

# CARGA E DESCARGA DE CAPACITORES

## Introdução

O capacitor é um componente eletrônico constituído de duas placas condutoras de corrente elétrica separadas por um material isolante denominado de dielétrico (armaduras). A principal característica de um capacitor é a sua capacidade de acumular cargas.

## Carga de um capacitor

Para estudar o comportamento de um circuito RC, podemos utilizar o circuito esquematizado na Figura 1. Quando uma tensão  $V$  é colocada no Gerador o processo de carga no capacitor é iniciado. A carga é feita em um intervalo de tempo que depende da capacitância  $C$  do capacitor e da resistência do resistor  $R$  em série no circuito, que pode ser até a resistência interna do próprio voltímetro. No nosso experimento será associado um resistor  $R$  em série com o capacitor.

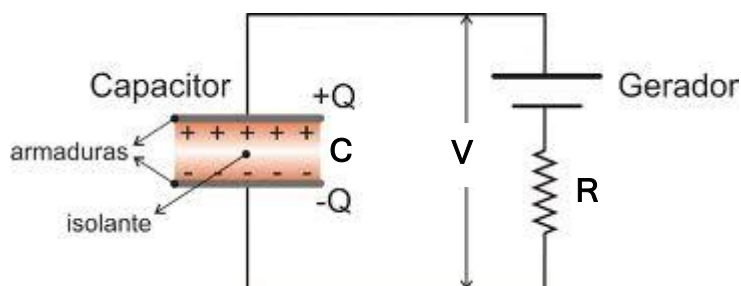


Figura 1: Esquema simplificado de um circuito utilizado para entender o processo de carga de um capacitor em um circuito RC.

Ao colocarmos tensão na fonte igual a  $V$ , teremos:

$$V_R + V_C = V \quad (1)$$

onde  $V_R$  é a tensão nos terminais do resistor e  $V_C$  a tensão nos terminais do capacitor. Entretanto, pela primeira lei de ohm:

$$V_R = Ri = R \frac{dq}{dt} \quad (2)$$

e a tensão no capacitor é dada por:

$$V_c = \frac{q}{C} \quad (3)$$

onde  $q$  é a carga do capacitor. Portanto, substituindo as Equações (2) e (3) na Equação (1), temos:

$$V = R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} \quad (4)$$

A solução desta equação a partir de um tempo  $t_0$  é:

$$q = CV(1 - e^{-\frac{(t-t_0)}{RC}}) \quad (5)$$

Como CV é a carga final do capacitor que é igual a Q, pode-se escrever:

$$q = Q(1 - e^{-\frac{(t-t_0)}{RC}}) \quad (6)$$

Analisando a Equação (6), verifica-se que, quando  $(t - t_0) \gg RC$ , o valor de q tende assintoticamente a  $Q = CV$ . Além disso, quando  $(t - t_0) = RC$ , teremos:

$$q = Q(1 - e^{-1}) = 0,63 Q \quad (7)$$

O valor RC é denominado constante de tempo do circuito e é representado pela letra  $\tau$ . A Equação (7) mostra que o capacitor estará carregado com 63% da carga máxima quando o tempo  $(t - t_0)$  for igual a  $RC = \tau$ .

Na prática, quando  $(t - t_0) = 3 \tau$ , o capacitor estará praticamente carregado, ou seja, com 95% de sua carga total. Para um dado capacitor, a constante de tempo será tanto maior quanto maior for o valor da resistência do resistor ligado em série com o capacitor. Assim, a carga tenderá mais rapidamente para o seu valor final quando R for pequeno e mais lentamente quando R for grande.

Substituindo a Equação (6) nas Equações (2) e (3), é possível determinar o comportamento da tensão elétrica no resistor ( $V_R$ ) e no capacitor ( $V_C$ ) em função do tempo. Assim, a tensão no resistor será dada por:

$$V_R = V(e^{-\frac{(t-t_0)}{RC}}) \quad (8)$$

e a do capacitor será:

$$V_C = V - V_R = V(1 - e^{-\frac{(t-t_0)}{RC}}) \quad (9)$$

Assim como foi discutido para a Equação (6), a tensão no capacitor será igual a 63% da tensão máxima quando o tempo  $(t - t_0)$  for igual a  $RC = \tau$ .

