

USO DO ARDUINO COMO FERRAMENTA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA ANÁLISE DO CARREGAMENTO E DESCARREGAMENTO DE UM CAPACITOR EM UM CIRCUITO RC

Use of arduino as a data acquisition tool for analyzing the charging and discharging of a capacitor in an rc circuit

Rudson Thalison Mendonça Fernandes [rudson.fernandes@alunos.ufersa.edu.br]

Departamento de Ciências Naturais, Matemática e Estatística

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (Ufersa)

Rua Francisco Mota 570, CEP 59625-900, Costa e Silva, Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil

Jusciane da Costa e Silva [jusciane@ufersa.edu.br]

Gustavo Oliveira Gurgel Rebouças [gustavoreboucas@ufersa.edu.br]

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física-Polo 09

Departamento de Ciências Naturais, Matemática e Estatística

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Mossoró

Rua Francisco Mota 570, CEP 59625-900, Costa e Silva, Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil

Recebido: 26/12/25

Aceito: 25/03/2026

Resumo

A compreensão do comportamento dos capacitores, tanto de forma isolada quanto em circuitos simples, é fundamental para que os alunos de Física compreendam a importância desse componente. Embora simples, os capacitores estão presentes em circuitos elétricos desde projetos básicos a sistemas complexos. A relação entre a carga e a diferença de potencial não pode ser o único assunto a ser estudado. A observação do processo de carregamento e descarregamento de capacitores em um circuito RC, por exemplo, é muitas vezes negligenciada em sala de aula, principalmente devido à falta de laboratórios didáticos adequados para turmas do Ensino Médio. Neste trabalho, propomos uma abordagem experimental para o estudo do carregamento e descarregamento de capacitores comerciais em circuitos RC, utilizando a placa de prototipagem Arduino. Por meio desta plataforma, juntamente com sensores de tensão e corrente é possível controlar e monitorar esses valores de forma precisa. Durante o processo de carregamento, os alunos podem observar e automatizar a coleta de dados da corrente elétrica em função do tempo, até que o capacitor atinja sua carga máxima. No caso do descarregamento, é possível analisar como a corrente varia temporalmente à medida que o capacitor se descarrega. Esse tipo de estudo oferece uma oportunidade de aprender de maneira prática e controlada, proporcionando uma compreensão mais profunda dos conceitos de capacitância, resistência e tempo de carga/descarga. A pesquisa proposta visa desenvolver um recurso didático-experimental acessível e eficaz, promovendo uma abordagem alternativa e inovadora no ensino de Física.

Palavras-Chave: Capacitores; Física; Ensino de Física; Arduino.

Abstract

Understanding the behavior of capacitors, both individually and in simple circuits, is fundamental for Physics students to comprehend the importance of this component. Although simple, capacitors are present in electrical circuits ranging from basic projects to complex systems. The relationship

between charge and potential difference cannot be the only subject studied. The observation of the charging and discharging process of capacitors in an RC circuit, for instance, is often neglected in the classroom, mainly due to the lack of adequate teaching laboratories for High School classes. In this work, we propose an experimental approach for the study of the charging and discharging of commercial capacitors in RC circuits using the Arduino prototyping platform. Through this platform, along with voltage and current sensors, it is possible to control and monitor these values precisely. During the charging process, students can observe and automate the data acquisition of the electrical current as a function of time until the capacitor reaches its maximum charge. In the case of discharging, it is possible to analyze how the current varies temporally as the capacitor discharges. This type of study offers an opportunity to learn in a practical and controlled manner, providing a deeper understanding of the concepts of capacitance, resistance, and charge/discharge time. The proposed research aims to develop an accessible and effective teaching-experimental resource, promoting an alternative and innovative approach to Physics teaching.

Keywords: Capacitors; Physics; Physics Teaching; Arduino.

Introdução

O entendimento do comportamento da corrente elétrica e da diferença de potencial (ddp) em capacitores, tanto de forma isolada quanto em circuitos simples, é fundamental para que os estudantes de Física compreendam a importância desse componente. Embora sejam dispositivos simples, os capacitores e resistores estão presentes em circuitos elétricos que variam desde projetos básicos até sistemas complexos. Consequentemente, são primordiais para a assimilação de parâmetros como carga, corrente, tensão, diferença de potencial, resistência e capacitância, entre outros. Assim, esses dois dispositivos elétricos básicos em um circuito apresentam-se como uma boa introdução à eletrodinâmica e aos seus parâmetros fundamentais já mencionados. Destaca-se, neste contexto, a relevância de aulas que envolvam a experimentação e observação para o desenvolvimento prático da área de interesse, em consonância com as diretrizes da Base Nacional Comum Curricular - BNCC (Brasil, 2017).

