INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE RONDÔNIA
***CAMPUS* CACOAL**
CURSO DE LICENCIATURA EM MATEMÁTICA

MAURO JOSÉ BARBOSA

Equações Diferenciais Ordinárias: aplicações nos circuitos elétricos

CACOAL
04/2021

MAURO JOSÉ BARBOSA

Trabalho de conclusão de curso na modalidade monografia apresentado a Coordenação de Curso de Matemática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia – IFRO, Campus Cacoal, como requisito para obtenção de aprovação no curso de Licenciatura em Matemática, sob a orientação do Prof. Me. Claudemir Miranda Barboza.

Cacoal
04/2021

Ficha catalográfica

B238e

Barbosa, Mauro José.
Equações diferenciais ordinárias:aplicação nos circuitos elétricos. / Mauro José Barbosa. Cacoal, 2021.

27 f. ; 30 cm. il.
Inclui bibliografia

Monografia. Licenciatura em Matemática, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – IFRO, Campus Cacoal, 2021.

Orientador: Profº. M.e Claudemir Miranda Barboza

1. Equações diferenciais. 2. Álgebra linear. 3. Circuitos elétricos - Aplicação. I. Barbosa, Mauro José. II. Instituto Federal de Rondônia. III. Título.

CDD 515.352

Bibliotecária responsável: Fernanda de Oliveira Freitas Cavalcante – CRB11/762

Scanned by TapScanner

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE RONDÔNIA
Cacoal - Código INEP: 11109815
Rodovia BR 364, Lote
2A, CEP 76960-970,
Cacoal (RO)CNPJ:
10.817.343/0008-73 -
Telefone: (69) 2182-
9641

ATA DE DEFESA DE ARTIGO CIENTÍFICO

Na data 09/06/2021 realizou-se a sessão pública de defesa do Artigo Científico intitulada **EquaçõesDiferenciais Ordinárias: aplicação nos circuitos elétricos** apresentada pelo aluno **Mauro José Barbosa (2016106043028-9)** do Curso **Licenciatura em Matemática (Cacoal)**. Os trabalhos foram iniciados às **19:30** pelo Professor**Claudemir Miranda Barboza** presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Claudemir Miranda Barboza** (Orientador)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo do Artigo Científico, passou à arguição docandidato. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

[X] APROVADO **Nota: 93**

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **Claudemir Miranda Barboza** lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da bancaexaminadora.

CACOAL / RO, 09/06/2021

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Bateria de Bagdá 8
Figura 2:Bússula Chinesa 8
Figura 3: Pedra de Âmbar 9
Figura 4 maquina de Guericke 10
Figura 5 maquina de Hauksbee 10
Figura 6: fio de cânhamo 11
Figura 7 – Diagrama de circuito. 13
Figura 8 – Possíveis símbolos do capacitor. 13
Figura 9 – Modelo de capacitores 14
Figura 10 – Representação do Resistor. 15
Figura 11 – Diferentes tipos de Resistores. 15
Figura 12 – Valor do Resistor. 16
Figura 13 – Representação do indutor. 16
Figura 14 – Tipos de indutores. 17
Figura 15 – Verificação experimental de Lenz. 17
Figura 16 – Representação da fonte de tensão. 18
Figura 17 – Representação do interruptor. 19
Figura 18 – Dispositivo de Manobra. 19
Figura 19 – Diagrama do circuito RC. 21
Figura 20 – Gráfico para carga e descarga do capacitor no circuito RC. 21
Figura 21 – Diagrama do circuito RL. 22
Figura 22 – Gráfico da corrente no circuito RL. 23

Comentado [Af1]: Correções ortográficas

Sumário

RESUMO 4
1. INTRODUÇÃO 5
2. RESULTADOS E DISCURSÕES 6
2.1. HISTÓRIA DAS EQUAÇÕES DIFERENCIAIS 6
2.2. OS PRIMÓRDIOS DA ELETRICIDADE E DO MAGNETISMO 7
2.3. CIRCUITOS ELÉTRICOS 12
2.4. COMPONENTES DOS CIRCUITOS 13
2.4.1 CAPACITOR (C) 13
2.4.2 RESISTOR (R) 14
3. INDUTOR (L) 16
4. FONTES DE TENSÃO (V) 17
5. INTERRUPTOR 19
5.1. CIRCUITO RC (RESITOR-CAPACITOR) 20
5.2. CIRCUITO RL (RESISTOR – INDUTOR) 22
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 25
7. REFERÊNCIAS 25