### **Descarga de um capacitor**

Supondo que o gerador ou fonte de tensão permaneça ligado por um tempo  $(t - t_0) \gg RC$ , o capacitor estará, para todos os efeitos, plenamente carregado, podendo, então, considerar a carga igual a Q. Desligando a fonte de tensão, o capacitor se descarregará através do resistor R e teremos:

$$V_R + V_C = 0$$

$$Ri + \frac{q}{C} = 0 \quad (10)$$

Substituindo  $i$  por  $dq/dt$ , teremos:

$$R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0 \quad (11)$$

Cuja solução será:

$$q = Qe^{-\frac{(t-t_0)}{RC}} \quad (12)$$

onde  $Q$  é a carga inicial do capacitor. A constante de tempo  $RC$  aparece nessa expressão da descarga do capacitor bem como no processo de carga. Analisando a expressão de descarga do capacitor, podemos constatar que, para um tempo  $t = RC$ , a carga do capacitor será reduzida a  $Qe^{-1}$ , que corresponde a  $0,37Q$ , ou seja, 37% da carga inicial. Fazendo  $i = dq / dt$ , podemos determinar o comportamento da corrente durante a descarga. Assim,  $i$  será:

$$i = \frac{Qe^{-\frac{(t-t_0)}{RC}}}{RC} = \frac{Ve^{-\frac{(t-t_0)}{RC}}}{R} \quad (13)$$

E a tensão no capacitor será:

$$V_C = Ve^{-\frac{(t-t_0)}{RC}} \quad (14)$$

A Figura 2 mostra as curvas de carga e descarga de um capacitor.

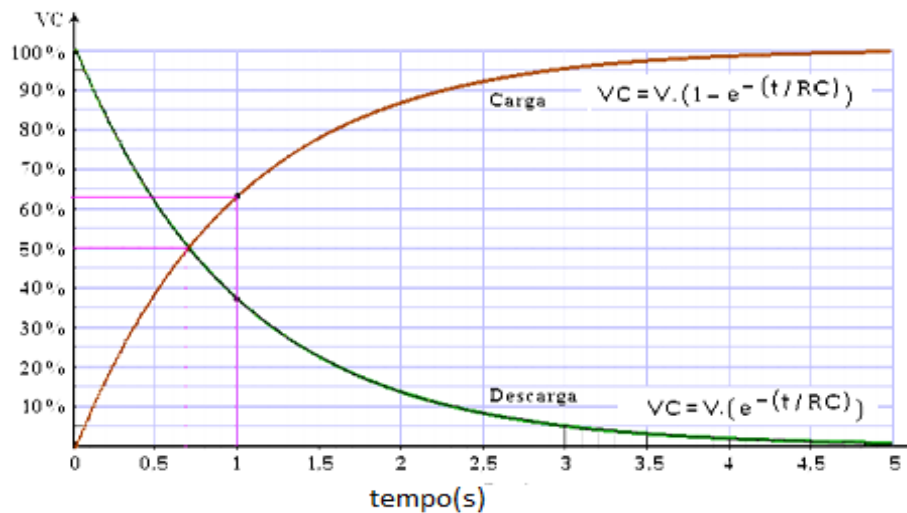


Figura 2: Curvas mostrando o processo de carga e descarga de um capacitor de  $1000 \mu\text{F}$  ( $\pm 5\%$ ) em um circuito com resistor de  $1 \text{ k}\Omega$  ( $\pm 10\%$ ) para  $t_0 = 0 \text{ s}$ .

## Atividade experimental

### 1. Objetivos

O objetivo desta atividade prática é contribuir para a compreensão do processo de carga e descarga de capacitores e do significado da constante de tempo de um circuito RC.

### 2. Materiais e Métodos

Os materiais necessários para realização deste experimento são:

- Placa Arduino;
- Cabos;
- Multímetros;
- Jumpers;
- Placa de teste;
- Potenciômetro;
- Capacitores.

#### Roteiro Experimental:

- I. Monte o circuito de acordo com a Figura 3, utilizando o capacitor de menor valor nominal disponibilizado na bancada;
- II. Coloque o jumper (ou um cabo de chaveamento) na posição AB (**Descarga**), para garantir que o capacitor estará vazio;
- III. Ligue o cabo na porta USB do PC e rode o programa específico fornecido para a aquisição de dados do experimento;
- IV. Verifique se a porta serial foi identificada, e automaticamente conectada, ou utilize a conexão manual para conectar;
- V. Clique em **Medir** para iniciar a coleta de medidas;
- VI. Mude o jumper (ou o cabo de chaveamento) para a para posição CD (**Carga (C)**);
- VII. Observe a coleta de medidas de carga do capacitor e aguarde atingir a saturação em torno de 5 V para mudar a posição do jumper (ou cabo de chaveamento) para posição AB (**Descarga (D)**);
- VIII. Observe a coleta de medidas de descarga do capacitor até atingir um valor próximo de 0 V e depois clique em **Parar**;
- IX. Clique em **Abrir Pasta** para visualizar o arquivo com os dados obtidos;
- X. Renomeie o arquivo que foi salvo para identificar a que experimento os dados se referem, principalmente indicando os valores do capacitor e resistor;
- XI. Refaça o experimento para o segundo capacitor, com o mesmo valor do resistor usado no item I;