Ao estudar a associação de circuitos de resistores e capacitores, os estudantes frequentemente se deparam com a análise do circuito resistor-capacitor (RC). Quando conectado a uma fonte de tensão, ocorre o carregamento do capacitor pela corrente que flui através do resistor até que o capacitor atinja seu limite máximo de carga para aquela tensão específica. Por outro lado, o descarregamento acontece quando a fonte de tensão é desconectada e um dos terminais do capacitor carregado é ligado ao terminal do resistor, neste momento, a corrente que atravessa o resistor é responsável pela descarga do capacitor. Nestes casos, a função temporal dos parâmetros é a chave para que os estudantes se familiarizem com dispositivos elétricos básicos. Com base nesses conceitos, Kawamura e Hosoume (2003) reforçam a importância de uma proposta de ensino de Física com ênfase em equipamentos elétricos, destacando que ela deve promover:

“[...] a compreensão dos equipamentos elétricos que povoam nosso cotidiano, desde aqueles de uso doméstico aos geradores e motores de uso industrial, provendo competências para utilizá-los, dimensioná-los ou analisar condições de sua utilização” (Kawamura e Hosoume, 2003).

Propostas de circuitos simples com potencial para uso em sala de aula do Ensino Médio e em anos iniciais de cursos de graduação em Física são apresentadas em trabalhos da área (Ancelmo et al., 2025; Silva, 2025). Estas se somam aos simuladores virtuais (Bassani & Santos, 2023; Cavalcante et al., 2023; Medeiros Jr.; Naia & Lopes, 2024) e à automação e robótica educacional (Pereira, 2016;

Cavalcante & Santos, 2021; Viscovini *et al.*, 2015), configurando-se como abordagens potencialmente eficazes para auxiliar os estudantes nas aulas com ênfase em eletricidade.

A observação experimental do processo de carregamento e descarregamento de capacitores em um circuito RC é, muitas vezes, negligenciada em sala de aula, principalmente devido à falta de laboratórios didáticos adequados para turmas do Ensino Médio (Silva & Leal, 2017). Como alternativa para esta problemática, a placa de prototipagem Arduino (Arduino, 2025), que possui diversas aplicações no ensino de Física (Souza *et al.*, 2021), apresenta-se como uma solução tecnológica prática e acessível para auxiliar os alunos na compreensão experimental e teórica do estudo de circuitos RC. O Arduino facilita a prototipagem, sendo de fácil entendimento para estudantes sem experiência em circuitos eletrônicos e programação de computadores, além de possuir inúmeros exemplos e tutoriais computacionais na obtenção de dados e, conseqüentemente, na análise gráfica dos resultados (Pereira, 2016).

Neste trabalho, propõe-se uma abordagem experimental para o estudo do carregamento e descarregamento de capacitores comerciais em circuitos RC, empregando a plataforma Arduino para o controle e o monitoramento preciso desses valores. Durante o processo de carregamento e descarregamento, os alunos podem observar e automatizar a coleta dos parâmetros de interesse em função do tempo.

Carga e Descarga de um Capacitores

Os capacitores são componentes elétricos e eletrônicos cuja carga elétrica acumulada (q) possui uma relação direta com a diferença de potencial (V) entre seus terminais. Essas duas grandezas são relacionadas pela equação:

$$q = CV \quad (1)$$

Onde C é a capacitância do capacitor, expressa em farad (F) no Sistema Internacional de Unidades (SI), q é a carga, em coulomb (C), e V é a diferença de potencial, em volt (V). A Figura 1(a) ilustra o esquema de montagem básica de um circuito RC, inicialmente desconectado e, conseqüentemente, com o capacitor C descarregado.

