



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO - PROGRAD  
CENTRO MULTIDICIPLINAR DE ANGICOS – CMA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS  
INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

PEDRO PEREIRA DA SILVA JUNIOR

**CIRCUITOS ELÉTRICOS: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE TEORIA E  
PRÁTICA**

ANGICOS – RN

2019

PEDRO PEREIRA DA SILVA JUNIOR

**CIRCUITOS ELÉTRICOS: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE TEORIA E  
PRÁTICA**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Angicos, como um dos requisitos para obtenção do título de interdisciplinar em ciência e tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Namor Silva Santiago

ANGICOS – RN

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

J95c Junior, Pedro.  
CIRCUITOS ELÉTRICOS: UMA ANÁLISE COMPARATIVA  
ENTRE TEORIA E PRÁTICA / Pedro Junior. - 2019.  
51 f. : il.

Orientador: Roberto Santiago.  
Coorientador: Wivaldo Júnior.  
Monografia (graduação) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Curso de Administração,  
2019.

1. Eletricidade. 2. Circuitos R e RC. 3.  
Componentes Eletroeletrônicos. I. Santiago,  
Roberto, orient. II. Júnior, Wivaldo, co-orient.  
III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

PEDRO PEREIRA DA SILVA JUNIOR

**CIRCUITOS ELÉTRICOS: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE TEORIA E  
PRÁTICA**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Angicos, como um dos requisitos para obtenção do título de interdisciplinar em ciência e tecnologia.

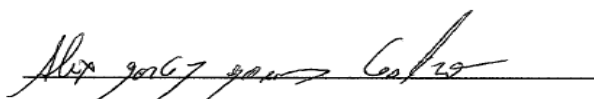
APROVADA EM: 31/08/2019.

**BANCA EXAMINADORA**



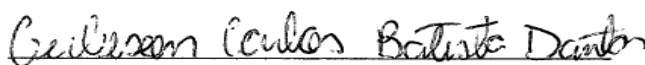
Prof.º Dr. Roberto Namor Silva Santiago - UFERSA

Presidente



Prof.º Esp. Alex Garcez Gomes Castro - UFERSA

Membro Examinador



Eng.º Gerbeson Carlos Batista Dantas - UFERSA

Membro Examinador

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por toda força concedida a mim para enfrentar as dificuldades e os obstáculos dia após dia, por me fazer acreditar que tudo é possível para aquele que crer, pois sem ele eu não conseguiria alcançar tamanha vitória para minha vida.

Ao professor Dr. Roberto Namor Silva Santiago, por ter aceitado me orientar na construção desse trabalho, por sua confiança e pelas valiosas discussões relacionadas ao trabalho e por sua amizade.

Ao professor Ms. Wivaldo Dantas de Azevedo Júnior, por todo apoio e conhecimento passado durante a construção desse projeto.

Aos Professores de graduação por todos os ensinamentos passados.

Aos meus pais, Pedro Pereira da Silva, Jocelma Maria de Azevedo e minhas irmãs Naisa Tathiane Azevedo de Medeiros e Jakeline Cristina Pereira de Azevedo que me apoiaram desde o início, mesmo com tantas dificuldades, mas sempre querendo o melhor para mim. Serei eternamente grato por tudo que vocês sempre fizeram, por estarem presentes em todos os momentos, inclusive nos mais difíceis em que mesmo distantes me deram amparo e carinho.

À minha sobrinha Ana Sophia Pereira de Medeiros por ser minha maior motivação para enfrentar as dificuldades impostas todos os dias

Aos meus familiares, em especial as minhas tias, Conceição Azevedo, Maria Edith e Maria Auxiliadora, por todo apoio, ao meu tio Dircineu Sena por sempre acreditar no meu sucesso, aos meus primos, Sílvia Azevedo, Thiago Rodrigues, Aline Keite, Silvia Azevedo, Magno Henrique, Erick Rodrigues, obrigado a todos.

Aos amigos que ganhei através da universidade, no qual compartilhamos dos momentos de estudos e/ou de descontração, sendo os responsáveis pelos meus melhores momentos vividos no decorrer da graduação, Rogean Dantas, Douglas Rodrigues, Jefferson Allan, Luiz Gomes, Sara Vieira, Rafael Araújo, Magdiel Ângelo, Wesley Artur, André Luiz, Layane Araújo, Cybelle Medeiros, Ananka Karoline, Fabricio Junior, Heverton Azevedo, Gedson Everton, Jeann Matteus, Mateus Tito, obrigado a todos.

Aos meus amigos, Alison Nunes, Maycon Nunes, Genildo Macedo, Ronaldo Barros pelo apoio durante a graduação.

Meus sinceros agradecimentos à direção do UFERSA por possibilitar a realização dos ensaios necessários para esta pesquisa, juntamente ao técnico Alex Castro por todo auxílio.

Ao Eng. Gerbeson Dantas e ao técnico Alex Castro, por aceitarem a fazer parte da banca examinadora, e contribuírem com meu trabalho.

Por fim, agradeço à UFERSA, por cada oportunidade, por engrandecer meus conhecimentos, onde dispõe de uma excelente estrutura e ótimos profissionais.

*“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis. ”*

*José de Alencar*

## RESUMO

A eletricidade vem se tornando indispensável para a vida de muitos. É cada vez mais perceptível o crescimento quanto ao uso de aparelhos eletroeletrônicos instalados à rede elétrica. Para tanto, passou-se a atentar mais para a importância da funcionalidade dos circuitos, que compõem basicamente todo aparelho eletroeletrônico. Os circuitos elétricos é a junção de diversos elementos elétricos, sendo consequência de enormes avanços do mundo atual. Para acompanharmos esses avanços se faz necessário um entendimento básico nessa área. E é justamente o objetivo desse trabalho, fazer um comparativo entre teoria e prática a respeito de circuitos elétricos, realizando as comprovações teóricas em laboratório. Foi realizado então diversos experimentos laboratoriais com circuitos R, com resistores de  $10\text{ K}\Omega$ ,  $22\text{ K}\Omega$ ,  $32\text{ K}\Omega$  e  $47\text{ K}\Omega$  e com circuitos RC, na qual utilizamos resistores de  $10\text{ K}\Omega$ ,  $22\text{ K}\Omega$ ,  $47\text{ K}\Omega$  e capacitores polarizados de  $35\text{V}/1000\mu\text{F}$ ,  $16\text{V}/1000\mu\text{F}$ ,  $50\text{V}/470\mu\text{F}$  e  $50\text{V}/330\mu\text{F}$ . Como resultado foi visto o comportamento gráfico dos elementos atrelados aos outros sendo notado que todos os elementos obedecem e coincidem com a análise teórica feita.

**Palavra-chave:** Eletricidade. Circuitos R e RC. Componentes Eletroeletrônicos.

## LISTA DE TABELAS

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> - Circuito R - 10 K $\Omega$ .....                 | 42 |
| <b>Tabela 2</b> - Circuito R - 10 K $\Omega$ - Valor teórico ..... | 43 |
| <b>Tabela 3</b> - Circuito R - 22 K $\Omega$ .....                 | 43 |
| <b>Tabela 4</b> - Circuito R - 22 K $\Omega$ - Valor teórico ..... | 43 |
| <b>Tabela 5</b> - Circuito R - 32 K $\Omega$ .....                 | 44 |
| <b>Tabela 6</b> - Circuito R - 32 K $\Omega$ - Valor teórico ..... | 44 |
| <b>Tabela 7</b> - Circuito R - 47 K $\Omega$ .....                 | 44 |
| <b>Tabela 8</b> - Circuito R - 47 K $\Omega$ - Valor teórico ..... | 45 |
| <b>Tabela 9</b> - Circuito RC - 10K $\Omega$ .....                 | 46 |
| <b>Tabela 10</b> - Circuito RC - 22K $\Omega$ .....                | 46 |
| <b>Tabela 11</b> - Circuito RC – 47K $\Omega$ .....                | 47 |
| <b>Tabela 12</b> - Circuito RC - 16V/1000 $\mu$ F .....            | 48 |
| <b>Tabela 13</b> - Circuito RC - 50V/470 $\mu$ F .....             | 48 |
| <b>Tabela 14</b> - Circuito RC - 50V/330 $\mu$ F .....             | 48 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> – Fonte de Tensão .....                                                             | 17 |
| <b>Figura 2</b> - Resistor ôhmico .....                                                             | 18 |
| <b>Figura 3</b> - Tabela de código de cores dos resistores .....                                    | 19 |
| <b>Figura 4</b> - Capacitor polarizado .....                                                        | 20 |
| <b>Figura 5</b> - Tipos de indutores .....                                                          | 21 |
| <b>Figura 6</b> - Protoboard.....                                                                   | 22 |
| <b>Figura 7</b> - Isolantes usados na engenharia elétrica .....                                     | 22 |
| <b>Figura 8</b> - Circuito R – Ligação em série.....                                                | 25 |
| <b>Figura 9</b> - Circuito RC – Ligação em série .....                                              | 26 |
| <b>Figura 10</b> - Circuito RL – Ligação em Série .....                                             | 29 |
| <b>Figura 11</b> - Circuito LC – Ligação em série.....                                              | 30 |
| <b>Figura 12</b> - Circuito RLC .....                                                               | 31 |
| <b>Figura 13</b> - Exemplo de resistor utilizado .....                                              | 33 |
| <b>Figura 14</b> - Exemplo de capacitor utilizado .....                                             | 34 |
| <b>Figura 15</b> - Fonte de tensão .....                                                            | 34 |
| <b>Figura 16</b> - Multímetro Utilizado .....                                                       | 35 |
| <b>Figura 17</b> - Exemplo de Fiação utilizada .....                                                | 35 |
| <b>Figura 18</b> - Protoboard utilizada.....                                                        | 36 |
| <b>Figura 19</b> - Circuito R - 10 K $\Omega$ .....                                                 | 37 |
| <b>Figura 20</b> - Circuito R - 22 K $\Omega$ .....                                                 | 37 |
| <b>Figura 21</b> - Circuito R - 32 K $\Omega$ .....                                                 | 38 |
| <b>Figura 22</b> - Circuito R - 47 K $\Omega$ .....                                                 | 38 |
| <b>Figura 23</b> - Circuito RC - 10K $\Omega$ .....                                                 | 39 |
| <b>Figura 24</b> - Circuito RC - 22K $\Omega$ .....                                                 | 39 |
| <b>Figura 25</b> - Circuito RC – 47K $\Omega$ .....                                                 | 40 |
| <b>Figura 26</b> - Circuito RC - 16V/1000 $\mu$ F.....                                              | 40 |
| <b>Figura 27</b> - Circuito RC - 50V/470 $\mu$ F .....                                              | 40 |
| <b>Figura 28</b> - Circuito RC - 50V/330 $\mu$ F .....                                              | 41 |
| <b>Figura 29</b> - Gráfico - Circuito R.....                                                        | 45 |
| <b>Figura 30</b> - Gráfico do Circuito RC variando a resistência – Capacitor 35V/1000 $\mu$ F ..... | 47 |
| <b>Figura 31</b> - Gráfico do Circuito RC variando o capacitor – Resistor 10 K $\Omega$ .....       | 49 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

