



Kit de Física de baixo custo: utilizando o Arduino para a aquisição de dados em experimentos de carregamento de capacitores em ambiente residencial

Carlos Renato Borges dos Santos¹

¹Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM
RODOVIA MG-188, KM 167 - PARACATUZINHO cep: 38603402
CAIXA POSTAL 134 Paracatu/MG

carlosrenato@iftm.edu.br

Abstract. *This article describes a didactic way to use Arduino in the charging and capacitors experiment, in a residential environment. In a context of residential isolation and absence of laboratory practices, the proposed experiment becomes an alternative to complement learning in a practical way. It is, therefore, a low-cost kit, in which the Arduino performs the capture of voltage over time, as a way of constructing the voltage curve. In the presented algorithm, the value of the time constant τ is also obtained from the measurements performed.*

Resumo. *Este artigo descreve uma forma didática de utilizar o Arduino no experimento de carga e de capacitores, em ambiente residencial. Em contexto de isolamento residencial e ausência de práticas laboratoriais, o experimento proposto torna-se uma alternativa para complementar o aprendizado de forma prática. Trata-se, portanto, de um kit de baixo custo, em que o Arduino realiza a captação da tensão ao longo do tempo, como forma de construção da curva de tensão. No algoritmo apresentado, também é obtido o valor da constante de tempo τ a partir das medições realizadas.*

1. Introdução

O experimento de carregamento de capacitores é realizado nos cursos em que existem laboratórios de Física, normalmente envolvendo pelo menos três alunos, os quais desempenham as seguintes funções: o primeiro para medir o tempo (com cronômetro), o segundo para medir a tensão (utilizando voltímetro) e, o terceiro para anotar os valores no roteiro. Esse processo captura poucos pontos, os quais muitas vezes encontram-se dispersos uns dos outros, devido ao tempo gasto para anotar os dados manualmente. Além disso, necessita-se de equipamentos, tais como fonte CC, multímetro ou osciloscópio e cronômetro, os quais são escassos em alguns laboratórios, como visto em roteiros de laboratório [UFU, UFES 2016].

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica programável numa linguagem de programação padrão, a qual é essencialmente C/C++ [Santos 2021].

Experimentos envolvendo o Arduino podem ser desenvolvidos, com procedimentos manuais, tal como ocorreu nos trabalhos de [Cavalcante et al. 2011, de Souza et al. 2021]. Nesses experimentos, o capacitor é inserido ao Arduino com chaves mecânicas.

Outro experimento, de forma a visualizar o procedimento de carga e de descarga de um capacitor, por meio da intensidade luminosa de LEDs, pode ser encontrado em [Martins et al. 2005].

Na proposta deste trabalho, cada aluno pode realizar o experimento individualmente, necessitando-se de poucos equipamentos, os quais serão tratados na próxima seção. Como principais vantagens desse experimento, podem ser citadas:

1. baixo custo;
2. obtenção de grande quantidade de pontos de medição;
3. cada aluno pode realizar o seu experimento;
4. experimento multidisciplinar, pois envolve Física, Programação e Microcontroladores;
5. não há a necessidade de laboratórios específicos para experimentos de Física, bastando ter uma bancada com os itens da lista de materiais.

O circuito básico do procedimento de carga do capacitor é mostrado na Figura 1. Neste circuito, a chave **Ch** é fechada em $t = 0$, momento em que o capacitor começa a carregar.

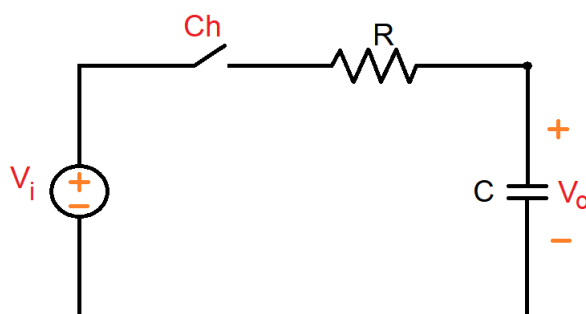


Figura 1. Circuito de carga de um capacitor.