EQUAÇÕES DIFERENCIAIS ORDINÁRIAS: APLICAÇÕES EM ELETROMAGNETISMO

Mauro José Barbosa[1]
Claudemir Miranda Barboza[2]

RESUMO

Este trabalho apresenta uma abordagem teórica das Equações Diferenciais, especialmente dos circuitos elétricos RC e RL, bem como os contextos históricos e suas aplicações. O objetivo deste estudo é estimular o entendimento dos componentes e dos circuitos elétricos, além de verificar suas características e o seu funcionamento, possibilitando um completo aprendizado na disciplina de Física e Equações Diferenciais. O trabalho foi desenvolvido no *Campus* Cacoal do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia/IFRO e tem por finalidade promover o aprendizado dos conteúdos estudos em sala de aula. Foram utilizados na pesquisa artigos científicos, livros e computadores com acesso à internet sobre o tema.

Palavras – chave: Circuitos elétricos, Equações Diferenciais Ordinárias, aplicações.

ABSTRACT

This work presents a theoretical approach to Differential Equations, especially RC and RL electrical circuits, as well as historical contexts and their applications. The objective of this study is to stimulate the understanding of the components and electrical circuits, in addition to verifying their characteristics and functioning, enabling a complete learning in the discipline of Physics and Differential Equations. The work was developed at the Cacoal Campus of the Federal Institute of Education, Science and Technology / IFRO and aims to promote the learning of content studies in the classroom. Scientific articles, books, computers with internet access on the topic were used in the research.

Keywords: Electrical circuits, Ordinary Differential Equations, applications.

[1] Acadêmico de graduação em matemática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia/IFRO. Email: maurojose.barbosa@gmail.com.
[2]

1. INTRODUÇÃO

A presente pesquisa surge a partir de uma demanda da disciplina de equações diferencias ordinárias e da física do curso de Licentura em matemática do Instituto Federal de Rondônia campus Cacoal. Segundo Boyce e Diprima (2010) equações que contém derivadas são equações diferenciais, assim, para compreender e averiguar problemas que envolva movimento de fluidos, fluxo de corrente elétrica em circuitos, dissipação de calor em objetos sólidos, propagação e detecção de ondas sísmicas, o crescimento e a redução de populações entre outros, se faz necessário algum conhecimento em equações diferenciais.

Uma demanda na área de Física e Equações Diferenciais sobre o Eletromagnetismo, particularmente dos circuitos elétricos RC e RL através de livros, artigos científicos, documentos, revistas acadêmicas, sites educacionais, entre outros. Assim, o presente trabalho tem por objetivo especifico apresentar o contexto histórico das equações diferenciais, bem como a teoria e aplicação de equações diferenciais em circuitos elétricos. Inicialmente será realizada uma apresentação histórica sobre as equações diferenciais, física, circuitos elétricos, destacando a teoria e posteriormente sua aplicação feita com base nas equações diferenciais

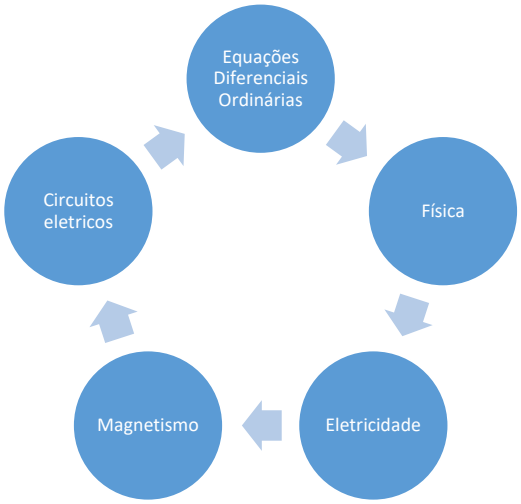
Nos dias atuais é quase impossível realizar qualquer atividade sem que tenhamos que usar pelo menos um aparelho elétrico, como nos lares com os eletrodomésticos, no trabalho com os computadores, no lazer com as caixas de som, entre outros. Todos esses aparelhos possuem um circuito elétrico que possibilitam o seu funcionamento, por isso, temos como objetivo geral o estudo das Equações Diferenciais Ordinárias e sua aplicação na Física, em particular no Eletromagnetismo – circuitos elétricos RC e RL através da teoria e suas aplicações.