SI – Sistema internacional de unidades

EDO – Equação diferencial ordinária

R – Resistor

RC – Resistor-Capacitor

RL – Resistor-Indutor

LC – Indutor-Capacitor

RLC – Resistor-Indutor-Capacitor

## SUMÁRIO

|                                                          |           |
|----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>                                 | <b>13</b> |
| <b>2 OBJETIVOS .....</b>                                 | <b>15</b> |
| 2.1 OBJETIVO GERAL.....                                  | 15        |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                          | 15        |
| <b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>                     | <b>16</b> |
| 3.1 O CIRCUITO ELÉTRICO.....                             | 16        |
| <b>3.1.1 Carga elétrica .....</b>                        | <b>16</b> |
| <b>3.1.2 Geradores .....</b>                             | <b>17</b> |
| <b>3.1.3 Corrente elétrica.....</b>                      | <b>17</b> |
| <b>3.1.4 Resistores .....</b>                            | <b>18</b> |
| <b>3.1.5 Capacitor .....</b>                             | <b>19</b> |
| <b>3.1.6 Indutor.....</b>                                | <b>20</b> |
| <b>3.1.7 Condutores .....</b>                            | <b>21</b> |
| <b>3.1.8 Isolantes .....</b>                             | <b>22</b> |
| 3.2 LEIS E TEORIAS QUE SERÃO ABORDADAS NO TRABALHO ..... | 22        |
| <b>3.2.1 Equação Linear .....</b>                        | <b>22</b> |
| <b>3.2.2 Sistemas lineares.....</b>                      | <b>23</b> |
| <b>3.2.3 As Leis de Ohm .....</b>                        | <b>23</b> |
| 3.2.3.1 Primeira Lei de ohm .....                        | 23        |
| 3.2.3.2 Segunda Lei de Ohm .....                         | 23        |
| 3.2.4 As Leis de Kirchhoff .....                         | 24        |
| 3.2.4.1 Primeira Lei de Kirchhoff .....                  | 24        |
| 3.2.4.2 Segunda Lei de Kirchhoff .....                   | 24        |
| 3.3 TIPOS DE CIRCUITOS .....                             | 24        |
| <b>3.3.1 Circuito R .....</b>                            | <b>25</b> |
| <b>3.3.2 Circuito RC .....</b>                           | <b>25</b> |
| <b>3.3.3 Circuito RL.....</b>                            | <b>29</b> |
| <b>3.3.4 Circuito LC.....</b>                            | <b>30</b> |
| <b>3.3.5 Circuito RLC.....</b>                           | <b>31</b> |
| <b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                       | <b>33</b> |
| 4.1 MATERIAIS UTILIZADOS .....                           | 33        |
| <b>4.1.1 Resistores .....</b>                            | <b>33</b> |
| <b>4.1.2 Capacitores .....</b>                           | <b>33</b> |
| <b>4.1.3 Gerador de tensão .....</b>                     | <b>34</b> |
| <b>4.1.4 Multímetro.....</b>                             | <b>34</b> |
| <b>4.1.5 Fios condutores.....</b>                        | <b>35</b> |
| <b>4.1.6 Protoboard.....</b>                             | <b>35</b> |
| 4.1.7 Software utilizado .....                           | 36        |
| 4.2 ENSAIOS REALIZADOS .....                             | 36        |
| 4.2.1 Circuito R .....                                   | 36        |
| 4.2.1.1 Experimento 1 .....                              | 37        |
| 4.2.1.1 Experimento 2 .....                              | 37        |
| 4.2.1.2 Experimento 3 .....                              | 37        |
| 4.2.1.3 Experimento 4 .....                              | 38        |
| 4.2.2 Circuito RC.....                                   | 38        |
| 4.2.2.1 Experimento 1 .....                              | 38        |

|                                          |           |
|------------------------------------------|-----------|
| 4.2.2.2 Experimento 2 .....              | 39        |
| 4.2.2.3 Experimento 3: .....             | 39        |
| 4.2.2.4 Experimento 4 .....              | 40        |
| 4.2.2.5 Experimento 5 .....              | 40        |
| 4.2.2.6 Experimento 6 .....              | 41        |
| <b>4.2.3 Utilização do Sotfware.....</b> | <b>41</b> |
| <b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>    | <b>42</b> |
| 5.1 CIRCUITO R .....                     | 42        |
| 5.1.1 Experimento 1 .....                | 42        |
| 5.1.2 Experimento 2 .....                | 43        |
| 5.1.3 Experimento 3 .....                | 44        |
| 5.1.4 Experimento 4 .....                | 44        |
| 5.2 CIRCUITO RC.....                     | 46        |
| 5.2.1 Experimento 1 .....                | 46        |
| 5.2.2 Experimento 2 .....                | 46        |
| 5.2.3 Experimento 3 .....                | 47        |
| 5.2.4 Experimento 4 .....                | 48        |
| 5.2.5 Experimento 5 .....                | 48        |
| 5.2.6 Experimento 6 .....                | 48        |
| <b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>       | <b>50</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                  | <b>51</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A eletricidade vem se tornando indispensável para a vida de muitos. É cada vez mais perceptível o crescimento quanto ao uso de aparelhos eletroeletrônicos instalados à rede elétrica. Para tanto, passou-se a atentar mais para a importância da funcionalidade dos circuitos, que compõem basicamente todo aparelho eletroeletrônico.

A primeira observação da eletrificação de objetos por atrito perdeu-se na antiguidade. Os filósofos gregos, como por exemplo, Thales, de Mileto, no ano 600 a.c., já sabiam que ao esfregar uma peça de âmbar com um pedaço de lã ou pele, eram capazes de conferir ao âmbar a propriedade de atrair pequenos pedaços de palha. Os estudos de Thales foram continuados por diversas personalidades (ROCHA, 2009).

Segundo o mesmo autor, somente em 1600, William Gilbert, médico da rainha Elizabeth I, foi o primeiro a distinguir claramente entre fenômenos elétricos e magnéticos. Foi ele quem cunhou a palavra eletricidade, derivando-a de "elektron" que significa âmbar em grego. Gilbert mostrou que o efeito elétrico não é exclusivo do âmbar, mas que muitas outras substâncias podem ser carregadas eletricamente ao serem esfregadas.

Logo depois em 1660, Otto Von Guericke inventou a máquina eletrostática que era capaz de gerar cargas elétricas por fricção. Em 1729, Stephen Gray fez a distinção entre materiais condutores e não condutores. Charles Francis Dufay descobriu em 1730 que a eletricidade produzida por fricção podia ser de duas classes positiva ou negativa (SILVA FILHO, 2007).

De acordo com o mesmo autor, em 1744, na universidade de Leyden na Holanda, foi inventado um dispositivo chamado de garrafa de Leyden. O físico e político americano, Benjamin Franklin, carregou uma garrafa de Leyden utilizando pipas durante tempestades e constatou que os raios são uma forma de eletricidade, esta descoberta de Franklin possibilitou a invenção dos primeiros raios. Já em 1827 o físico alemão Georg Simon Ohm, descobre a relação entre corrente, tensão e resistência em um condutor elétrico surgindo uma das mais utilizadas expressões na eletricidade, “Lei de Ohm”.

Esses avanços têm como base o estudo do circuito elétrico que nada mais é do que o conjunto de vários elementos que possuem funções diferentes, afim de se obter a finalidade desejada. Os circuitos podem ser classificados em duas maneiras circuitos de corrente contínua, ou seja, que possuem correntes e tensões que não variam ao decorrer do tempo, e circuitos de corrente alternada, que possuem tensões e correntes variando ao passar do tempo (ALEXANDER; SADIKU, 2013).

Ainda segundo o autor levando em consideração os aspectos estruturais os circuitos são compostos por resistores, capacitores, tensões ou ddp, geradores, indutores e claro, composto também pela corrente que passa por ela.

Pode-se notar que ao longo do tempo esses circuitos passaram a ser ainda mais complexos, difíceis de ser analisados e calculados. Apesar dos avanços tecnológicos nos proporcionarem softwares ou programas que resolvam. Ainda é possível resolver esses circuitos com formas algébricas de calcular (FRENZEL, 2015).

A construção desse trabalho tem grande relevância na engenharia elétrica uma vez que é de suma importância o conhecimento a respeito dos circuitos elétricos, pois é bem frequente em nosso dia a dia.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar uma abordagem teoria, comprovando-a na prática com experimentos laboratoriais, validando as leis de Ohm e Kirchhoff.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar as teorias que envolvem construções e comportamentos de elementos no circuito;
- Buscar nas análises experimentais um comparativo entre teoria e prática.
- Montar os circuitos R e RC para as análises laboratoriais
- Medir a corrente no resistor no circuito R e o tempo de carga do circuito RC

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 O CIRCUITO ELÉTRICO**

Circuito elétrico é uma ligação de vários elementos, tais como resistores, geradores, capacitores, dentre outros elementos. Tendo um fio condutor para fazer a ligação de cada um. O estudo de circuitos elétricos se divide em circuitos de corrente contínua e circuitos de corrente alternada. Os circuitos de corrente contínua são assim chamados por possuírem uma ou mais fontes de tensão e ou corrente contínua. Já os circuitos de corrente alternada são normalmente alimentados por fontes de tensão e de corrente variando ao decorrer do tempo.

O circuito elétrico mais simples que existe é constituído pela ligação de um gerador a uma resistência. Circuitos mais complexos podem ser classificados em circuitos em série, em paralelo ou misto, dependendo das ligações (AFONSO; FILONI, 2011).

##### **3.1.1 Carga elétrica**

A carga elétrica é uma propriedade física de partículas elementares positiva ou negativa, de acordo com a teoria atual, as menores partículas portadoras de carga elétrica são os prótons e os elétrons, que são indivisíveis. Esse fato faz com que a quantidade de carga elétrica não possa assumir quaisquer valores, sendo possíveis somente valores múltiplos de quantidade de carga elementar ( $e$ ) (HALLIDAY, 2004).

De acordo com o mesmo autor, um corpo apresenta-se eletricamente neutro quando o número total de prótons e de elétrons está em equilíbrio na sua estrutura. Quando um processor qualquer, consegue-se desequilibrar o número de prótons com o número de elétrons, dizemos que o corpo está eletrizado. O sinal desta carga dependerá da partícula que estiver em excesso ou em falta, se o corpo possui um número de prótons maior que o de elétrons, o corpo está eletrizado positivamente, caso o contrário, isto é, se haver um excesso de elétrons o corpo é dito eletrizado negativamente.

A carga elétrica tem como unidade no SI, coulomb (C). Em homenagem ao cientista que desenvolveu o estudo.