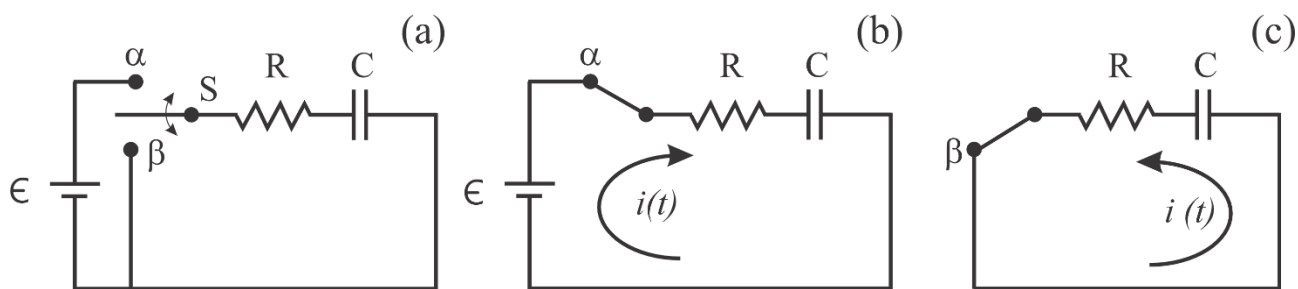


Figura 1: (a) Circuito RC série com chave aberta com fonte. (b) Circuito RC série com chave S fechada em α , caracterizando o carregamento do capacitor. (c) Circuito RC série com chave S fechada em β , caracterizando o descarregamento do capacitor.

Fonte: Os autores.

O estudo dos processos de carga e descarga de um capacitor em circuito RC é fundamentado nas Leis de Kirchhoff, associadas à definição de corrente elétrica e à variação de potencial elétrico no circuito. As soluções para esses processos são obtidas a partir de equações diferenciais ordinárias (para mais detalhes, consultar as referências Nilsson & Riedel, 2016; Nussenzveig, 2015).

No processo de carregamento, a chave S é conectada à posição α , e o resistor R e o capacitor C ficam ligados em série com a fonte, que fornece uma força eletromotriz (ϵ), conforme a Figura 1(b). Isso estabelece uma corrente elétrica dependente do tempo. Deste modo, a carga do capacitor em função do tempo, $q(t)$, é dada por:

$$q(t) = C\epsilon \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right). \quad (2)$$

Utilizando a definição da corrente elétrica, $i(t) = dq/dt$, a corrente elétrica no circuito em função do tempo será:

$$i(t) = \frac{\epsilon}{R} e^{-t/RC} \quad (3)$$

Associando as Equações (1) e (2), é possível prever a diferença de potencial entre os terminais do capacitor, que será:

$$V(t) = \epsilon(1 - e^{-t/RC}) \quad (4)$$

No processo de descarregamento, com a chave S conectada à posição β , conforme a Figura 1(c), o capacitor, após seu carregamento completo, é desligado da fonte de força eletromotriz (ϵ). Um de seus terminais é ligado ao resistor (R), o que faz surgir uma corrente $i(t)$ responsável pela descarga do componente. Neste caso, a carga do capacitor em função do tempo será dada por:

$$q(t) = q_0 e^{-t/RC} \quad (5)$$

Onde q_0 é a carga inicial do processo de descarga do capacitor. Tendo em vista que o descarregamento do capacitor será realizado após o carregamento conforme a Equação (2), e supondo que o capacitor tenha atingido a carga máxima no processo de carregamento, tem-se, $q_0 = C\epsilon$. A corrente de descarga em função do tempo será:

$$i(t) = -\frac{\epsilon}{R} e^{-t/RC} \quad (6)$$

O sinal negativo na corrente elétrica indica a inversão do sentido em relação ao sentido adotado na Figura 1(b). Além disso, o tempo de carga ou descarga em um circuito série RC pode ser determinado como cinco vezes a constante de tempo τ , dada por, $\tau = RC$. A diferença de potencial para o capacitor em descarga é obtida por:

$$V(t) = \epsilon e^{-t/RC} \quad (7)$$

A Figura 2 apresenta o comportamento gráfico das funções temporais para o carregamento e descarregamento de um capacitor em um circuito RC, para a carga em função do tempo, (Figura 2(a)), a diferença de potencial na Figura 2(b) e a corrente (Figura 2(c)), indicando os comportamentos das Equações de (2) a (7). Ilustra-se, inicialmente o carregamento e, em seguida, o descarregamento. O carregamento é iniciado em $t = 0$ e o descarregamento em $t = t_c$, o que equivale a substituir o tempo em todas as equações de descarga por $t_c - t$, para este trabalho, foi utilizado $t_c = 5\tau$.

O fator temporal, $\tau = RC$, é chamado de constante de tempo capacitiva e representa o tempo necessário para que a carga do capacitor sofra um aumento aproximado de 63% durante o carregamento; para descarga, neste mesmo intervalo, a carga é reduzida em aproximadamente 37%. Desse modo, pode ser usado como tempo de carga e descarga cinco vezes o fator temporal (5τ), que corresponde aproximadamente a 99 % do tempo de carga ou descarga completa (El-Tawargy e Elshabaan, 2023).

