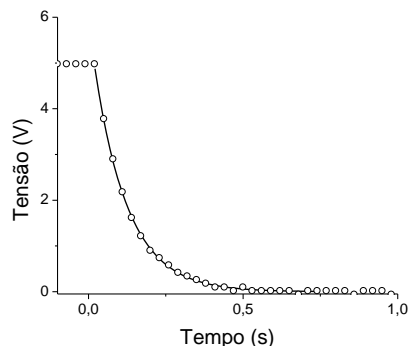
carga final  $Q_f = Q_1 + Q_2$ .

- c) A Energia armazenada em um capacitor é dada por  $U = V \cdot Q / 2$ . Calcule a energia inicial do sistema,  $U_i$ .
- d) Calcule a energia final do sistema,  $U_f$ .
- e) Conclusão: há conservação da carga do sistema? Há conservação da energia do sistema?

10. Um estudante realizou um experimento descarregando um capacitor (C) através de um resistor  $R = 1000 \Omega$ . A resposta transiente da tensão no resistor é dada por:

$$V_R(t) = 5,0 \cdot \exp(-9,8t),$$

(dados no MKS)



tal como mostra o gráfico, onde  $t = 0$  representa o instante em que a chave foi fechada e o capacitor começou a descarregar.

- a) Qual o valor da tensão inicial (em  $t=0$ ) do capacitor,  $V_C(0)=V$ ?
- b) A partir de  $V_R(t)$ , calcule a dependência da corrente,  $I(t)$ .

**Obs:** lembre-se da relação entre  $Q(t)$  e  $I(t)$

- c) Obtenha o comportamento da carga no capacitor,  $Q(t)$ , e o valor da carga inicial,  $Q_0$ .
- d) Suponha agora que em outro experimento, mas com o mesmo capacitor (C) e resistor (R), a tensão inicial fosse  $V' = V/2$ . Qual seria o novo valor da carga inicial,  $Q_0'$ ?

- 
- e) Você deve ter chegado à conclusão que  $Q_0$  é proporcional a  $V$ , ou seja,  $Q_0=C.V$ . Podemos afirmar que, em qualquer instante,  $Q(t)=C.V(t)$ , onde  $C$  é uma constante? Por quê?
- f) É interessante agora refazer o problema considerando o caso geral, ou seja, a resolução literal do problema onde  $V_R(t)=V.exp(-t/\tau)$ . A partir disto, obtenha  $I(t)$ ,  $Q(t)$  e a constante  $C$ , a qual deve ser expressa em termos de  $R$  e  $\tau$ . Verifique se esta solução está de acordo com o que você concluiu nos itens anteriores.