### 3.1.2 Geradores

São elementos responsáveis por fornecer energia para os circuitos elétricos. Quando ligamos os terminais de um gerador aos fios condutores de um circuito, forma-se uma diferença de potencial, que promove a movimentação dos elétrons. Sua unidade de medida no SI é o volt, de símbolo V (ALEXANDER; SADIKU, 2013).

Os instrumentos de medida em eletricidade, na maioria das vezes, recebem o nome de acordo com a grandeza mensurada. Assim, o instrumento que mede a tensão elétrica é o voltímetro, que deve ser ligado em paralelo com o elemento a ser medido. No caso de um sinal contínuo, é preciso prestar atenção à polaridade das pontas de prova.

**Figura 1** – Fonte de Tensão



FONTE: Autoria própria (2019).

### 3.1.3 Corrente elétrica

Nilsson e Riedel (2009), os efeitos elétricos causados por cargas em movimento depende da variação temporal de carga. Essa variação de carga é chamada de corrente elétrica.

Temos dois tipos de corrente, contínua e alternada. A corrente contínua é aquela em que o sentido e a intensidade permanecem constantes com o tempo. Já a corrente alternada (C.A.) é aquela em que a intensidade e o sentido mudam periodicamente com o tempo.

Como a corrente elétrica é a variação de carga pelo tempo, sua unidade no SI é coulomb por segundo, ou ampere dada pelo símbolo A.

A corrente elétrica é calculada pela equação:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1)$$

Onde  $dq$  é a variação da carga, dada em coulomb (C). E  $dt$  a variação do tempo, unidade segundos (s).

### 3.1.4 Resistores

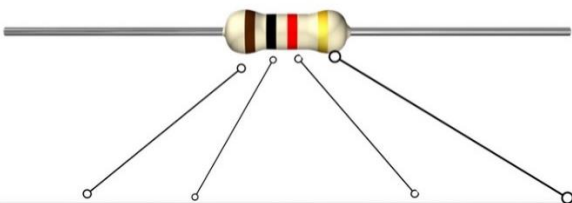
São dispositivos elétricos com resistência elétrica, isto é, opõem-se à passagem de corrente elétrica. Sua unidade de medida no SI é o ohm, de símbolo  $\Omega$ . Há dois tipos de resistores, o resistor ôhmico e o não ôhmico, a diferença está porque o ôhmico respeita a lei de ohm, já o outro não. Quando esses elementos são percorridos por uma corrente elétrica, produzem uma queda no potencial elétrico do circuito, consumindo essa energia por meio do efeito Joule. Dessa forma, é provocado um aquecimento do circuito. Os resistores utilizados para limitar a intensidade de corrente que passa por determinados componentes eletrônicos não têm a finalidade de dissipar energia elétrica, embora isso aconteça inevitavelmente. Comumente, são constituídos de um filme de grafite depositado de modo contínuo sobre um suporte cerâmico ou enrolado em forma de faixas helicoidais (SEARS, 2008).

**Figura 2** - Resistor ôhmico



FONTE: Autoria própria (2019).

O instrumento que mede a resistência elétrica de um dispositivo ou circuito é o ohmímetro. O aparelho deve ser conectado em paralelo à resistência a ser medida. Além desses valores práticos, poderemos obter o valor teórico ou nominal desses resistores comerciais, com a tabela de cores, como na figura 3.

**Figura 3** - Tabela de código de cores dos resistores


| Cor      | 1ª faixa | 2ª faixa | 3ª faixa | Multiplicador | Tolerância |
|----------|----------|----------|----------|---------------|------------|
| Preto    | 0        | 0        | 0        | x1            |            |
| Marrom   | 1        | 1        | 1        | x10           | 1%         |
| Vermelho | 2        | 2        | 2        | x100          | 2%         |
| Laranja  | 3        | 3        | 3        | x1k           |            |
| amarelo  | 4        | 4        | 4        | x10k          |            |
| Verde    | 5        | 5        | 5        | x100k         | .5%        |
| Azul     | 6        | 6        | 6        | x1M           | .25%       |
| Lilas    | 7        | 7        | 7        | x10M          | .1%        |
| Cinza    | 8        | 8        | 8        |               | .05%       |
| Branco   | 9        | 9        | 9        |               |            |
| Dourado  |          |          | x0,1     | x.1           | .5%        |
| Prata    |          |          | x0,01    | x0.1          | .10%       |

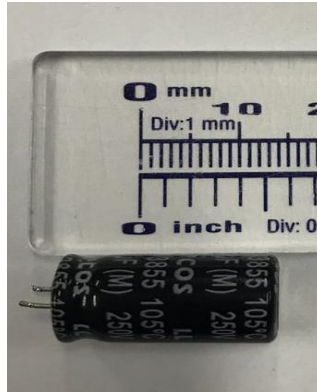
FONTE: SILVA (2018).

Dessa forma podemos calcular os valores da resistência de qualquer resistor comercial de 4 faixas. Porém, existem resistores de 5 faixas, esses têm uma precisão maior.

### 3.1.5 Capacitor

Segundo Alexander e Sadiku (2013) os capacitores ou condensadores, são componentes elétricos que armazenam as cargas elétricas por um período determinado pelas características do circuito, até que este seja interrompido ou a fonte desligada. Capacitância ou capacidade (C), medida em farads (F), é a propriedade que estes dispositivos têm de armazenar energia elétrica sob a forma de um campo eletrostático e está relacionada com a geometria das placas e a constante dielétrica do meio isolante usado entre as placas. Um capacitor é composto por duas placas metálicas, separadas por um material isolante chamado dielétrico (papel, cerâmica, plástico ou até mesmo o ar).

Os capacitores podem ser polarizados ou não polarizados, a diferença é que os polarizados são usados em circuitos de corrente contínua. Já os capacitores não polarizados (geralmente de baixos valores), é usado em circuito com correntes "alternadas".

**Figura 4** - Capacitor polarizado

FONTE: Autoria própria (2019)

O cálculo da capacitância de um capacitor é dado pela seguinte equação:

$$C = \frac{q}{U} \quad (2)$$

Onde  $q$  é a quantidade de carga armazenada em coulombs (C) e  $V$  é a diferença de potencial ou tensão que existe entre as placas, dada em volts.

### 3.1.6 Indutor

Os indutores são os dispositivos que armazenam a energia elétrica, assim transformando energia elétrica em energia magnética. O componente que possui como característica principal a indutância, que é a capacidade que um condutor possui de induzir tensão em si mesmo quando a corrente varia (ALEXANDER; SADIKU, 2013).

A unidade de medida no SI do cálculo da indutância é o Henry, de símbolo H.

Os principais tipos de indutores são os de núcleo de ar, de núcleo ferromagnético, núcleo laminado, núcleo laminado e os de bobinas toroidais (MUNDO DA ELÉTRICA, 2019).

**Figura 5 - Tipos de indutores**

FONTE: Mundo da Elétrica (2019).

A tensão no indutor é dada pela equação:

$$U_1 = L \times \frac{di_1}{dt} \quad (3)$$

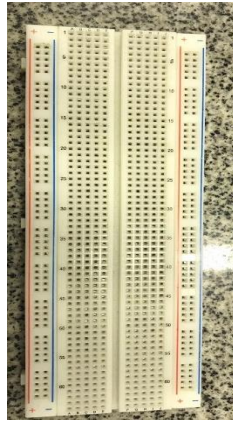
Onde,  $L$  é a indutância (H),  $i_1$  é a corrente no indutor (A) e  $U_1$  é a tensão no indutor, dada em volts (V).

### 3.1.7 Condutores

Os condutores são os elementos que permitem que as cargas circulem facilmente num circuito elétrico, quando está submetido a uma diferença de potencial elétrico, pois apresentam uma baixa resistividade (ALEXANDER; SADIKU, 2013).

O material mais utilizado na fabricação de condutores elétricos é o cobre, pois é um metal muito dúctil e maleável. O cobre é eletricamente eficiente no uso da energia, porque a eletricidade que flui por meio dos fios de cobre encontra muito menos resistência que a que encontraria em fios de alumínio ou aço de igual diâmetro. Com efeito, o cobre é melhor condutor elétrico que qualquer outro metal não precioso, somente superado pela prata.

Um exemplo de material condutor usada em laboratórios é a protoboard, onde nada mais é que uma estrutura com placas cobre, com ligações internas. Exemplo desse material na figura 6.

**Figura 6 - Protoboard**

FONTE: Autoria própria (2019).

### 3.1.8 Isolantes

Segundo Boylestad (1968), denomina-se isolante elétrico a toda substância de muito baixa condutividade elétrica, tal que a passagem da corrente através dela é considerada desprezível. Nos circuitos elétricos os materiais isolantes são de grande importância porque permitem isolar eletricamente os condutores elétricos entre si em relação à terra ou massa, além de modificarem consideravelmente o fluxo de corrente que os atravessa.

**Figura 7 - Isolantes usados na engenharia elétrica**

FONTE: Mecânica Industrial (2019).

## 3.2 LEIS E TEORIAS QUE SERÃO ABORDADAS NO TRABALHO

### 3.2.1 Equação Linear

Segundo Iezzi e Hazzan (2012), equação linear é toda equação da forma:

$$a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_nx_n = b \quad (4)$$

Em que  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  são números reais, que recebem o nome de coeficientes das incógnitas  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , e  $b$  é um número real, chamado termo independente (quando  $b=0$ , a equação recebe o nome de linear homogênea).

### 3.2.2 Sistemas lineares

Segundo Kuhlkamp (2007), um conjunto de equações lineares da forma:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n = b_2 \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + a_{m3}x_3 + \dots + a_{mn}x_n = b_m \end{cases} \quad (5)$$

É um sistema linear de  $m$  equações e  $n$  incógnitas.

A solução de um sistema linear é a  $n$ -upla de números reais ordenados  $(r_1, r_2, r_3, \dots, r_n)$  que é, simultaneamente, solução de todas as equações do sistema.

### 3.2.3 As Leis de Ohm

Embora os conhecimentos sobre eletricidade tenham sido ampliados, a Lei de Ohm continua sendo uma lei básica da eletricidade e eletrônica, por isso conhecê-la é fundamental para o estudo e compreensão dos circuitos eletroeletrônicos, teoria postuladas pelo físico alemão Georg Simon Ohm em 1827.

#### 3.2.3.1 Primeira Lei de ohm

A primeira Lei de Ohm estabelece uma relação entre as grandezas elétricas: tensão ( $U$ ), corrente ( $I$ ) e resistência ( $R$ ) em um circuito. Verifica-se a Lei de Ohm a partir de medições de tensão, corrente e resistência realizadas em circuitos elétricos simples, compostos por uma fonte geradora e um resistor.

$$U = R \times i \quad (7)$$

#### 3.2.3.2 Segunda Lei de Ohm

Outra observação feita por Ohm em seus experimentos foi que a resistência elétrica é proporcional ao comprimento do condutor e inversamente proporcional a área da seção transversal, o que ficou conhecido como a segunda lei de Ohm, o que pode ser escrita como:

$$R = \rho \times \frac{L}{A} \quad (7.1)$$

### 3.2.4 As Leis de Kirchhoff

Em 1815 o físico alemão Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) quando era estudante na Universidade de Königsber, desenvolveu as famosas Leis de Kirchhof, essas leis são utilizadas para encontrar as intensidades das correntes em circuitos elétricos que não podem ser reduzidos a circuitos simples, essa lei tem como base os princípios da lei de ohm, que diz que a tensão é o produto entre a resistividade e a corrente do circuito. Kirchhoff desenvolveu duas leis para o cálculo da intensidade da corrente no circuito (GUSSOW, 1985).