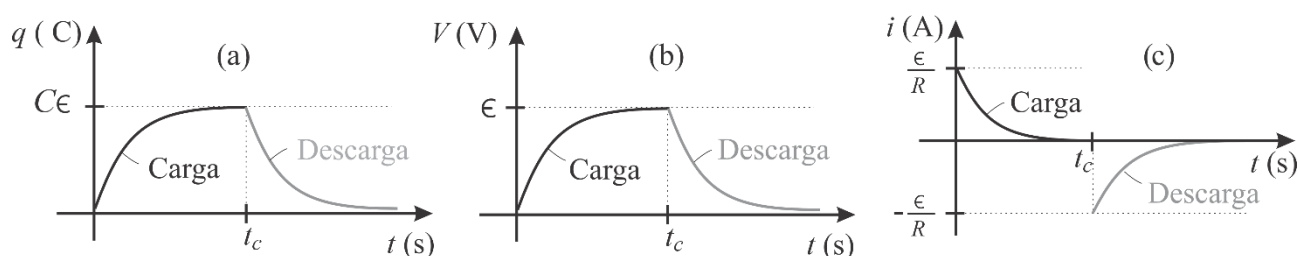


Figura 2: Comportamento gráfico para o carregamento e descarregamento de um capacitor em um circuito RC: (a) carga, (b) Diferença de potencial e (c) corrente.

Fonte: Os autores.

De modo geral, a capacitância é tradicionalmente estudada por meio de curvas de carga e descarga para $i(t)$ e $V(t)$, acompanhadas de planilhas laboratoriais para aquisição de dados (Moya, 2019). Será apresentado neste trabalho um procedimento de controle e automação da aquisição de dados para o estudo da carga e descarga de um capacitor utilizando a placa de prototipagem Arduino como fonte de alimentação e ferramenta de medida temporal dos parâmetros de interesse. Na seção seguinte, serão apresentados os materiais, a montagem, bem como a programação do Arduino para a aquisição dos dados e consequentemente o estudo do circuito RC.

Materiais e Métodos

Para a montagem do circuito RC controlado pela placa de prototipagem Arduino, foram utilizados: Uma placa Arduino Uno, uma placa protoboard de 400 furos, capacitores de poliéster de 220 nF e de 470 nF, um resistor de 10 MΩ e os fios de conexão. A Figura 3(a) apresenta o esquema de montagem utilizado e a Figura 3(b) mostra a foto do circuito montado. A mudança entre carga e descarga é controlada inteiramente via programação do Arduino (Apêndice). A escolha desses capacitores (220 nF e 470 nF) foi determinada, além da facilidade de serem adquiridos, pela segurança do material de poliéster em relação aos capacitores eletrolíticos. Estes últimos possuem polaridade, e a inversão de corrente durante a fase de descarga poderia ocasionar danos ao componente. O uso do resistor de 10 MΩ, foi escolhido para que a constante do tempo τ resultante fosse da ordem de poucas unidades de segundos, facilitando a análise e a execução do experimento em sala de aula.

A placa Arduino é capaz de medir e salvar valores de medidas físicas. Essa capacidade viabiliza a criação e a plotagem de gráficos para comparação com os valores teóricos (Cavalcante *et al.*, 2011). A estratégia implementada consiste em programar uma porta digital do Arduino, neste trabalho, utilizou-se a Porta Digital 2 para fornecer 5,0 V ao sistema durante um tempo $t_c = 5\tau$, caracterizando o experimento de carga do capacitor, conforme a Figura 1(b). Neste procedimento, é possível medir a ddp e a corrente elétrica a cada 0,25 s, totalizando cerca de 200 pontos experimentais durante todo o processo, o que seria humanamente impossível utilizando um cronômetro controlado manualmente. Essa capacidade viabiliza a criação e a construção de gráficos para estudo e comparação dos parâmetros medidos com os valores teóricos esperados (Cavalcante *et al.*, 2011). Para a descarga, a Porta digital é desligada, o que equivale a levar o potencial neste ponto do circuito a zero, ou ao “GND” (terra) da placa Arduino, proporcionando o descarregamento do capacitor conforme Figura 1(c).