Os elementos R e C produzem uma constante de tempo, dada pela Equação 1.

$$\tau = R \cdot C \quad (1)$$

A equação que rege o carregamento do capacitor é dado pela Equação 2 [Capuano and Marino 1997, Halliday et al. 2013].

$$V_o = V_i \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (2)$$

O processo de carga do capacitor é visto na Figura 2. Nessa figura, o eixo x encontra-se relacionado à constante de tempo τ . Quanto ao eixo y , este encontra-se relacionado ao percentual do valor da fonte CC.

Observando a Figura 2, o tempo necessário para carregar o capacitor, de 0 a 63,21 %, é dado por τ . O intervalo de tempo de $5 \cdot \tau$ é suficiente para considerar que o capacitor encontra-se carregado [Capuano and Marino 1997]. Entretanto, experimentalmente, percebe-se que o valor máximo obtido é de $4 \cdot \tau$, uma vez que o valor máximo de tensão conseguido foi de aproximadamente 4,9 V.

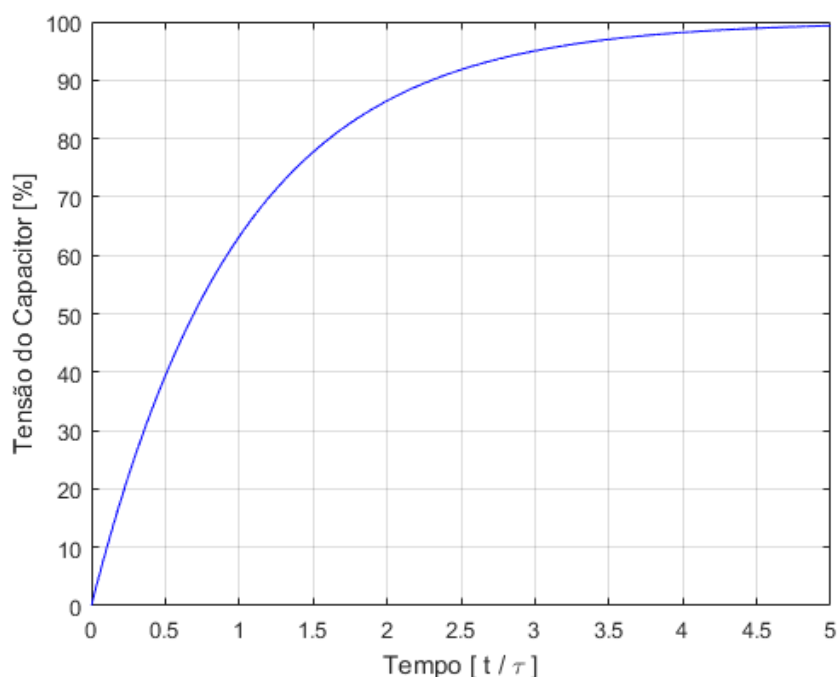


Figura 2. Carga de um capacitor.

As constantes de tempo τ , $2 \cdot \tau$, e $3 \cdot \tau$ são obtidas pelo primeiro ponto medido após a medição atingir os valores, respectivamente, de 66, 21 %, 86, 46 % e 95, 02 %, que são medições correspondentes a 3,1 Volts, 4,3 Volts e 4,7 V.

2. Material e métodos

Nesta seção são apresentados os materiais e a metodologia do experimento. Quanto aos materiais, são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Lista de materiais.

	Quantidade
Computador	1
Cabo USB	1
Arduino	1
Resistor	1 (acima de 270Ω)
Capacitor	1 x 10uF (ou maior)
Protoboard	1 x 200 pontos
Fios	3

O computador, embora seja um dispositivo de custo mais elevado, é largamente utilizado, sendo necessário apenas que tenha instalado o aplicativo *Arduino IDE*, que existe na versão para Windows, Linux e MaC OS X.