#### 3.2.4.1 Primeira Lei de Kirchhoff

Conhecida como Lei dos Nós, a 1º Lei de Kirchhoff serve para indicar que o somatório de correntes que entram em um nó é igual ao somatório de correntes que saem do nó, isso se dá pela conservação da carga elétrica, onde a soma algébrica em um sistema fechado permanece constante (GUSSOW, 1985).

Considerando uma corrente  $i_1$  e uma corrente  $i_2$  chegando em um nó, acatamos que o somatório dessas duas correntes, correspondem a uma corrente  $i_3$ .

$$i_3 = i_1 + i_2 \quad (8)$$

#### 3.2.4.2 Segunda Lei de Kirchhoff

Conhecida como lei das malhas, a 2º Lei de Kirchhoff, nos diz que o somatório das diferenças de potencial (ddp e tensões) em uma malha é igual a zero. Essa lei tem como base as teorias abordadas nas leis de Ohm (GUSSOW, 1985).

$$U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n = 0 \quad (8.1)$$

### 3.3 TIPOS DE CIRCUITOS

Segundo Nilsson e Riedel (2009), a combinação dos elementos de um circuito, formam-se diversos circuitos com diferentes funcionalidades, tendo sua função direcionada por seu

construtor. Temos por exemplos o circuito R (Resistivo), RC (resistor-capacitor), RL (resistor-indutor), LC (indutor-capacitor) e RLC (resistor-indutor-capacitor).

### 3.3.1 Circuito R

O circuito R, considerado o mais simples de todos, é um tipo de circuito composto apenas por um resistor e uma fonte de tensão.

**Figura 8** - Circuito R – Ligação em série



FONTE: Autoria própria (2019).

Na figura 8 temos um exemplo de um circuito R, onde notamos um resistor ligado em série com a fonte de tensão.

De acordo com a primeira Lei de Ohm, existe uma diferença de potencial no resistor. Dada pela equação 6.

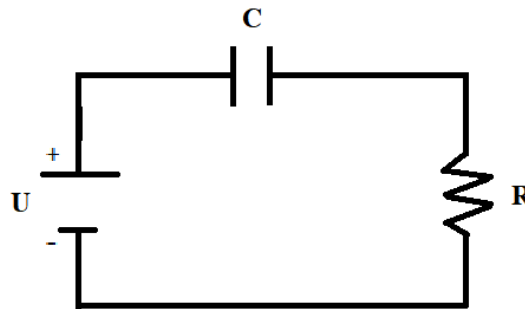
$$U = R \times i \quad (6)$$

Para o cálculo da corrente nesse circuito, é bem simples.

$$i = \frac{R}{U} \quad (6.1)$$

### 3.3.2 Circuito RC

Um circuito RC é um circuito composto de um resistor, e um capacitor e uma diferença de potencial.

**Figura 9** - Circuito RC – Ligação em série

FONTE: Autoria própria (2019).

Existe uma diferença de potencial nas extremidades do resistor e também do capacitor. Segundo a 1ª Lei ôhmica, que nos diz que:

$$U = R \times i \quad (6)$$

E

$$U = \frac{q}{C} \quad (2.1)$$

Aplicando os conhecimentos obtidos com a segunda Lei de Kirchhoff, onde nos fala que o somatório de tensões em um circuito fechado é igual a 0. Podemos propor que:

$$U - R \times i - \frac{q}{C} = 0 \quad (8.2)$$

Utilizando a equação 1.

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1)$$

Temos

$$U - R \times \frac{dq}{dt} - \frac{q}{C} = 0 \quad (8.3)$$

Agora temos uma EDO, resolveremos ela através do método de EDO separáveis, iremos separar  $dq/dt$  de  $q/c$ , colocando cada um para um termo da equação.

$$U - R \times \frac{dq}{dt} = \frac{q}{C} \quad (8.4)$$

$$R \times \frac{dq}{dt} = \frac{q}{C} - U \quad (8.5)$$

$$- \frac{dq}{dt} = \frac{q}{R \times C} - \frac{U}{R} \quad (8.6)$$

$$- \frac{dq}{dt} = \frac{q - U \times C}{R \times C} \quad (8.7)$$

$$- \frac{dq}{q - U \times C} = \frac{dt}{R \times C} \quad (8.8)$$

Agora a solução para a solução da EDO, precisamos somente integrar ambos os termos.

$$- \int_0^q \frac{dq}{q - U \times C} = \int_0^t \frac{dt}{R \times C} \quad (8.9)$$

$$[\ln q - U \times C]_0^q = - \left[ \frac{t}{R \times C} \right]_0^t \quad (8.10)$$

$$[\ln q - U \times C] - [\ln (0 - U \times C)] = - \left[ \frac{t}{R \times C} \right] - (-0) \quad (8.11)$$

$$\ln \left( \frac{q - U \times C}{-U \times C} \right) = - \frac{t}{R \times C} \quad (8.12)$$

$$\frac{q - U \times C}{-U \times C} = e^{-\frac{t}{R \times C}} \quad (8.13)$$

$$q - U \times C = -U \times C \times e^{-\frac{t}{R \times C}} \quad (8.14)$$

$$q = U \times C - U \times C \times e^{-\frac{t}{R \times C}} \quad (8.15)$$

$$q = U \times C \times \left( 1 - e^{-\frac{t}{R \times C}} \right) \quad (8.16)$$

A intensidade da corrente elétrica num instante  $t$  é dada pela derivada temporal desta função carga  $q$ :

$$(1)$$

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

$$q = U \times C \times \left( 1 - e^{-\frac{t}{R \times C}} \right)$$

$$i = \frac{d \left[ U \times C \times \left( 1 - e^{-\frac{t}{R \times C}} \right) \right]}{dt}$$

$$i = U \times C \left[ \frac{d}{dt} - \frac{d \left( e^{-\frac{t}{R \times C}} \right)}{dt} \right]$$

$$i = U \times C \left[ 0 - \left( -\frac{1}{R \times C} \times e^{-\frac{t}{R \times C}} \right) \right]$$

$$i = U \times C \times \frac{1}{R \times C} \times e^{-\frac{t}{R \times C}}$$

$$i = \frac{U}{R} \times e^{-\frac{t}{R \times C}}$$

A partir desta expressão podemos verificar a validade da equação 8.3 (HALLIDAY, 2004).

Além disso, também podemos calcular a tensão em capacitor variando com o tempo através da seguinte equação:

$$U_c(t) = U(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (9)$$

Onde  $U$  é a tensão do circuito,  $t$  é o tempo e  $RC$  é a constante de tempo.

A grandeza  $RC$ , que tem a dimensão de tempo, é chamada constante de tempo capacitiva. Ela representa o tempo necessário para que a carga ou a tensão atinja um valor igual a 63% do seu valor máximo. O que podemos observar é que, no processo de carga (10) circuito RC os comportamentos da tensão e corrente se invertem. Ao ligarmos um circuito RC a tensão demora algum tempo para atingir o seu valor máximo. A constante de tempo é dada pela equação 10.

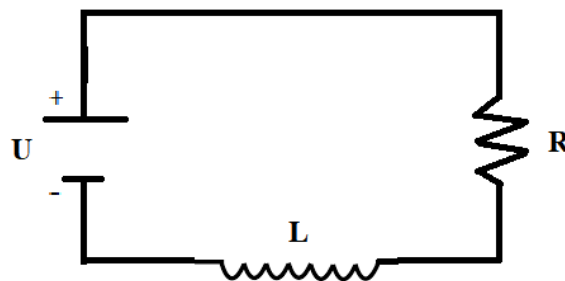
$$RC = 0,63 \times U$$

Quanto maior R ou C, maior será a constante de tempo, ou seja, mais tempo levará para carregar e descarregar um capacitor.

### 3.3.3 Circuito RL

Um circuito RL é um circuito composto por um resistor, um indutor e uma diferença de potencial.

**Figura 10** - Circuito RL – Ligação em Série



FONTE: Autoria própria (2019).

Vamos analisar um circuito RL, através dos conhecimentos obtidos com as leis e teorias já abordadas.

$$U - U_r - U_l = 0 \quad (8)$$

Substituindo os termos, temos:

$$U_r = R \times i \quad (6)$$

E

$$U_l = L \times \frac{di_l}{dt} \quad (3)$$

Temos:

$$U - (R \times i) - \left( L \times \frac{di}{dt} \right) = 0 \quad (11)$$

Aplicando a corrente que conhecemos como:

$$(1)$$

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

Fica:

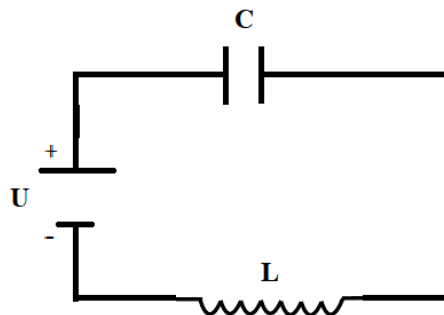
$$U - \left( R \times \frac{dq}{dt} \right) - \left( L \times \frac{d^2q}{dt^2} \right) = 0 \quad (11.1)$$

Com isso encontramos uma equação diferencial de segunda ordem (HALLIDAY, 2004).

### 3.3.4 Circuito LC

Um circuito LC é um tipo de circuito composto por um indutor, um capacitor e uma força eletromotriz.

**Figura 11** - Circuito LC – Ligação em série



FONTE: Autoria própria (2019).

Vamos analisar um circuito LC, através dos conhecimentos obtidos com as leis já abordadas.

$$U - U_c - U_l = 0 \quad (8)$$

$$U_c = \frac{q}{C} \quad (2.1)$$

$$U_l = L \times \frac{di}{dt} \quad (3)$$

Aplicando as equações acima temos:

$$U - \left(\frac{q}{C}\right) - \left(L \times \frac{di}{dt}\right) = 0 \quad (12)$$

Utilizando a corrente que conhecemos como:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1)$$

Obtemos:

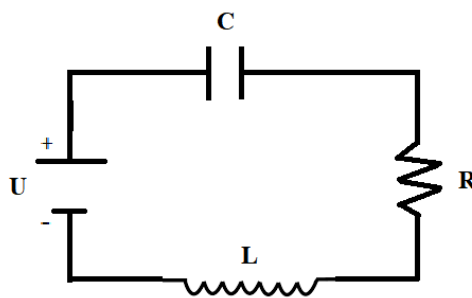
$$U - \left(\frac{q}{C}\right) - \left(L \times \frac{d^2q}{dt^2}\right) = 0 \quad (12.1)$$

Resultando em uma Equação diferencial ordinária de segunda ordem. (HALLIDAY, 2004).