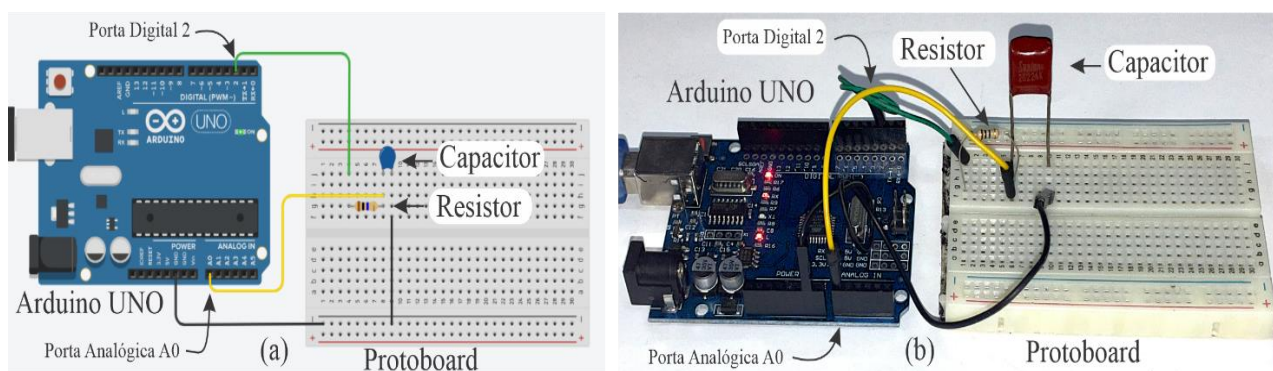


Figura 3: Circuito RC com Arduino. (a) Figura esquemática. (b) Montagem experimental.

Fonte: Autodesk (2025); os autores (2025).

Para a medição da tensão no capacitor, utiliza-se a Porta Analógica A0 do microcontrolador, também indicado na Figura 3. Esta porta é capaz de converter sinais de tensão em valores digitais entre 0 e 1023, onde cada sinal corresponde a aproximadamente 4,88 mV, totalizando o fundo de escala de 5 V da porta do Arduino. Por sua vez, a corrente elétrica é medida indiretamente, aplicando-se as Leis de Kirchhoff e Lei de Ohm ao circuito (Young & Freedman, 2015; Nussenzveig, 2015). Assim, utilizando estes procedimentos, é possível automatizar a coleta de dados para a construção da relação entre ddp e corrente elétrica em função do tempo, registrando múltiplos pontos.

A aquisição dos dados foi realizada por meio do cabo USB-B que conecta o Arduino ao computador. A comunicação é configurada para uma taxa de transmissão de 9600 bits por segundo (*baud rate*) no monitor serial da IDE (ambiente de desenvolvimento) do Arduino. Os dados exibidos no monitor serial são, então, copiados para um arquivo de texto, onde serão posteriormente analisados e discutidos.

Resultados

Foram estudados dois circuitos RC distintos. O Circuito 1: $R = 10 \text{ M}\Omega$ e $C = 220 \text{ nF}$ e o Circuito 2: $R = 10 \text{ M}\Omega$ e $C = 470 \text{ nF}$, ambos alimentados com 5,0 V.

Os resultados para a carga e descarga do Circuito 1 são apresentados na Figura 4, em (a) a diferença de potencial nos terminais do capacitor e, em (b), a corrente, ambos em função do tempo para a carga e a descarga subsequente. A carga cessa no instante t_c , momento em que se inicia a descarga. Os pontos apresentam os resultados obtidos pela proposta do trabalho e a linha contínua, os resultados esperados teoricamente. Há uma boa correlação entre os dados obtidos e os resultados esperados pelas equações já descritas. Os pontos em destaque na Figura 4(a) apresentam a ddp no instante τ ; o resultado (ponto vermelho) coincide com 63% do valor da ddp e, consequentemente, da carga máxima do capacitor conforme as Equações (2) e (4) para $t = \tau$. O ponto azul, do mesmo modo, indica 37% do carregamento em um instante τ após o início do descarregamento. A pequena diferença pode ter ocorrido devido ao fato do Arduino apresentar atraso na tomada de decisão da programação para o desligamento da porta digital que alimenta o circuito, aliado a uma ao fato do processo de descarga não depender da alimentação do sistema e o circuito ficar mais suscetível às tolerâncias do capacitor (10%) e do resistor (5%). Foram medidos 216 pontos ao longo do tempo de carga e descarga para o Circuito 1, e o tempo total foi de 10τ , sendo metade para a carga e a outra metade para a descarga, totalizando 22 s.