A Figura 3 mostra o circuito necessário para o experimento de carregamento do capacitor. O Arduino funcionará como a chave e a fonte mostradas na Figura 1, além de funcionar como voltímetro.

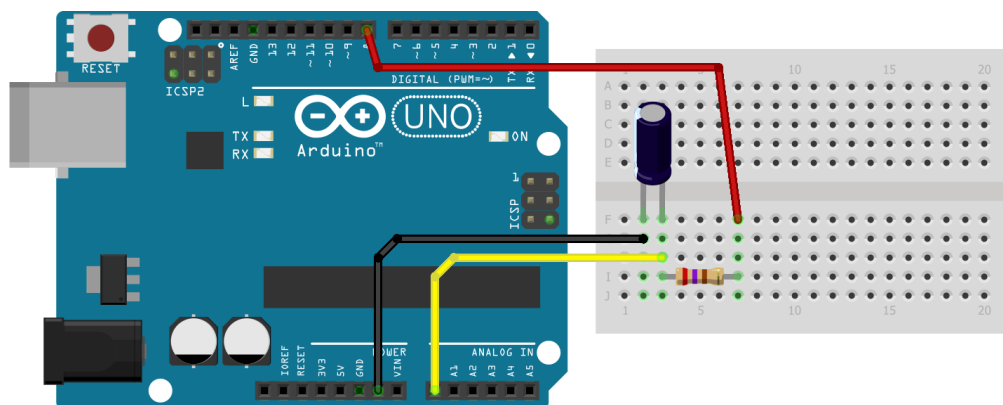


Figura 3. Circuito para o experimento de carga de um capacitor.

A tensão de trabalho dos pinos do Arduino é de 5 V. A corrente máxima dos pinos do Arduino é de 20 mA [Arduino 2021]. Em razão disso, o valor mínimo de resistência a ser utilizado no experimento de carga do capacitor é calculado pela equação 3.

$$R_{min}[\Omega] = \frac{5000}{20} = 250\Omega \quad (3)$$

A montagem do circuito é mostrado na Figura 4.

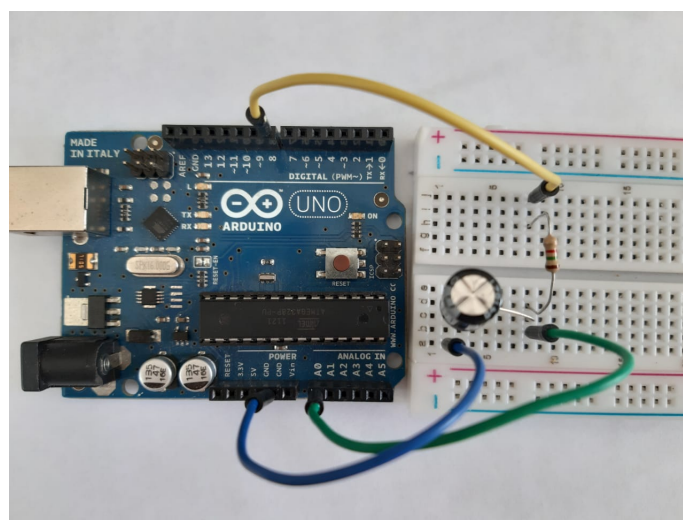


Figura 4. Montagem do circuito.

No experimento desenvolvido, o pino A0 é colocado temporariamente como pino de saída, em nível lógico baixo. Já o pino 8 é definido como saída, temporariamente em nível lógico zero. Esses procedimentos são realizados para que o capacitor seja descarregado. Para garantir que o capacitor seja totalmente descarregado, o procedimento de carregamento apenas será inicializado quando a medição do canal analógico A0 meça o valor 0. A partir desse ponto, ao digitar a tecla S (de Start), o procedimento é realizado, acionando o pino A0 como entrada (input) e elevando a saída 8 para o nível lógico alto, permitindo o carregamento do capacitor. A partir desse momento, os dados são enviados para o Monitor Serial do Arduino IDE.