### 3.3.5 Circuito RLC

Um circuito RLC, como as siglas já dizem é um composto por uma resistência, um indutor, um capacitor e uma diferença de potencial.

**Figura 12** - Circuito RLC



FONTE: Autoria própria (2019).

Como na figura 12, os componentes do circuito encontram-se todos em série, utilizando os conhecimentos obtidos com as leis tanto de Ohm, como de Kirchhoff, temos que:

$$U - Ur - Uc - U_L = 0 \quad (8)$$

$$U_r = R \times i \quad (6)$$

$$U_c = \frac{q}{C} \quad (2.1)$$

$$U_l = L \times \frac{di}{dt} \quad (3)$$

Então a equação fica:

$$U - (R \times i) - \left(\frac{q}{C}\right) - \left(L \times \frac{di}{dt}\right) = 0 \quad (13)$$

Substituindo a corrente, que é:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1)$$

Temos:

$$U - \left(R \times \frac{dq}{dt}\right) - \left(\frac{q}{C}\right) - \left(L \times \frac{d^2q}{dt^2}\right) = 0 \quad (13.1)$$

Assim teremos uma equação diferencial de segunda ordem, com coeficientes a determinar (HALLIDAY, 2004).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do planejamento experimental foram separados no laboratório da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), resistores, capacitores, gerador, multímetro, fios condutores e uma protoboard. Na qual foram investigados *in loco* alguns aspectos fundamentais da funcionalidade dos circuitos analisados. Deste modo, foram colhidas informações a respeito do comportamento dos resistores e capacitores diante da presença de um e do outro.

### 4.1 MATERIAIS UTILIZADOS

#### 4.1.1 Resistores

No experimento foi utilizado quatro tipos resistores, conhecidos popularmente como resistores comerciais. Um resistor de 10 K $\Omega$ , outro de 22 K $\Omega$  outro de 32 K $\Omega$  e por fim um resistor de 47 K $\Omega$ . Todo esse material foi obtido no laboratório da UFERSA-ANGICOS.

**Figura 13** - Exemplo de resistor utilizado

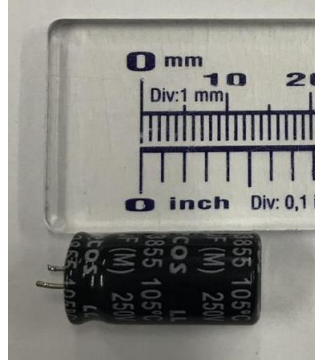


FONTE: Autoria própria (2019).

#### 4.1.2 Capacitores

Nos testes foi utilizado também 4 tipos de capacitores polarizados. 35V/1000 $\mu$ F, 16V/1000 $\mu$ F, 50V/470 $\mu$ F, 50V/330 $\mu$ F. Esses capacitores são conhecidos e comercializado pelo nome de capacitores comerciais.

**Figura 14** - Exemplo de capacitor utilizado



FONTE: Autoria própria (2019).

#### 4.1.3 Gerador de tensão

Em todo experimento foi utilizado uma fonte de tensão, da fabricante Instruterm. Com ela variamos a tensão de 0 a 10 volts.

**Figura 15** - Fonte de tensão



FONTE: Autoria própria (2019).

#### 4.1.4 Multímetro

Nas análises práticas foi utilizado o multímetro da fabricante Minipa, modelo ET-2587, que possui uma taxa de erro de 0,08%.

**Figura 16** - Multímetro Utilizado

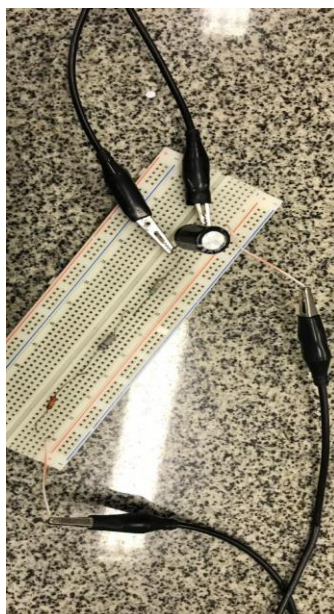


FONTE: Autoria própria (2019).

#### 4.1.5 Fios condutores

Durante todo experimento foi utilizado fios de condução de corrente elétrica. Essa fiação é conhecida e comercializadas como fiação de experimentos eletrônicos.

**Figura 17** - Exemplo de Fiação utilizada

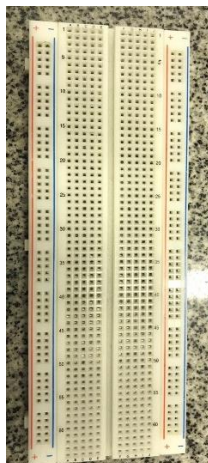


FONTE: Autoria própria (2019).

#### 4.1.6 Protoboard

Material de condução utilizado, além dos fios condutivos foi a protoboard, equipamento muito prático para medições eletrônicas.

**Figura 18** - Protoboard utilizada



FONTE: Autoria própria (2019).

#### **4.1.7 Software utilizado**

Utilizamos em nossas comparações o software Tinkercad, que é uma ferramenta online de design de modelos 3D em CAD e também de simulação de circuitos elétricos analógicos e digitais, desenvolvida pela Autodesk. Por ser gratuito e fácil de usar, encontramos nele uma oportunidade de ensino de Programação Embarcada, visto que a primeira barreira encontrada pelos alunos é a de não possuir os componentes e o micro controlador em mãos.

### **4.2 ENSAIOS REALIZADOS**

Os experimentos foram divididos em 10 testes, 4 trabalhando com circuitos R e 6 com circuitos RC. Para a concretização do estudo, a princípio, foi realizada uma revisão geral a respeito dos conceitos fundamentais para um correto cálculo de circuitos elétricos. Diante desse embasamento científico. De posse dessas informações obtidas com os 10 testes, foram feitas análises numéricas a fim de dimensionar a funcionalidade e comportamento de alguns elementos, comprovando a fundamentação teórica obtida.

#### **4.2.1 Circuito R**

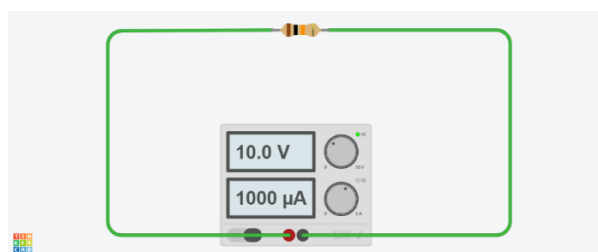
Nesta pratica foi feita as aplicações das leis de ohm, essa teoria nos diz que o produto entre uma resistência e uma corrente nos dá o valor da fonte de tensão. Em nosso experimento

montamos um circuito R simples, com uma fonte de tensão variando de 0 a 10 volts em 4 tipos de resistores diferentes, assim buscávamos de certa forma comprovar a lei de ohm, no cálculo da corrente que passa no circuito.

#### 4.2.1.1 Experimento 1

Em uma protoboard, adicionamos uma resistência de  $10\text{ K}\Omega$  e tensões variando de 0 a 10 V, a montagem foi similar a figura 19.

**Figura 19** - Circuito R -  $10\text{ K}\Omega$

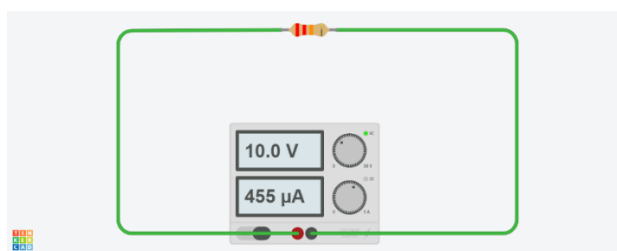


FONTE: Autodesk Tinkercad (2019).

#### 4.2.1.1 Experimento 2

Na mesma protoboard, adicionamos uma resistência de  $22\text{ K}\Omega$  e com as mesmas variações de tensão de 0 a 10 V. Como na figura 20.

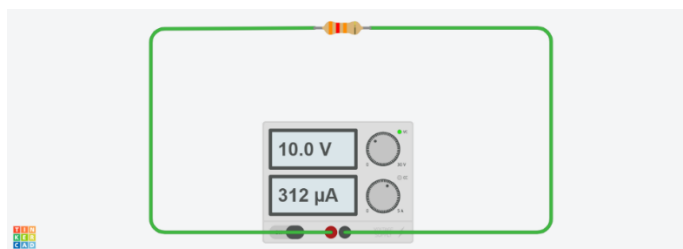
**Figura 20** - Circuito R -  $22\text{ K}\Omega$



FONTE: Autodesk Tinkercad (2019).

#### 4.2.1.2 Experimento 3

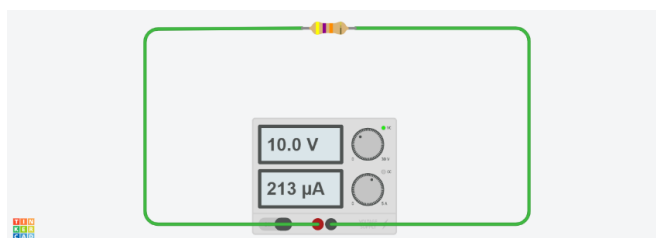
Fizemos basicamente o mesmo processo só que trabalhamos aqui com uma resistência elétrica de  $32\text{ K}\Omega$ .

**Figura 21 - Circuito R - 32 K $\Omega$** 

FONTE: Autodesk Tinkercad (2019).

#### 4.2.1.3 Experimento 4

Repetimos o mesmo processo só que, dessa vez como resistor de 47 K $\Omega$ .

**Figura 22 - Circuito R - 47 K $\Omega$** 

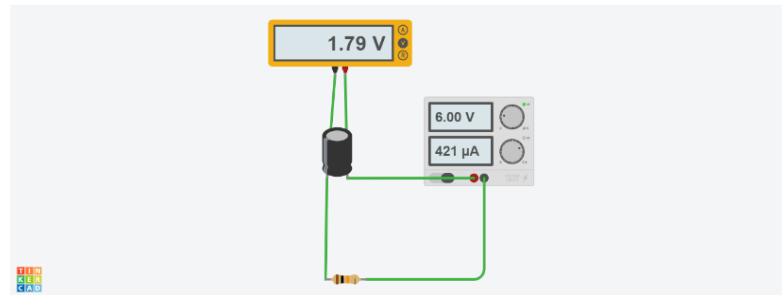
FONTE: Autodesk Tinkercad (2019).