- XII. Refaça o experimento usando o maior capacitor e uma resistência em torno de 50% do valor inicial, como indicado na Figura 4 (Lembre-se de fazer a medida da resistência usando o multímetro).

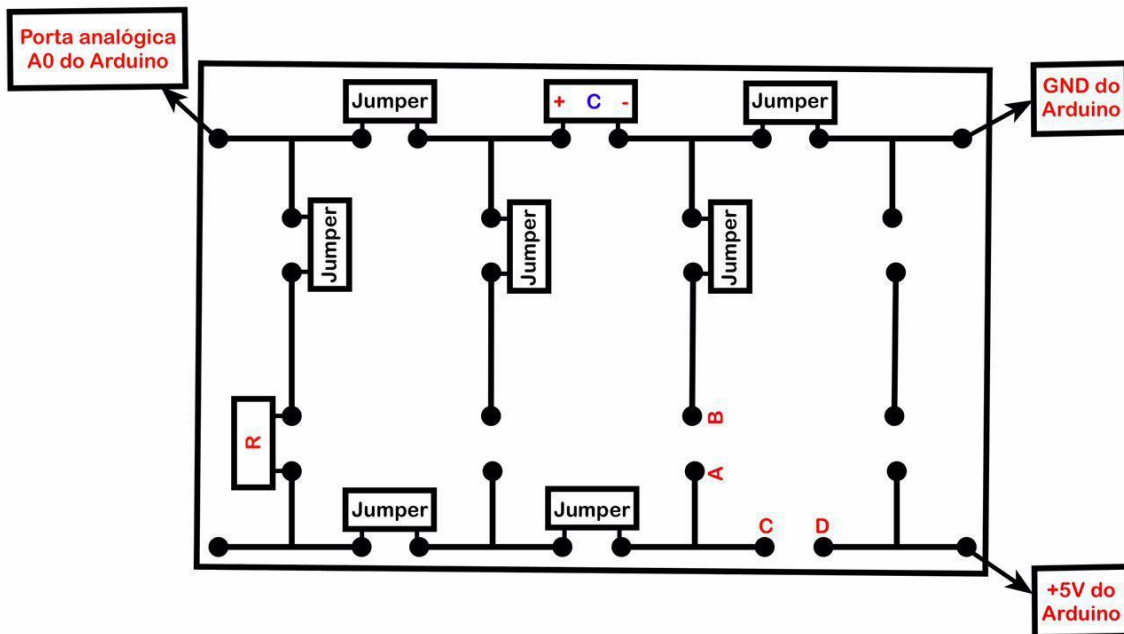


Figura 3: Esquema elétrico para o experimento de carga e descarga de capacitores, onde um jumper na posição AB corresponde a descarga e na posição CD corresponde a carga, usando a resistência R.