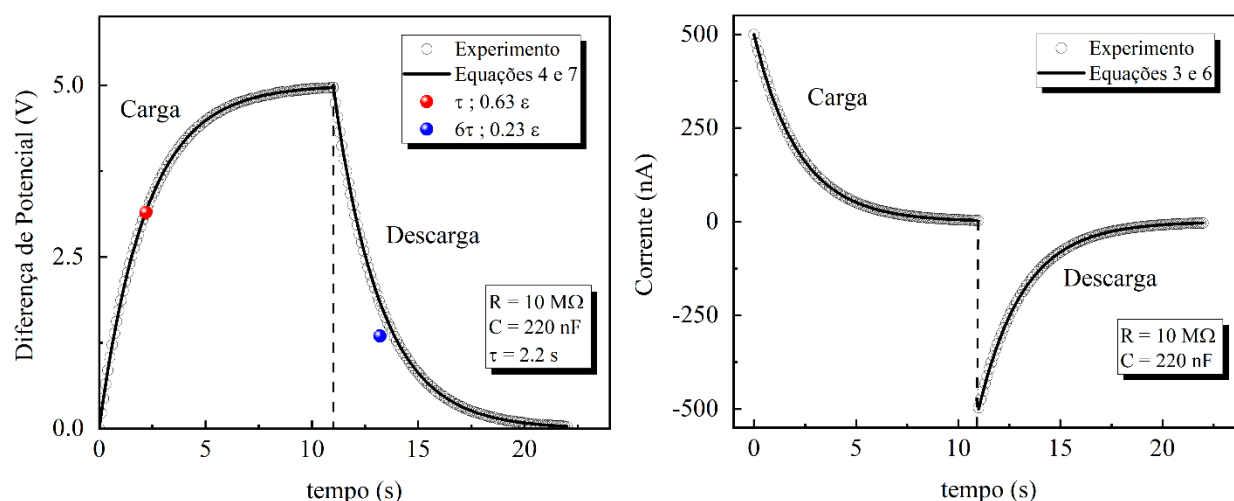


Figura 4: Resultados para a carga e descarga do Circuito 1, $R = 10 \text{ M}\Omega$ e $C = 220 \text{ nF}$. A ddp (a) e da corrente (b). Os pontos indicam os dados obtidos pela montagem e a linha contínua os resultados esperados. Os pontos em destaque em (a) indicam a ddp no tempo capacitivo para a carga e a descarga.
Fonte: os autores (2025).

Do mesmo modo que foi realizado para o Circuito 1, os resultados para a carga e descarga do Circuito 2 são apresentados na Figura 5: em (a), a diferença de potencial nos terminais do capacitor e, em (b) a corrente, ambos em função do tempo para a carga e a descarga em sucessiva. Os instantes para o tempo capacitivo são apresentados em vermelho para a carga e em azul para a descarga, com uma diferença na descarga em relação ao instante esperado, provavelmente pelos motivos já apresentados. Neste caso, foram medidos 188 pontos ao longo do tempo de carga e descarga para o Circuito 2, e o tempo total de 10τ foi de 47 s.

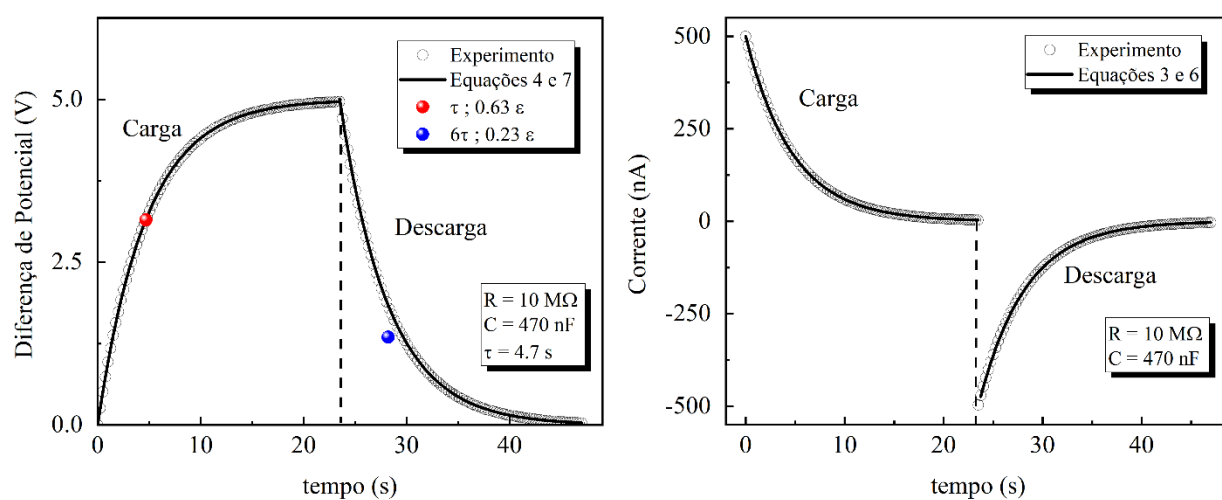


Figura 5: Resultados para a carga e descarga do Circuito 2, $R = 10 \text{ M}\Omega$ e $C = 470 \text{ nF}$. A ddp (a) e da corrente (b). Os pontos indicam os dados obtidos pela montagem e a linha contínua os resultados esperados. Os pontos em destaque em (a) indicam a ddp no tempo capacitivo para a carga e a descarga.
Fonte: os autores.