### 4.2.2 Circuito RC

Como sabemos, o capacitor tem como função armazenar energia elétrica por um período de tempo determinado pelas características do circuito, o capacitor é posto aqui com um resistor que tem como finalidade limitar a passagem de corrente que no capacitor. Em nosso experimento, foi realizado levantamentos sobre a junção dos dois elementos, os conhecidos, circuitos resistivos-capacitivos. Fizemos seis experimentos para um melhor entendimento, analisamos aqui o tanto de carga e quanto tempo cada que o capacitor demorou para atingir a capacidade de carga em um determinado período de tempo, cálculos também o produto RC, que é o equivalente a 63% do total de carga que o capacitor pode suportar, utilizando a equação 10.

#### 4.2.2.1 Experimento 1

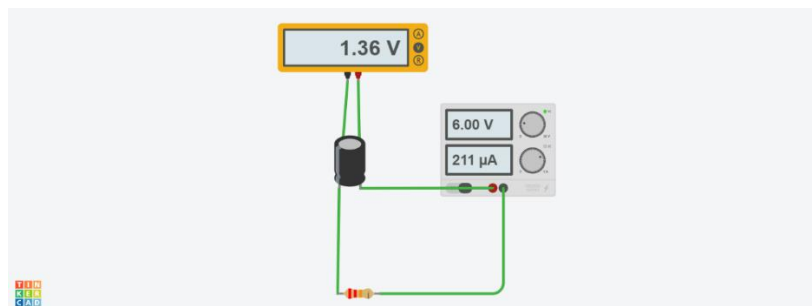
No primeiro teste colocamos um capacitor de 35V/1000 $\mu$ F e um resistor ôhmico de 10K $\Omega$ , e analisamos o processo, efetuando medidas a cada 10 segundos, durante um total de 500 segundos. Com uma fonte de tensão de 6V. Como mostra a figura 23:

**Figura 23 - Circuito RC - 10K $\Omega$** 

FONTE: Autodesk Tinkercad (2019).

#### 4.2.2.2 Experimento 2

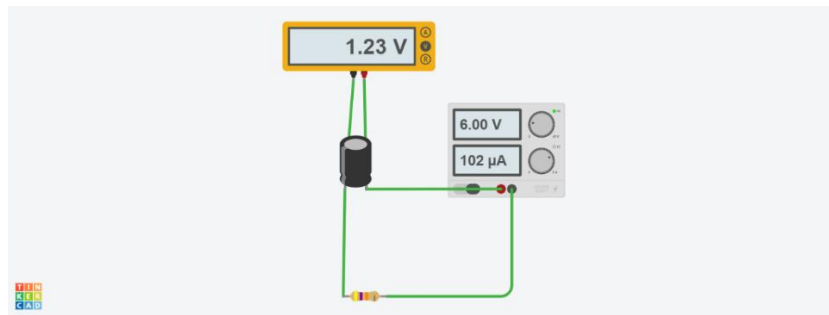
Neste teste fizemos basicamente os passos do teste 1, mantendo a tensão de 6V, Só que alteramos o resistor, assim podemos observar claramente a influência do resistor na carga do capacitor de 35V/1000 $\mu$ F. Utilizamos nesse teste o resistor de 22K $\Omega$ .

**Figura 24 - Circuito RC - 22K $\Omega$** 

FONTE: Autodesk Tinkercad (2019).

#### 4.2.2.3 Experimento 3:

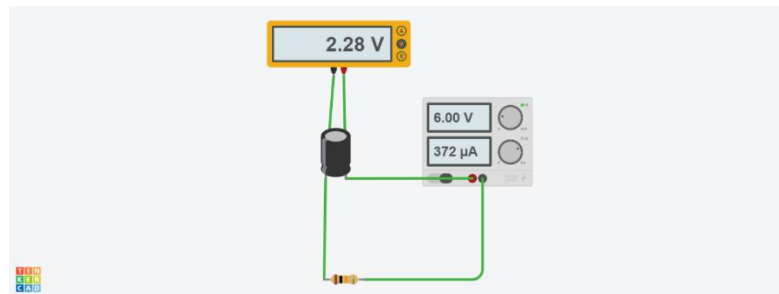
Neste teste repetimos o mesmo experimento, voltando a alterar o resistor, agora, para 47 K $\Omega$ . Mantendo o capacitor de 35V/1000 $\mu$ F e a mesma fonte de tensão de 6V.

**Figura 25** - Circuito RC –  $47K\Omega$ 

FONTE: Autodesk Tinkercad (2019).

#### 4.2.2.4 Experimento 4

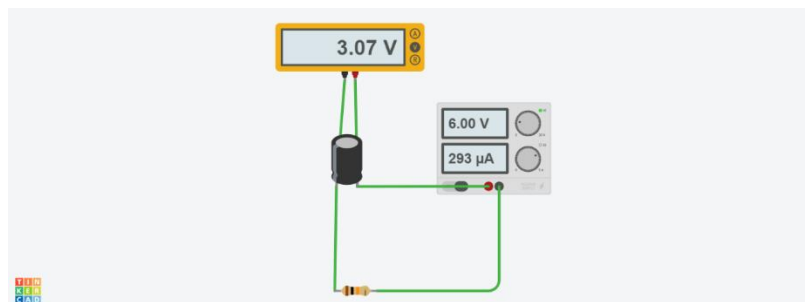
Nessa pratica alteramos o valor capacitor e deixamos a resistência e a tensão fixa, para mostrar a eficiência de cada capacitor. Nesse experimento a resistência que utilizamos foi de  $15K\Omega$  e a tensão de 6V. o capacitor utilizado nessa pratica foi de  $16V/1000\mu\text{F}$ .

**Figura 26** - Circuito RC -  $16V/1000\mu\text{F}$ 

FONTE: Autodesk Tinkercad (2019).

#### 4.2.2.5 Experimento 5

Nessa pratica utilizamos basicamente os mesmos procedimentos do experimento 4, alterando somente o capacitor, mantendo os demais elementos. O capacitor usado foi o de  $50V/470\mu\text{F}$ . Mantendo a tensão 6V e a resistência  $15K\Omega$ .

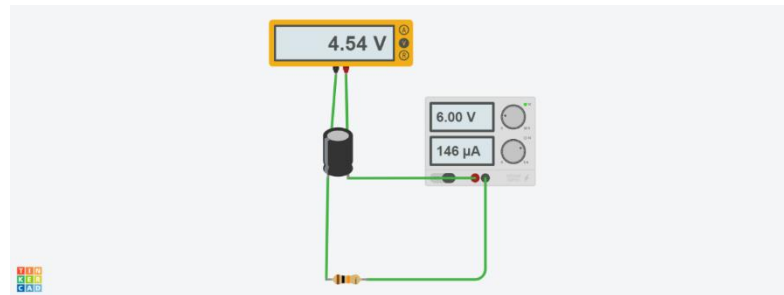
**Figura 27** - Circuito RC -  $50V/470\mu\text{F}$ 

FONTE: Autodesk Tinkercad (2019).

#### 4.2.2.6 Experimento 6

Neste experimento utilizamos um capacitor 50V/330 $\mu$ F, deixando a resistência de 15K $\Omega$  e a fonte de tensão em 6V.

**Figura 28** - Circuito RC - 50V/330 $\mu$ F



FONTE: Autodesk Tinkercad (2019).

#### 4.2.3 Utilização do Software

Buscamos em um software uma comprovação dos experimentos e das teorias em um software. Fizemos uma simulação de todos os circuitos trabalhados.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CIRCUITO R

Com os resultados dos experimentos em mãos desenvolvemos as tabelas com os valores tensão e corrente, para comprovarmos a teoria aborda, aplicamos a lei de ohm para comprovar os cálculos e as terias, lei de ohm nos diz que a corrente é a razão entre tensão e resistência, como na seguinte equação:

$$i = \frac{U}{R} \quad (1)$$

Cada experimento foi realizado 10 testes, onde varia somente a tensão, de 0 a 10:

#### 5.1.1 Experimento 1

**Tabela 1** - Circuito R - 10 KΩ

| Tensão (v) | Corrente (I) |
|------------|--------------|
| 1          | 0,1          |
| 2          | 0,2          |
| 3          | 0,3          |
| 4          | 0,4          |
| 5          | 0,5          |
| 6          | 0,6          |
| 7          | 0,7          |
| 8          | 0,8          |
| 9          | 0,9          |
| 10         | 1            |

FONTE: Autoria própria (2019).

Com os resultados dos experimentos em mãos desenvolvemos as tabelas com os valores tensão e corrente, para comprovarmos a teoria aborda, aplicamos a lei de ohm para comprovar os cálculos e as terias, lei de ohm nos diz que a corrente é a razão entre tensão e resistência, como na seguinte equação:

$$i = \frac{U}{R} \quad (6)$$

Fazendo para os 10 testes de experimentos temos:

**Tabela 2** - Circuito R - 10 K $\Omega$  - Valor teórico

| Tensão (v) | Corrente (I) |
|------------|--------------|
| 1          | 0,1          |
| 2          | 0,2          |
| 3          | 0,3          |
| 4          | 0,4          |
| 5          | 0,5          |
| 6          | 0,6          |
| 7          | 0,7          |
| 8          | 0,8          |
| 9          | 0,9          |
| 10         | 1            |

FONTE: Autoria própria (2019)

### 5.1.2 Experimento 2

**Tabela 3** - Circuito R - 22 K $\Omega$ 

| Tensão (v) | Corrente (I) |
|------------|--------------|
| 1          | 0,045        |
| 2          | 0,091        |
| 3          | 0,137        |
| 4          | 0,183        |
| 5          | 0,229        |
| 6          | 0,275        |
| 7          | 0,321        |
| 8          | 0,367        |
| 9          | 0,413        |
| 10         | 0,459        |

FONTE: Autoria própria (2019).

Com os resultados experimentais em mãos, utilizamos as teorias de ohm para o cálculo e o resultado está na tabela 4:

**Tabela 4** - Circuito R - 22 K $\Omega$  - Valor teórico

| Tensão (v) | Corrente (I) |
|------------|--------------|
| 1          | 0,04545      |
| 2          | 0,09090      |
| 3          | 0,1363       |
| 4          | 0,1818       |
| 5          | 0,2272       |
| 6          | 0,2727       |
| 7          | 0,3181       |
| 8          | 0,3636       |
| 9          | 0,4090       |
| 10         | 0,4545       |

FONTE: Autoria própria (2019).

### 5.1.3 Experimento 3

**Tabela 5** - Circuito R - 32 K $\Omega$

| Tensão (v) | Corrente (I) |
|------------|--------------|
| 1          | 0,031        |
| 2          | 0,063        |
| 3          | 0,094        |
| 4          | 0,126        |
| 5          | 0,158        |
| 6          | 0,19         |
| 7          | 0,222        |
| 8          | 0,254        |
| 9          | 0,285        |
| 10         | 0,317        |

FONTE: Autoria própria (2019).