Segundo HALLIDAY, RESNICK e WALKER (2013, p.50) “um dos principais objetivos da física é resolver problemas aparentemente complexo” e explicar diversos fenômenos do nosso cotidiano, desde a criação do universo até a estrutura molecular da matéria, “o ensino da Física possibilita aos alunos [...] conhecer e entender melhor os fenômenos da natureza e o mundo tecnológico em que vivem”, porém, dependendo do conteúdo o estudo da física às vezes é muito abstrato, com muitas fórmulas e teorias, por isso, torna-se necessário desenvolver nos alunos diferentes habilidades para compreender o universo ao seu redor e enriquecer o seu aprendizado. (SOUZA, 2018).

Para VALLE (s.d.), “Muitos problemas importantes da engenharia, da física, da biologia e das ciências sociais são formulados por equações que envolvem a derivada de uma função desconhecida”, assim, uma equação diferencial é toda equação que contém derivadas.

2. RESULTADOS E DISCURSÕES

Neste trabalho vamos abordar contexto histórico das equações diferenciais ordinárias, da física, do começo até os dias atuais tentando mostrar de forma simples e descomplicada como a matemática funciona, como outras matérias estão ligadas a matemática.



2.1. HISTÓRIA DAS EQUAÇÕES DIFERENCIAIS

BOYCE e DIPRIMA (2010, p.22) afirma que o estudo das equações diferenciais teve início com Isaac Newton e Gottfried Wilhelm Leibniz durante o século XVII, Newton recebeu o mérito por ser o primeiro a desenvolver um método para solução de uma equação diferencial e as classificou como sendo de primeira ordem, já Leibniz teve um importante papel no desenvolvimento das equações diferenciais, a notação atual para derivada $\frac{dx}{dy}$, bem como o sinal de integral são devidos a ele, assim como a descoberta do método de separação de variáveis em 1691 e a redução de equações homogêneas.

Os irmãos Bernoulli, Jakob e Johann contribuíram para que as equações diferenciais ampliasse suas aplicações, Jakob resolveu uma equação diferencial do tipo $y' = \left(\frac{a^3}{by^2 - a^3}\right)^{\frac{1}{2}}$ e Johann foi capaz de resolver anos mais tarde a equação $\frac{dy}{dx} = \frac{y}{ax}$. Considerado o maior

matemático do século XVIII, Leonhard Euler dentre suas inúmeras contribuições, no campo das equações diferenciais, identificou a condição para que equações diferenciais de primeira ordem sejam exatas, desenvolveu a teoria de fatores integrantes, encontrou a solução geral para equações lineares homogêneas com coeficientes constantes e estendeu o resultado para equações lineares não homogêneas, ele usava frequentemente séries de potências para solucionar equações diferencias (BOYCE e DIPRIMA, 2010, p.22). Outros grandes nomes surgiram nas equações diferenciais como Joseph-Louis Lagrange, Pierre-Simon de Laplace, entre outros.

As equações diferenciais têm sido objeto de estudo para muitos cientistas e contribuem para muitas áreas do conhecimento, MEDEIROS (2016, p.16) enfatiza sobre a importância das equações e sua aplicação nos dias atuais.

> A importância das equações diferenciais está no fato de que mesmo as equações mais simples correspondem a modelos físicos úteis, como por exemplo o decaimento de substâncias radioativas, o comportamento de sistemas de massas e molas e o comportamento de circuitos elétricos. O conhecimento de sistemas naturais complexos é em geral conseguido através da combinação ou do refinamento de modelos mais simples e mais básicos (MEDEIROS, 2016, p.16, *apud* BOYCE e DIPRIMA, 2010, p.09).

As Equações Diferenciais estão presentes em diversas áreas das ciências como Biologia, Economia, Engenharia, Física, Gastronomia, Psicologia, entre outras, mesmo sendo pouco vista no dia a dia. (ALITOLIF, 2011, p.7).