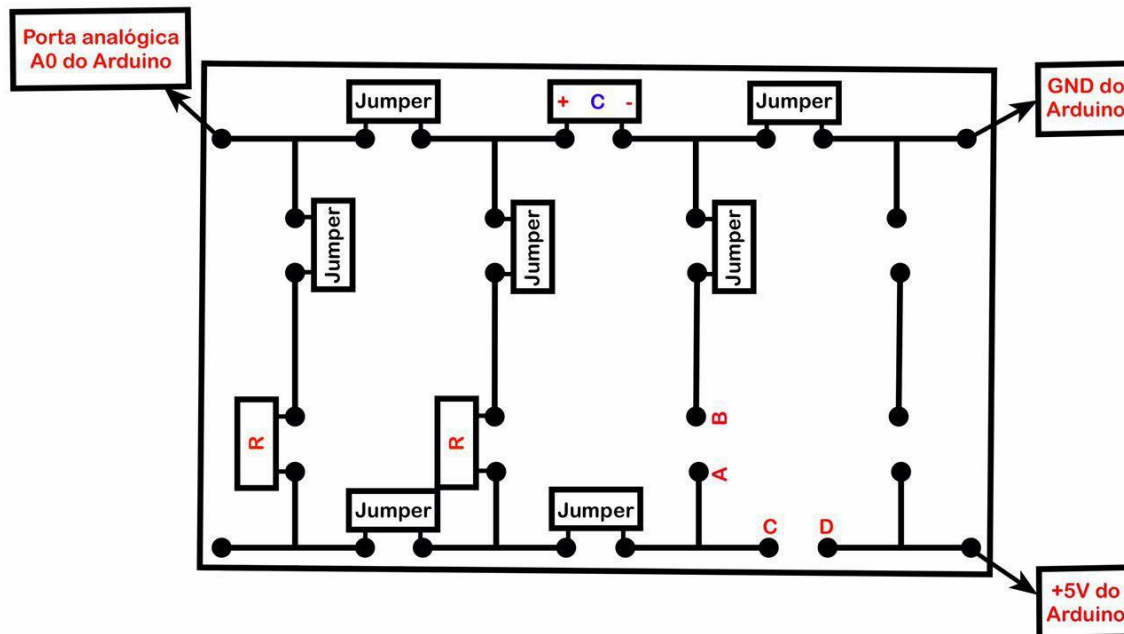


Figura 4: Esquema elétrico para o experimento de carga e descarga de capacitores, onde um jumper na posição AB corresponde a descarga e na posição CD corresponde a carga, usando uma resistência menor ( $R/2$ ).

### 3. Discussão

1. Construa gráficos de tensão versus tempo para os processos de carga e descarga de cada combinação RC utilizada.
2. Determine no gráfico os valores da constante de tempo ( $\tau$ ) de cada circuito, tanto pelos pontos de 63% da tensão total (nas curvas de carga) e de 37% da tensão total (nas curvas de descarga), quanto por dados obtidos de ajustes feitos utilizando as equações de carga e descarga. Nos ajustes, deverão ser utilizadas as Equações 9 e 14 e o aluno deverá usar o modo de ajuste livre do programa para introduzir as equações, informando inclusive o valor da tensão máxima e do tempo inicial. Este tempo inicial ( $t_0$ ) é o tempo em que foi iniciado o processo de carga ou de descarga. São, portanto, tempos diferentes para cada curva. Estes tempos iniciais devem ser descontados também dos valores de tempo determinados pelos pontos de 63% da tensão total (nas curvas de carga) e de 37% da tensão total (nas curvas de descarga). Preencha a Tabela 1.
3. Para cada um dos dois métodos gráficos, faça a média dos valores de  $\tau$  determinados pelo processo de carga e de descarga e com os valores determinados a partir dos valores nominais da capacitância e dos valores das resistências determinados pelo ohmímetro preenchendo a Tabela 1.

Tabela 1: Dados dos experimentos de carga e descarga de capacitores pelos métodos percentual de carga/descarga e do ajuste carga/descarga.

Experimento de Carga e Descarga de Capacitores			
	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 3
$R \pm \sigma_R$ ( $\Omega$ )			
$C \pm \sigma_C$ (F)			
$\tau \pm \sigma_\tau$ esperado (s)			
$\tau$ carga % (s)			
$\tau$ descarga % (s)			
<b><math>\tau</math> médio % (s)</b>			
<b>Erro Relativo (%)</b>			
$\tau \pm \sigma_\tau$ ajuste carga (s)			
$\tau \pm \sigma_\tau$ ajuste descarga (s)			
<b><math>\tau \pm \sigma_\tau</math> ajuste % (s)</b>			
<b>Erro Relativo (%)</b>			

4. Discuta o tempo de carga e descarga nas diferentes combinações de resistências e capacitâncias, analisando a sua dependência com a variação na resistência (em casos de capacitância constante) e com a capacitância (em casos de resistência constante).
5. Escolha o método mais adequado para determinação de  $\tau$ , fazendo a devida justificativa;
6. Supondo que o valor de  $R \pm \sigma_R$  medido com o ohmímetro foi confiável, determine o valor de  $C$  dos dois capacitores usados no experimento com a sua respectiva incerteza  $\sigma_{\text{Capacitor}}$  e represente o resultado na forma  $C \pm \sigma_{\text{Capacitor}}$ .
7. Determine o erro experimental na determinação de  $C$  em relação ao valor impresso no corpo dele.