**Tabela 6** - Circuito R - 32 K $\Omega$  - Valor teórico

| Tensão (v) | Corrente (I) |
|------------|--------------|
| 1          | 0,0312       |
| 2          | 0,0625       |
| 3          | 0,0937       |
| 4          | 0,125        |
| 5          | 0,1562       |
| 6          | 0,1875       |
| 7          | 0,2187       |
| 8          | 0,25         |
| 9          | 0,2812       |
| 10         | 0,3125       |

FONTE: Autoria própria (2019).

### 5.1.4 Experimento 4

**Tabela 7** - Circuito R - 47 K $\Omega$

| Tensão (v) | Corrente (I) |
|------------|--------------|
| 1          | 0,021        |
| 2          | 0,042        |
| 3          | 0,064        |
| 4          | 0,086        |
| 5          | 0,107        |
| 6          | 0,129        |
| 7          | 0,15         |
| 8          | 0,172        |
| 9          | 0,194        |
| 10         | 0,216        |

FONTE: Autoria própria (2019).

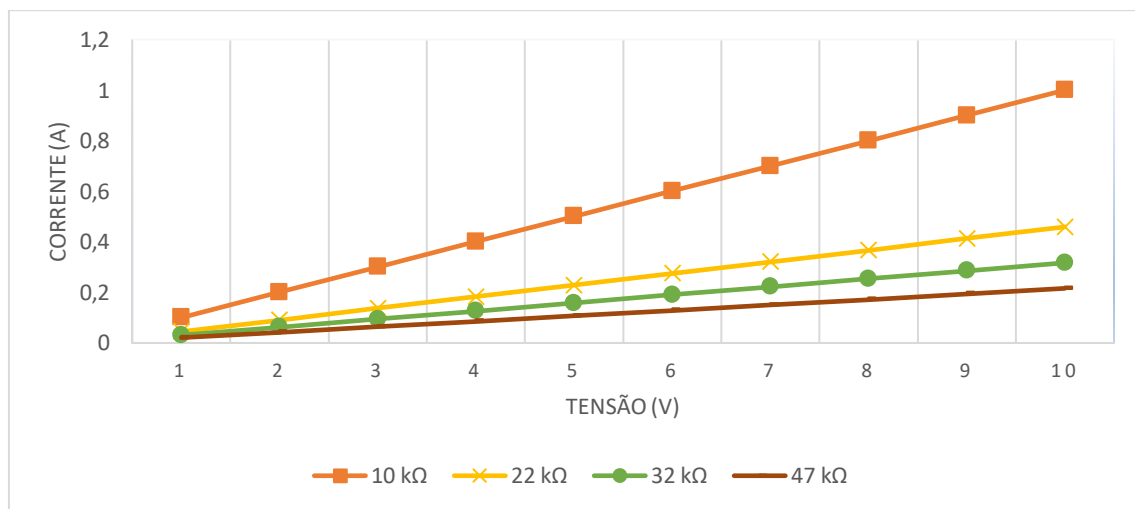
**Tabela 8** - Circuito R - 47 K $\Omega$  - Valor teórico

| Tensão (v) | Corrente (I) |
|------------|--------------|
| 1          | 0,0213       |
| 2          | 0,0425       |
| 3          | 0,0638       |
| 4          | 0,0851       |
| 5          | 0,1064       |
| 6          | 0,1276       |
| 7          | 0,1489       |
| 8          | 0,1702       |
| 9          | 0,1914       |
| 10         | 0,2127       |

FONTE: Autoria própria (2019).

Comparando os resultados teórico e prático podemos observar uma diferença, essa diferença é dada pela resistência que há no aparelho de medição, porém essa diferença é quase insignificante.

Com os dados obtidos com todos experimentos, desenvolvemos um gráfico tensão por corrente com os dados.

**Figura 29** - Gráfico - Circuito R

FONTE: Autoria própria (2019).

Na figura 29 temos um gráfico tensão por corrente, onde mostramos que todos os resistores, apresenta um comportamento linear crescente, mostrando que todos obedecem a lei de ohm.

## 5.2 CIRCUITO RC

Em todos os experimentos realizados com os circuitos RC, foi utilizada a mesma fonte de tensão, no valor de 6V, aplicando as teorias obtidas na fundamentação teórica, temos que o produto RC é o mesmo para todos os experimentos, pois a tensão é a mesma.

Para o cálculo, utilizaremos a equação 11.

$$RC = 0,63 \times 6 \quad (10.1)$$

$$RC = 3,78s \quad (10.2)$$

### 5.2.1 Experimento 1

**Tabela 9 - Circuito RC - 10KΩ**

| TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) |
|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| 10        | 0,1852     | 110       | 1,93       | 210       | 1,9193     | 310       | 1,9146     | 410       | 1,9119     |
| 20        | 1,6496     | 120       | 1,929      | 220       | 1,9187     | 320       | 1,9143     | 420       | 1,9117     |
| 30        | 1,8068     | 130       | 1,9273     | 230       | 1,9181     | 330       | 1,9141     | 430       | 1,9115     |
| 40        | 1,9009     | 140       | 1,9259     | 240       | 1,9175     | 340       | 1,9137     | 440       | 1,9114     |
| 50        | 1,9406     | 150       | 1,9246     | 250       | 1,9169     | 350       | 1,9134     | 450       | 1,9112     |
| 60        | 1,9406     | 160       | 1,9236     | 260       | 1,9164     | 360       | 1,9131     | 460       | 1,9111     |
| 70        | 1,9387     | 170       | 1,9225     | 270       | 1,9162     | 370       | 1,9128     | 470       | 1,9109     |
| 80        | 1,9353     | 180       | 1,9215     | 280       | 1,9157     | 380       | 1,9126     | 480       | 1,9108     |
| 90        | 1,933      | 190       | 1,9207     | 290       | 1,9153     | 390       | 1,9124     | 490       | 1,9107     |
| 100       | 1,9307     | 200       | 1,92       | 300       | 1,915      | 400       | 1,9121     | 500       | 1,9104     |

FONTE: Autoria própria (2019).

### 5.2.2 Experimento 2

**Tabela 10 - Circuito RC - 22KΩ**

| TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) |
|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| 10        | 0,0653     | 110       | 1,879      | 210       | 1,8852     | 310       | 1,8848     | 410       | 1,8689     |
| 20        | 1,6919     | 120       | 1,8801     | 220       | 1,8853     | 320       | 1,8845     | 420       | 1,8679     |
| 30        | 1,7476     | 130       | 1,8819     | 230       | 1,8853     | 330       | 1,8841     | 430       | 1,8676     |
| 40        | 1,7885     | 140       | 1,8827     | 240       | 1,8853     | 340       | 1,8838     | 440       | 1,8677     |
| 50        | 1,8192     | 150       | 1,8834     | 250       | 1,8853     | 350       | 1,8836     | 450       | 1,8649     |
| 60        | 1,8416     | 160       | 1,8839     | 260       | 1,8853     | 360       | 1,8814     | 460       | 1,8681     |
| 70        | 1,8568     | 170       | 1,8842     | 270       | 1,8852     | 370       | 1,8781     | 470       | 1,8685     |
| 80        | 1,8671     | 180       | 1,8846     | 280       | 1,8851     | 380       | 1,8747     | 480       | 1,869      |
| 90        | 1,8736     | 190       | 1,8848     | 290       | 1,8849     | 390       | 1,8726     | 490       | 1,8694     |
| 100       | 1,8777     | 200       | 1,885      | 300       | 1,8848     | 400       | 1,8703     | 500       | 1,8698     |

FONTE: Autoria própria (2019).

### 5.2.3 Experimento 3

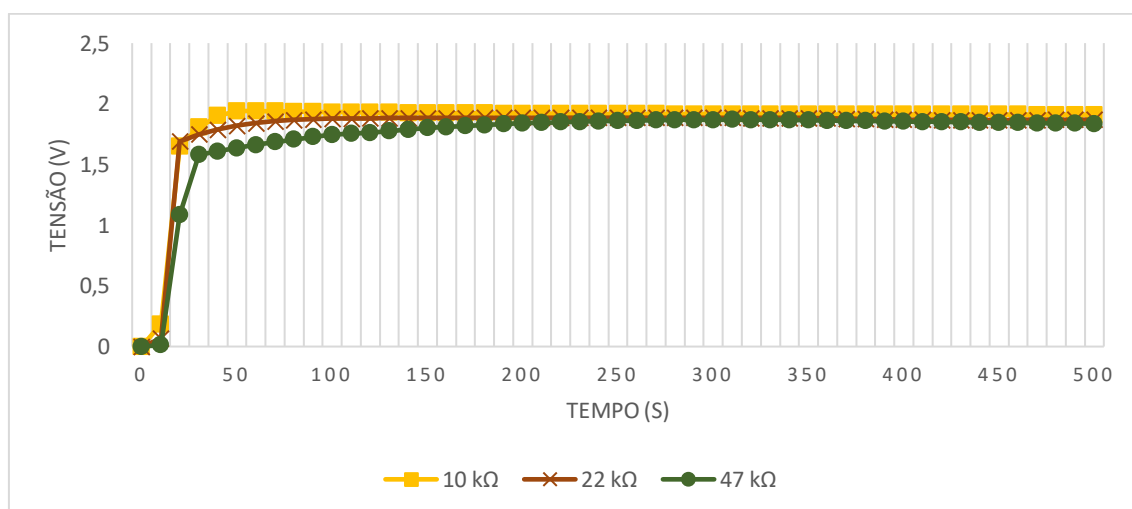
**Tabela 11 - Circuito RC – 47K $\Omega$**

| TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) |
|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| 10        | 0,0143     | 110       | 1,753      | 210       | 1,8446     | 310       | 1,8689     | 410       | 1,8528     |
| 20        | 1,083      | 120       | 1,7618     | 220       | 1,8487     | 320       | 1,8684     | 420       | 1,8506     |
| 30        | 1,5812     | 130       | 1,7756     | 230       | 1,8524     | 330       | 1,8674     | 430       | 1,8486     |
| 40        | 1,6088     | 140       | 1,7892     | 240       | 1,8559     | 340       | 1,8661     | 440       | 1,8466     |
| 50        | 1,6357     | 150       | 1,8002     | 250       | 1,8593     | 350       | 1,8645     | 450       | 1,8448     |
| 60        | 1,6614     | 160       | 1,8095     | 260       | 1,8614     | 360       | 1,8629     | 460       | 1,8429     |
| 70        | 1,6856     | 170       | 1,8181     | 270       | 1,8636     | 370       | 1,8608     | 470       | 1,8412     |
| 80        | 1,7077     | 180       | 1,8261     | 280       | 1,8665     | 380       | 1,8583     | 480       | 1,8394     |
| 90        | 1,7278     | 190       | 1,8336     | 290       | 1,8676     | 390       | 1,8569     | 490       | 1,8377     |
| 100       | 1,7457     | 200       | 1,8399     | 300       | 1,8686     | 400       | 1,8546     | 500       | 1,836      |

FONTE: Autoria própria (2019).