2.2. OS PRIMÓRDIOS DA ELETRICIDADE E DO MAGNETISMO

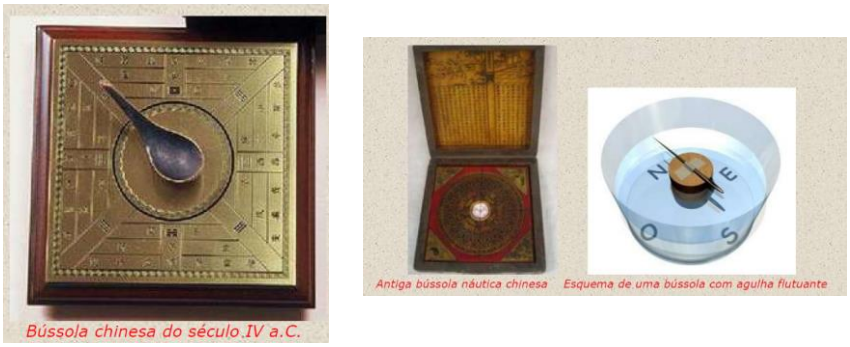
Em épocas remotas já existiam investigações nessa área, uma delas é a batéria de Bagdá, do século II a.c. e pode ser considerado o primeiro artefato elétrico. Especulações desse dispositivo feito de um vaso de argila com uma chapa de cobre em sua base e uma barra de ferro no seu interior, a ser completado com alguma solução ácida, tenha funcionado como uma bateria química rudimentar.

Figura 1: Bateria de Bagdá

Fonte: http://www.technischesmuseum.at/objekt/bagdad-batterie

Outro instrumento é magnético: a bússola ou agulha magnética, utilizada na China desde o século IV a.c. Isso mostra que todo conhecimento de hoje a respeito da eletricidade e

Figura 2:Bússula Chinesa



Fonte: https://origemdascoisas.com/

magnetismo é uma construção histórica decorrente da necessidade imediata de cada época.

Na Grécia antiga onde foram feitos os primeiros registros e explicações sobre fenômenos elétricos, com base na atração do âmbar, uma resina vegetal fóssil exercia sobre pedaços de palhas ou penas, depois de ter sido esfregados em pele de carneiro.

Figura 3: Pedra de Âmbar

Fonte: https://www.ambarbaltico.pt

Tales de Mileto (624 a.c – 558 a.c) explicou esse efeito dotando a matéria de “alma”, ou seja, de vontade, com a palha sedenta de uma substância presente no âmbar.

O termo eletricidade vem de elektron, âmbar em grego. Os primeiros relatos sobre femômenos magnéticos também remotam a texto de Tales, escreveu que uma certa pedra encontrada nas proximidades de Anatólia, região da atual Turquia, podia atrair pedaços de ferro. O termo **magnetismo** se deve ao nome do pastor de ovelhas chamado Magnes, que vivia na região e notou que o ferro de seu cajado e de suas sandálias eram atraídos por algumas pedras. Portanto essa região ficou conhecida como Magnésia e o mineral como magnetita.

Em 1269, baseando-se em seus próprios experimentos, o francês Petrus Peregrinus de Maricourt (1220 – 1270) escreveu **O magneto** o primeiro trabalho importante e organizado no ocidente sobre o magnetismo do ímã natural.

Ele descreveu a atração e a repulsão entre ímãs, estabelecendo a ideia de polos magnéticos para agulha da búlsola e para orientar as pessoas em suas viagens.

O médico italiano Girolamo Cardamo (1501 – 1576) escreveu um dos primeiros textos sobre os fenômenos elétricos e magnéticos como resultantes de processos diferentes.

A maior síntese desses conhecimentos foi apresentada na obra **De magnete,** do médico inglês William Gilbert (1544 – 1603) por meio de suas pesquisas ele concluiu que esse além do âmbar, outras substâncias apresentam esse comportamento. Constriu um instrumento que chamou de versorium, uma espécie de bússola com isso conseguiu provar que várias substãncias, quando atritadas, conseguiam atrair outros corpos.

Além dos fenômenos elétricos, temos o magnetismo. Segundo Gilbert, a terra funcionava como um grande ímã. Para provar isso, ele construiu uma esfera de magnetita e verificou que, quando aproximava uma bússola da esfera, ocorria desvio da agulha, tal como ocorre com a orientação da agulha da bússola para o norte terrestre.