A Figura 5 mostra o monitor serial, uma vez ligado o circuito.

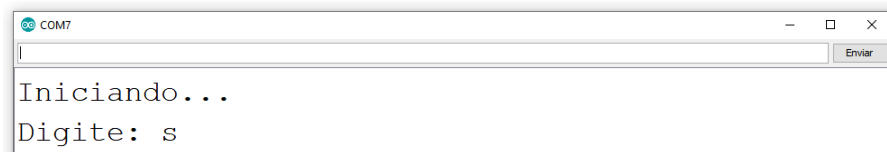


Figura 5. O monitor serial para inicialização e aquisição de dados.

Os resultados apresentados após alguns experimentos são mostrados na próxima seção.

3. Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados de dois experimentos realizados. O experimento 2 possui constante de tempo da ordem de 10 vezes maior do que o experimento 1.

3.1. Experimento 1

Neste experimento, utilizou-se um resistor de $1,5\text{ k}\Omega$ e um capacitor de $220\text{ }\mu\text{F}$. Os resultados obtidos pelo monitor serial são mostrados na Figura 6. Nas últimas linhas do monitor serial são mostradas as constantes de tempo medidas: τ , $2 \cdot \tau$ e $3 \cdot \tau$.

Observando a Equação 1, a constante de tempo calculada para o Experimento 1 é calculado pela Equação 4.

$$\tau_1 = R \cdot C = 1,5k \cdot 220\mu = 330ms \quad (4)$$

t [ms]	V [mV]
0	9
101	1290
201	2218
301	2898
403	3406
503	3782
603	4071
704	4281
804	4442
904	4569
1005	4662
1105	4731
1206	4784
1307	4828
1407	4858
1507	4887
1608	4907

Fim de medicao
Tau: 403
2 x Tau: 804
3 x Tau: 1206

Figura 6. Serial monitor do Experimento 1.

Na Figura 6, nota-se que os valores medidos da constante τ_1 é diferente do valor calculado pela Equação 4. Essa discrepância se dá pela baixa aquisição de dados, uma vez que a constante de tempo é baixa. Entretanto, podem ser utilizadas técnicas de

interpolação para que se possa obter um cálculo mais aproximado a partir das medições realizadas.

Ao copiar os dados, estes podem ser plotados em aplicativos, tais como o Excel ou o Matlab. A Figura 7 mostra os dados plotados no Matlab.

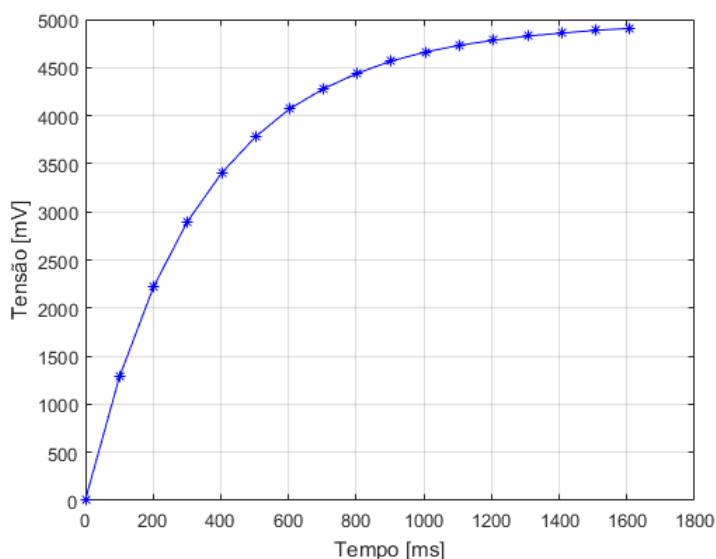


Figura 7. Plotagem dos dados do Experimento 1.