Com os resultados obtidos nos três experimentos, desenvolvemos um gráfico tensão por tempo, para uma melhor interpretação.

**Figura 30 - Gráfico do Circuito RC variando a resistência – Capacitor 35V/1000 $\mu$ F**



FONTE: Autoria própria (2019).

Na medição experimental, notamos que quanto menor o valor de resistividade do resistor, menor vai ser o tempo para carregar o capacitor, comprovando as teorias estudadas.

### 5.2.4 Experimento 4

**Tabela 12 - Circuito RC - 16V/1000 $\mu$ F**

| TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) |
|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| 10        | 0,0278     | 110       | 2,8589     | 210       | 4,3461     | 310       | 5,1366     | 410       | 5,5324     |
| 20        | 0,4359     | 120       | 2,9957     | 220       | 4,4511     | 320       | 5,1899     | 420       | 5,5598     |
| 30        | 0,8277     | 130       | 3,1902     | 230       | 4,5447     | 330       | 5,2398     | 430       | 5,5838     |
| 40        | 1,1724     | 140       | 3,3716     | 240       | 4,6414     | 340       | 5,2864     | 440       | 5,606      |
| 50        | 1,4926     | 150       | 3,5409     | 250       | 4,7272     | 350       | 5,3278     | 450       | 5,6257     |
| 60        | 1,7899     | 160       | 3,6991     | 260       | 4,8074     | 360       | 5,3682     | 460       | 5,6458     |
| 70        | 2,0665     | 170       | 3,8467     | 270       | 4,8826     | 370       | 5,4078     | 470       | 5,6635     |
| 80        | 2,3241     | 180       | 3,9844     | 280       | 4,9527     | 380       | 5,4427     | 480       | 5,6794     |
| 90        | 2,564      | 190       | 4,1132     | 290       | 5,0184     | 390       | 5,4754     | 490       | 5,6944     |
| 100       | 2,7874     | 200       | 4,2335     | 300       | 5,0794     | 400       | 5,5055     | 500       | 5,7085     |

FONTE: Autoria própria (2019).

### 5.2.5 Experimento 5

**Tabela 13 - Circuito RC - 50V/470 $\mu$ F**

| TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) |
|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| 10        | 1,0436     | 110       | 4,7939     | 210       | 4,8173     | 310       | 4,8437     | 410       | 4,8804     |
| 20        | 4,5704     | 120       | 4,7956     | 220       | 4,8189     | 320       | 4,8478     | 420       | 4,8837     |
| 30        | 4,71       | 130       | 4,7975     | 230       | 4,8198     | 330       | 4,8512     | 430       | 4,8875     |
| 40        | 4,7484     | 140       | 4,8007     | 240       | 4,8213     | 340       | 4,8553     | 440       | 4,892      |
| 50        | 4,7666     | 150       | 4,8035     | 250       | 4,8231     | 350       | 4,8591     | 450       | 4,8956     |
| 60        | 4,777      | 160       | 4,8067     | 260       | 4,8248     | 360       | 4,8624     | 460       | 4,8991     |
| 70        | 4,7817     | 170       | 4,8087     | 270       | 4,8258     | 370       | 4,8666     | 470       | 4,9012     |
| 80        | 4,7856     | 180       | 4,8106     | 280       | 4,8292     | 380       | 4,8697     | 480       | 4,9047     |
| 90        | 4,7897     | 190       | 4,8127     | 290       | 4,8338     | 390       | 4,873      | 490       | 4,9082     |
| 100       | 4,7923     | 200       | 4,8154     | 300       | 4,8384     | 400       | 4,8766     | 500       | 4,91       |

FONTE: Autoria própria (2019).

### 5.2.6 Experimento 6

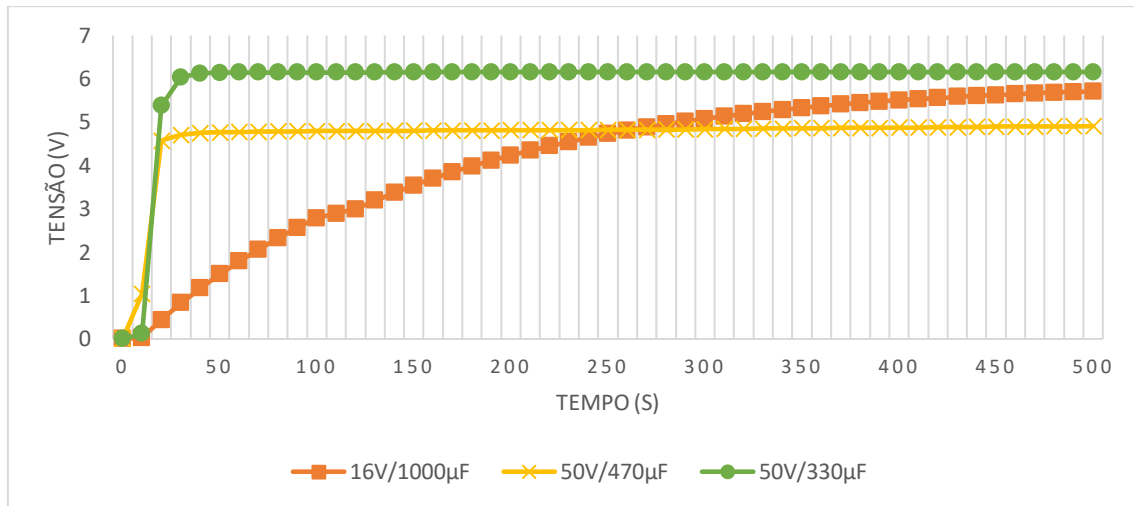
**Tabela 14 - Circuito RC - 50V/330 $\mu$ F**

| TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) | TEMPO (S) | TENSÃO (V) |
|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| 10        | 0,121      | 110       | 6,149      | 210       | 6,151      | 310       | 6,152      | 410       | 6,154      |
| 20        | 5,3757     | 120       | 6,15       | 220       | 6,152      | 320       | 6,152      | 420       | 6,153      |
| 30        | 6,036      | 130       | 6,15       | 230       | 6,152      | 330       | 6,153      | 430       | 6,153      |
| 40        | 6,128      | 140       | 6,151      | 240       | 6,152      | 340       | 6,152      | 440       | 6,152      |
| 50        | 6,141      | 150       | 6,15       | 250       | 6,152      | 350       | 6,153      | 450       | 6,153      |
| 60        | 6,145      | 160       | 6,151      | 260       | 6,153      | 360       | 6,153      | 460       | 6,153      |
| 70        | 6,147      | 170       | 6,151      | 270       | 6,152      | 370       | 6,153      | 470       | 6,153      |
| 80        | 6,147      | 180       | 6,152      | 280       | 6,152      | 380       | 6,153      | 480       | 6,153      |
| 90        | 6,148      | 190       | 6,151      | 290       | 6,153      | 390       | 6,153      | 490       | 6,153      |
| 100       | 6,149      | 200       | 6,151      | 300       | 6,152      | 400       | 6,153      | 500       | 6,153      |

FONTE: Autoria própria (2019).

Com os resultados obtidos nos três experimentos acima, conseguimos desenvolver o gráfico abaixo, tensão por tempo:

**Figura 31** - Gráfico do Circuito RC variando o capacitor – Resistor  $10\text{ K}\Omega$



FONTE: Autoria própria (2019).

Na figura 31, notemos que os capacitores apresentam um comportamento diferente, o capacitor 1, o de  $16\text{V}/1000\mu\text{F}$ , por exemplo, tem uma constância maior comparado com o 3 de  $50\text{V}/330\mu\text{F}$  que tem um pico muito alto em um curto período de tempo, ou seja, carrega bem mais rápido. Comprovando as teorias estudadas no estudo dos capacitores.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho realizou um comparativo entre as teorias abordadas sobre circuitos e as análises experimentais. Diante dos estudos teóricos levantados e das condições de realização do trabalho experimental pode-se considerar que todos os elementos abordados obedecem e coincidem com a análise teórica feita, validando as Leis de Ohm e de Kirchhoff, para o cálculo de corrente elétrica.

Ao final do trabalho percebeu-se a necessidade de realização de pesquisas futuras. Desta forma propõe-se as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- ✓ Abordar circuitos mais complexo;
- ✓ Realizar ensaios com circuitos contendo indutores;
- ✓ Estudar o comportamento e influência dos indutores atrelados aos outros elementos;
- ✓ Estudar e aderir ferramentas mais didáticas para desenvolvimento dos circuitos;

.

## REFERÊNCIAS

AFONSO, Antonio, FILONI, Enio. **Eletrônica: Circuitos elétricos**. 1 ed. Vol 1. São Paulo, Fundação Padre Anchieta, 2011.

ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew. **Fundamentos de circuitos elétricos**. 5. ed. Porto Alegre, Rs: Amgh, 2013.

ASSIS, A.K.T., 2010. **Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade**. São Paulo, Editora First Published 2010.

AUTODESK TINKERCAD. **Circuits**. Disponível em: <<https://www.tinkercad.com/dashboard?type=circuits&collection=designs>>. Acesso em: 2 ago. 2019.

BOYLESTAD, Robert. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. 11 ed. São Paulo, Editora Pearson Prentice 1968.

FRENZEL, Louis, 2015. **Eletrônica Moderna**. 1 ed. São Paulo, Editora Brookman 2015.

GUSSOW, M. **Eletricidade Básica**. 1 ed. São Paulo, Editora, McGraw-Hill do Brasil 1985.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 3.

IEZZI, Gelson, HAZZAN, Samuel. **Fundamentos de Matemática Elementar**. 8 ed. Vol. 4. Rio de Janeiro, Editora, Atual 2012.

KÜHLKAMP, Nilo. **Matrizes e sistemas de equações lineares**. 2 ed. Santa Catarina, Editora, UFSC 2007.

MECÂNICA INDUSTRIAL. **Isolantes utilizados na engenharia elétrica**. Disponível em: <<https://www.mecanicaindustrial.com.br/materiais-isolantes-utilizados-em-engenharia-eletrica/>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

MUNDO DA ELÉTRICA. **O que é um indutor?** Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-um-indutor/>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

NILSSON, James W.; RIEDEL, Susan A.. **Circuitos elétricos**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

ROCHA, Luis. **História da Eletricidade**: parte 1. 2009. Disponível em: <<http://professorluisrocha.zip.net/>>. Acesso em: 16 ago. 2019.

SEARS, Francis Weston; ZEMANSKY, Mark Waldo; YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. 12. ed. São Paulo, SP: Pearson Addison Wesley, c2008-2009 vol 4.

SILVA, Thiago. **Código de cor para resistores**: Aprenda a identificar. 2018. Elaborada por Blog Silvatronics. Disponível em: <<https://blog.silvatronics.com.br/376-2/>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

SILVA FILHO, Matheus Teodoro da. **Fundamentos de Eletricidade**. Rio de Janeiro: Ltc, 2007.