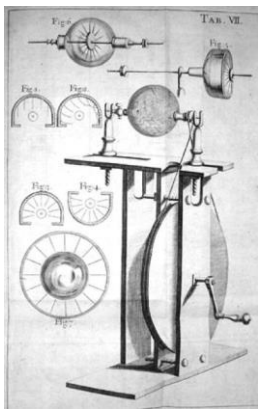
Mas apenas em 1629 houve a identificação da repulsão de natureza elétrica, feita por Niccolò Cabeo (1586 – 1650). A eletricidade começou a se popularizar só depois que Otto Von Guericke (1602 – 1686) criou as primeiras máquinas eletrostéticas, capazes de gerar carga elétrica. A máquina de Guericke era construída de uma esfera, revestida de enxofre presa a uma manivela, quando a esfera era colocada em rotação e atritada com as mãos, esse artefato produzia faísca.

Figura 4-máquina de Guericke

Fonte: Comandos Elétricos: Aula 01 - História dos motores elétricos (comandoseletricosii.blogspot.com)

Francis Hauksbee (1670 – 1713) fez outra máquina dessas, composta de uma esfera de vidro ou cristal oca, em cujo interior se fazia vácuo, movida por um sistema de manivela, polias e correias. Quando essa esfera estava em movimento e entrava em contato com as mãos de alguém ou com alguns objetos, eles se eletrizavam.

Figura 5 maquina de Hauksbee



Fonte: Teced/textos/Grupo 6 - Stoa (usp.br)

Além desse aparelho, Hauksbee construiu um suporte cheio de fios e linhas, que ao se aproximarem de um corpo eletrizado, se orientavam de forma radical a ele, dado ideia de que dos corpos emenavam fluidos elétricos.

Ainda nessa época, eram produzidos verdadeiros shows de ‘mágica” usando os efeitos da atração e da repulsão elétrica entre corpos. O inglês Stephen Gray (1666 – 1736) tornou-se conhecido por realizar experimentos de levitação de objetos, valendo-se da atração e da repulsão elétrica entre eles. Em um de seus experimentos prendeu um garoto em um suporte de madeira e, com auxílio de uma máquina eletrostática, conseguiu transportar carga elétrica para o garoto através de fios de cânhamo (um produto retirado das plantas que pode ser usado na área têxtil).

Figura 6: fio de cânhamo

Fonte: Cânhamo – Wikipédia, a enciclopédia livre (wikipedia.org)

Depois de terem sido carregadas eletricamente, as mãos do garoto atraíam pequenos pedaços de folhas de ouro. Com experimento desse tipo, Gray mostrou que a eletricidade poderia ser transformada através de determinadas matérias, chamados de condutores elétricos. Já as matérias onde ocorria a condução de eletricidade foram chamados de isolantes.

Na história da física, HALLIDAY, RESNICK e WALKER (2013, p.01) explicam que o eletromagnetismo foi estudado na Grécia antiga,

> “[...] pelos filósofos [...], que descobriram que se um pedaço de âmbar fosse friccionado e depois aproximado de pedacinhos de palha, a palha seria atraída pelo âmbar. Hoje sabemos que a atração entre o âmbar e a palha se deve a uma força elétrica. Os filósofos gregos também observaram que se um tipo de pedra (um ímã natural) fosse aproximado de um objeto de ferro, o objeto seria atraído pela pedra. Hoje sabemos que a atração entre os ímãs e os objetos de ferro se deve a uma força magnética.”. (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2013, p.01).

Foi em 1820 que o físico dinamarquês Hans Christian Oersted observou no efeito térmico das correntes nos fios condutores, que ao passar uma corrente pelo fio e uma agulha

magnética estivesse próxima, ela sofria influência e um campo magnético era gerado ao seu redor. (ISOLA, s.d.). Ainda na história da eletricidade com o magnetismo,

> André Marie Ampère (1775-1836), um matemático francês logo descobriu o efeito das correntes de um fio nas correntes de outro fio próximo e estabeleceu a primeira teoria matemática desse novo fenômeno. Observou que correntes em fios paralelos com o mesmo sentido repeliam os fios e correntes no sentido oposto os atraiam e estabeleceu as equações matemáticas. Construiu em 1822 um solenoide para criar campos magnéticos. Os passos iniciais da eletricidade ficaram ainda mais alicerçados quando o físico alemão George Simon Ohm (1789-1854) anunciou em 1827 a lei que hoje recebe seu nome. A lei de Ohm diz que a corrente que atravessa um circuito é proporcional à tensão dividida pela resistência do circuito. (ISOLA, s.d.)