3.2. Experimento 2

Para realizar um experimento com uma constante de tempo maior, foi substituído o resistor por um de $15\text{ k}\Omega$. Utilizando a Equação 1, a constante de tempo calculada para o Experimento 2 é calculado pela Equação 5.

$$\tau_2 = R \cdot C = 15k \cdot 220\mu = 3300ms \quad (5)$$

Alguns dos dados do experimento são mostrados na Figura 8. Devido ao número grande de amostras, nessa figura não foram mostrados todos os dados. Todavia, esses mesmos dados são mostrados na Figura 9. Nesse experimento, o valor de τ aproxima-se do valor calculado na Equação 5. A diferença percebida também pode ser reduzida se for levada em consideração as tolerâncias dos componentes, uma vez que a tolerância do resistor é de 5 % e a do capacitor é de 10 %.

4. Conclusões

Neste artigo foram diversos roteiros e experimentos relacionados ao procedimento de carga de um capacitor. Os procedimentos mais comuns tratam de medições experimentais manuais, o que é importante, mas necessita-se de um laboratório com equipamentos.

Também foram mostrados experimentos envolvendo o Arduino como um instrumento de medição de dados, todavia, nesses experimentos havia a necessidade de chaves mecânicas para o chaveamento do capacitor.

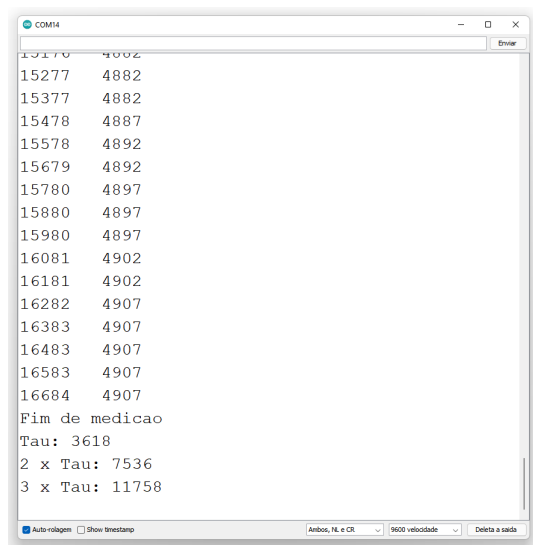


Figura 8. Serial monitor do Experimento 2.

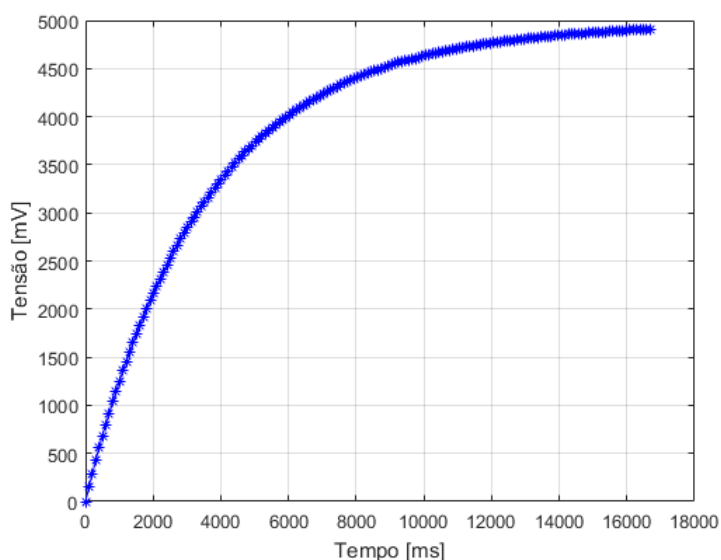


Figura 9. Plotagem dos dados do Experimento 2.

Na presente proposta, desenvolveu-se um procedimento em que o Arduino é o elemento de chaveamento e de aquisição de dados, necessitando-se de poucos recursos, já descritos. O estudante pode ser capaz de realizar o experimento em ambiente residencial. Em contexto de isolamento social e de uma demanda por laboratórios em disciplinas laboratoriais, esta é uma alternativa que pode ser relevante para suprimir a necessidade de recursos que podem ser alocados para outros experimentos.