Em ambos os circuitos, o comportamento apresentou excelente correlação com os resultados esperados, tendo o máximo de ddp medida de 4,97 V no instante t_c para o Circuito 1 e o Circuito 2, ou seja, menos de 1% em relação aos 5,00 V esperados pelas Equações (4) e (7). A medida da corrente máxima para o Circuito 1 para a carga foi de 477,03 nA e 496,58 nA na descarga, valores com desvio inferior a 5% do valor esperado. Para o Circuito 2, obteve-se 473,61 nA como máximo de corrente elétrica na carga e 496,58 nA para a descarga, com valores percentuais muito próximos dos 500 nA esperados teoricamente. Esta diferença nos valores, principalmente na carga, pode ocorrer devido à inicialização da placa Arduino, que controla, ao mesmo tempo, a alimentação e as medidas do sistema.

Considerações Finais

A presente proposta de experimento apresenta o estudo introdutório de circuitos RC utilizando a plataforma Arduino para controle e aquisição de dados de forma automática. A utilização do Arduino, aliada a um procedimento de fácil prototipagem, demonstrou ser uma alternativa tecnológica acessível e uma ferramenta eficaz para enfrentar a carência de laboratórios didáticos convencionais em instituições de ensino. Este método tem potencial para fornecer uma visão clara dos fenômenos elétricos em questão e integrar conceitos de programação e análise de dados, promovendo o desenvolvimento de competências tecnológicas e experimentais nos estudantes.

Apesar da simplicidade da montagem, foi possível obter resultados muito próximos aos valores teóricos esperados. Vale lembrar que há diversas limitações, sendo a principal dela o limite de alimentação do Arduino como fonte de tensão, o que limita a projetos com capacitores e resistores que não tragam riscos ao circuito ou à placa. Essa proposta pode ser aplicada em sala de aula por meio de diversas abordagens, desde metodologias ativas, nas quais o professor pode propor a montagem completa do circuito por grupos de alunos até a execução do experimento como o sistema já montado, a depender das habilidades da turma e da carga horária disponível. Portanto, a ferramenta constitui um recurso prático e eficaz para a observação e a análise experimental do comportamento temporal dos parâmetros básicos deste tipo de circuito elétrico.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação pelo financiamento interno dos Editais 12/2023 e 34/2025, bem como as Chamadas Editais Universais CNPq/MCTI nº 10/2023 - Processo nº 404199/2023-2 e Chamada CNPq/MCTI nº 44/2024 – Processo nº 4211000/2025-7. A Fundação de Amparo e Promoção da Ciência, Tecnologia e Inovação do RN (FAPERN), Edital 28/2024.

Referências

- Ancelmo, J. L. G., Castro, A. G. G., Oliveira, N. C., Silva, J. C. e, & Rebouças, G. de O. G. (2025). Proposta de um circuito simples para a obtenção experimental da constante de Planck. *Caderno Pedagógico*, 22(6), e15253. Acesso em 07 set., 2025. <https://doi.org/10.54033/cadpedv22n6-005>
- Arduino. (2025). *Arduino*. Acesso em 08 dez., 2025. <https://www.arduino.cc/>
- Autodesk. (2025). *Tinkercad – Dashboard*. Acesso em 05 dez., 2025. <https://www.tinkercad.com/dashboard>

Bassani, D., & Santos, R. A. (2023). Tecnologias digitais para o ensino de física: eletricidade e magnetismo no Ensino Médio. *A Física na Escola*, 21(1), 220711–1. Acesso em 28 nov., 2025. <https://fisicanaescola.org.br/index.php/revista/article/view/60>

Brasil. Ministério da Educação. (2017). *Base Nacional Comum Curricular*. MEC. http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_publicacao.pdf

Cavalcante, L. M. de O., Medeiros, S. K. de, Rebouças, G. de O. G., & Silva, J. C. (2023). O uso de objetos virtuais de aprendizagem no ensino de circuito elétrico. *Revista Foco*, 16(2), e882. Acesso em 29 nov., 2025. <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/882>

Cavalcante, M. A., & Santos, E. M. F. (2021). Creative electronics: description of practices based on the TPACK model in the continuous training of technology teachers in hybrid environments. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43, e20210188. Acesso em 01 dez., 2025. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0188>

Cavalcante, M. A., Tavoraro, C. R. C., & Molisani, E. (2011). Física com Arduino para iniciantes. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 33(4), 4503. www.sbfisica.org.br

El-Tawargy, Ahmed S.; Elshabaan, May M (2023). Charging and discharging a capacitor through a DC circuit: “PHET” demonstration and data analysis. *Scientific Journal for Damietta Faculty of Science*, v. 13, n. 1, p. 135–144. Acesso em 02 dez., 2025. <https://sjdfs.journals.ekb.eg/>.