Outra contribuição importante ao eletromagnetismo é do cientista autodidata inglês Michael Faraday (1791-1867) que fez a descoberta da indução eletromagnética que é "fundamental para o surgimento dos motores mecânicos de eletricidade e os transformadores". (CAVALCANTE, s.d.). No entanto, muitos outros cientistas deixaram suas contribuições ao eletromagnetismo,

> [...] como o físico norte-americano Joseph Henry (1797-1878), que deu continuidade aos trabalhos de Faraday sobre a indução eletromagnética, Heinrich Lenz (1804-1865), físico russo que também se dedicou a estudar esse fenômeno, Nicolas Tesla que estudou o campo magnético. Finalmente, podemos citar em especial James Clerk Maxwell (1831-1879), notável físico escocês, cuja participação teve importância teórica fundamental. Maxwell em sua obra Tratado sobre eletricidade e magnetismo (publicada em 1873), generalizou os princípios da eletricidade descobertos por Coulomb, Ampère, Faraday e outros. Entre outros feitos, Maxwell descobriu através de equações matemáticas a velocidade da luz com um percentual de erro muito pequeno, com relação aos dados experimentais que temos hoje. A descoberta posterior das ondas eletromagnéticas constituiu a verificação experimental do acerto da Teoria de Maxwell. (CAVALCANTE, s.d.).

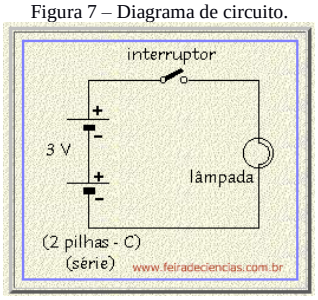
Segundo ISOLA (s.d) as histórias destes cientistas são muito importantes, pois nos mostra que a tecnologia que temos hoje "demorou anos, séculos para ser criada e que muitas pessoas deram muito mais do que suor para isso, eles deram as suas vidas".

2.3. CIRCUITOS ELÉTRICOS

Para ANJOS (s.d.) o circuito elétrico "é um conjunto formado por um gerador elétrico, um condutor num circuito fechado e um elemento capaz de utilizar a energia produzida pelo gerador", ou seja, um circuito é estabelecido quando conectamos elementos entre si, tendo necessariamente dentre esses elementos uma ou mais fontes de energia elétrica, juntamente a componentes ou aparelhos consumidores dessa energia através de condutores (fios, cabos, etc.), os quais fazem os contatos entre os elementos, de forma que haja um circulação de corrente elétrica entre os elementos (daí a noção de circuito) e é representado por um *diagrama de circuito* ou uma *rede*, construídos a partir de arranjos série e paralelo de elementos com dois terminais. A análise do diagrama de circuito permite prever o desempenho do circuito real e

suas partes relevantes são representados por símbolos que podemos chamar de componentes do circuito. (NETTO, s.d.).

Figura 7 – Diagrama de circuito.



Fonte: NETTO (s.d.)

MACHADO (2004, p.78) afirma que "os circuitos elétricos são formados por componentes elétricos ou eletrônicos", podem ser do tipo RC, RL entre outros. Estes circuitos "podem ser estudados por meio de equações diferenciais de 1º ordem" e também de 2º ordem e são constituídos por resistores, capacitores, indutores, entre outros dispositivos que possuem uma relação com a carga ou a corrente que atravessa o elemento e com a diferença de potencial a que ele está submetido".

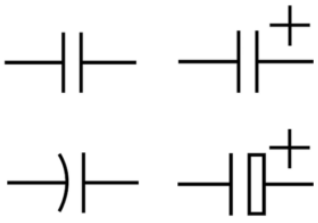
Antes de começar a estudar os circuitos elétricos é necessário identificar os diversos símbolos correspondentes a cada componente, assim como entender as suas funções.

2.4. COMPONENTES DOS CIRCUITOS

2.4.1 CAPACITOR (C)

Segundo MACHADO (2004, p.79), os capacitores são representados por duas placas paralelas de mesmo tamanho, porém eles podem ser representados por várias formas geométricas. Ele é considerado um dispositivo reativo, pois, "reage às variações da corrente, o valor ôhmico muda, conforme a variação de corrente nele aplicada", essa reação chama-se reatância capacitiva (X_c) e sua unidade de medida é o ohm (Ω). (MARKUS, 2011, p.02).

Figura 8 – Possíveis símbolos do capacitor.



Fonte: Disponível em: <http://eletronicaparaartistas.com.br/capacitores/>. Acesso em: 18 de nov.2018.