5. Anexo

Com o intuito de promover o experimento, e de permitir a reprodução dos experimentos realizados, o *sketch* para executar o procedimento de carregamento do capacitor pode ser visto a seguir.



```
1 #define FONTE 8
2 #define LED 13
3 #define CONVAD A0
4 unsigned long tau , tau2 , tau3 , ti , tf;
5 unsigned ad;
6 bool flag = false;
7 bool flagTau = false;
8 bool flagTau2 = false;
9 bool flagTau3 = false;
10 void setup() {
11     pinMode(FONTE, OUTPUT);
12     pinMode(LED, OUTPUT);
13     pinMode(CONVAD, OUTPUT);
14     digitalWrite(LED, 0);
15     digitalWrite(FONTE, 0);
16     digitalWrite(CONVAD, 0);
17     Serial.begin(9600);
18     Serial.println("Iniciando ...");
19     delay(100);
20     do{
21         ad = analogRead(A0);
22     }while(ad>0);
23     pinMode(CONVAD, INPUT);
24     Serial.println("Digite: s");
25 }
26 void loop() {
27     ad = map(analogRead(A0), 0, 1023, 0, 5000);
28     tf = millis();
29     if(flag==true){
30         if(ad<4910){
31             if((ad>=3161)&(flagTau==false)){
32                 flagTau = true;
33                 tau = tf - ti;
34             }
35             if((ad>4323)&(flagTau2==false)){
36                 flagTau2 = true;
37                 tau2 = tf - ti;
38             }
39             if((ad>=4751)&(flagTau3==false)){
40                 flagTau3 = true;
41                 tau3 = tf - ti;
42             }
43             Serial.println(String(tf-ti)+"\t"+String(ad));
44             delay(100);
45         }else{
46             Serial.println("Fim de medicaao");
47             Serial.println("Tau: "+String(tau));
48             Serial.println("2 x Tau: "+String(tau2));
49             Serial.println("3 x Tau: "+String(tau3));
50             digitalWrite(LED, 1);
51             flag = false;
52         }
53     }
54 }
```




```
1 void serialEvent ()
2 {
3   while (Serial.available ()>0){
4     byte x = Serial.read ();
5     if (x=='s'){
6       Serial.println ("t [ms] \ t V[mV]");
7       digitalWrite (FONTE, 1);
8       digitalWrite (LED, 0);
9       ti = millis ();
10      flag=true;
11    }
12  }
13 }
```

Referências

Arduino (2021). Arduino - home.

Capuano, F. G. and Marino, M. A. M. (1997). *Laboratório de eletricidade e eletrônica - teoria e prática*. Editora Érica, 24 edition.

Cavalcante, M. A., Tavoraro, C. R. C., and Molisani, E. (2011). Física com arduino para iniciantes. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 33:4503–4503.

de Souza, L. G., da Costa, D. R. S., de Andrade Esmeraldo, N. F., and da Silva, P. C. L. (2021). O uso do arduino para o estudo de circuitos do tipo rc. *Conexões-Ciência e Tecnologia*, 15:021009.

Halliday, D., Resnick, R., and Walker, J. (2013). *Fundamentos de Física, Vol 3*. LTC.

Martins, T., Ribeiro, A. N., Oliveira, D., Ferreira, N. d. S., Santos, R., Santana, V., and Macêdo, M. A. (2005). Visualização do processo carga descarga em capacitores.

Santos, C. R. B. (2021). *Fundamentos de projetos eletrônicos envolvendo o Arduino - Teoria digital*. Editora Ciência Moderna.

UFES (2016). *Carga e descarga de capacitores*. Universidade Federal do Espírito Santo.

UFU. *Carga e descarga de um capacitor*. Universidade Federal de Uberlândia - Física experimental III.