Kawamura, M. R. D., & Hosoume, Y. (2003). A contribuição da física para um novo ensino médio. *A Física na Escola*, 4(2), 19-23.

Medeiros Jr., R. N. N., Naia, M. D., & Lopes, J. B. (2024). Simulações interativas do PhET nas práticas de ensino da física: uma meta-análise. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 46, e20240186. Acesso em 25 nov., 2025. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2024-0186>

Moya, A. A. (2019). An Arduino experiment to study charge–voltage relationships in capacitors. *Physics Education*, 54, 015005. Acesso em 21 nov., 2025. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aaea1d>

Nilsson, J. W., & Riedel, S. A. (2016). *Circuitos elétricos* (10. ed.). Pearson Education do Brasil.

Nussenzveig, H. M. (2015). *Curso de Física Básica: Eletromagnetismo* (2. ed.). Edgard Blücher.

Pereira, N. S. A. (2016). Measuring the RC time constant with Arduino. *Physics Education*, 51(6), 065007. Acesso em 01 dez., 2025. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/51/6/065007>

Silva, D. A. dos. (2025). Por que o meu eletroscópio não funciona? Uma discussão sobre as condições de funcionamento de um eletroscópio e dos materiais utilizados na sua construção. *A Física na Escola*, 23(1), e250319. Acesso em 02 dez., 2025. <https://fisicanaescola.org.br/index.php/revista/article/view/319>

Silva, J. C. X., & Leal, C. E. dos S. (2017). Proposta de laboratório de física de baixo custo para escolas da rede pública de ensino médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 39(1), e1401. Acesso em 23 nov., 2025. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0167>

Souza, L. G. de, Costa, D. R. S. da, Esmeraldo, N. F. de A., & Silva, P. C. L. da. (2021). O uso do

Arduino para o estudo de circuitos do tipo RC. *Conexões – Ciência e Tecnologia*, 15, e021009. Acesso em 23 nov., 2025. <https://doi.org/10.21439/conexoes.v15i0.1914>

Viscovini, R. C. et al. (2015). Maquete didática de um sistema trifásico de corrente alternada com Arduino: ensinando sobre a rede elétrica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 32(3), 856-869. Acesso em 25 nov., 2025. <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2015v32n3p856>

Young, H. D., & Freedman, R. A. (2015). *Física I: Mecânica* (12. ed.). Pearson Addison Wesley.

Apêndice

```
float resistencia = 10e6; // 10 M ohms
float capacitor = 220e-9; // 220 nF
float tensaocap = 0, tensaoresistor = 0, corrente = 0;
float tensaofonte = 5.0;
unsigned long tempoRC = resistencia * capacitor * 5 * 1000; // em milissegundos
unsigned long intervalo = 100; // intervalo de leitura (ms)

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  pinMode(2, OUTPUT); // controle da fonte de carga
}

void loop(){
  digitalWrite(2, HIGH); // aplica tensão ao capacitor
  unsigned long tempoInicial = millis();
  Serial.println("Início da CARGA:");

  while (millis() - tempoInicial < tempoRC){
    int sinal = analogRead(A0);
    tensaocap = sinal * (5.0 / 1023.0);
    tensaoresistor = tensaofonte - tensaocap;
    corrente = (tensaoresistor / resistencia) * 1e9;

    Serial.print(String((millis()-tempoInicial)/1000.0)+"s, ");
```

```
Serial.print(tensaocap); Serial.print(" V, ");
Serial.print(corrente); Serial.println(" nA");
delay(intervalo);
}
digitalWrite(2, LOW); // corta alimentação
tempoInicial = millis();
Serial.println("Início da DESCARGA:");

while (millis() - tempoInicial < tempoRC){
  pinMode(A0, INPUT); // volta para modo leitura
  int sinal = analogRead(A0);
  tensaocap = sinal * (5.0 / 1023.0);
  tensaoresistor = -1*tensaocap;
  corrente = (tensaoresistor / resistencia) * 1e9;
  Serial.print(String((millis()-tempoInicial)/1000.0)+"s, ");
  Serial.print(tensaocap); Serial.print(" V, ");
  Serial.print(corrente); Serial.println(" nA");
  delay(intervalo);
}
}
```