Figura 9 – Modelo de capacitores

Fonte: Disponível em:<https://www.resumoescolar.com.br/fisica/aplicacoes-dos-capacitores/>. Acesso em: 18 de nov. 2018.

O capacitor tem a função de armazenar ou acumular cargas (energia elétrica), ou seja, ele absorve energia até ficar com a mesma tensão da fonte que está liberando esta energia elétrica e a descarrega curto-circuitando os terminais, é quase que instantaneamente, alguns capacitores têm polaridade e precisam ser usados no circuito respeitando-a (+ e -). Para VERAS (2017, s.p.) "o capacitor não pode ser usado como uma bateria, pois a energia armazenada nele se esgota em alguns segundos", isso vai depender da capacidade µF (microfarads) e da V (voltagem) de cada capacitor, é o que chamamos de capacitância.

Sobre o funcionamento interno do capacitor MARKUS (2011, p.03) descreve,

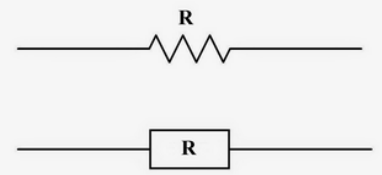
> Aplicando uma diferença de potencial (tensão) entre as placas, com potencial positivo na placa A e potencial negativo na placa B, a placa A começa a ceder elétrons para o polo positivo da fonte, carregando-se positivamente, enquanto a placa B começa a atrair elétrons do polo negativo da fonte, carregando-se negativamente, formando, desse modo, um fluxo de elétrons (corrente **i**). O fluxo de elétrons não consegue atravessar as placas por causa do material isolante existente entre ambas, fazendo com que as cargas fiquem armazenadas nas placas. Conforme o aumento dessa carga, a diferença de potencial entre elas aumenta, fazendo com que o fluxo de elétrons diminua. Após um determinado tempo, a carga armazenada atinge seu valor máximo, isso ocorre quando a diferença de potencial entre as placas se iguala à tensão da fonte. (MARKUS, 2011, p.03).

MACHADO (2004, p.78) explica que o potencial V do capacitor é expressa pela relação $V_c = \frac{Q}{C}$, em que C é a capacitância e Q a carga elétrica.

2.4.2 RESISTOR (R)

Os resistores são representados por uma linha serrilhada ou por um retângulo e são considerados dispositivos resistivos, "aquela que resiste à passagem da corrente, mantendo o seu valor ôhmico constante, tanto para corrente contínua como para corrente alternada". (MARKUS, 2011, p.02).

Figura 10 – Representação do Resistor.



Fonte: Disponível em: < http://mecatronizando.blogspot.com/2014/11/resistores.html>. Acesso em: 18 de nov. 2018.

Figura 11 – Diferentes tipos de Resistores.

Fonte: Disponível em: < https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/resistors/standard-resistor-values-e-series-e3-e6-e12-e24-e48-e96.php>. Acesso em: 18 de nov. 2018.

Segundo VERAS (2017, s.p.) os resistores são limitadores de corrente elétrica, ou seja, "sua principal função é dissipar energia [...] a ser utilizada para algum outro fim" (MACHADO, 2004, p.79), ele permite que passe por ele apenas a quantidade ideal de corrente elétrica para o bom funcionamento do circuito ou de outro componente de acordo com suas necessidades. São vários os tipos de resistores podendo ser fixos (possuem um valor de resistência constante) e variáveis (são aqueles em que é possível mudar o valor da resistência), sua denominação é dada conforme algumas características: quando é um divisor de tensão com 3 terminais são chamados de potenciômetro, quando são apenas uma resistência variável recebem o nome de reostatos, existem também os potenciômetros digitais que são controlados por software, etc.

MORAES e TEIXEIRA (2006, p.21) complementam que "a causa e a fonte de voltagem em um circuito elétrico é o gerador",

> A intensidade da corrente elétrica não depende apenas da voltagem, mas também da resistência elétrica que o condutor oferece à passagem de corrente elétrica. Quando uma corrente elétrica passa por um condutor sólido, um número muito grande de elétrons livres se desloca nesse condutor. Os elétrons livres colidem entre si e colidem também contra os átomos que formam o condutor. Devido a essas colisões, os elétrons livres encontram uma certa dificuldade para se deslocar, existe uma resistência à passagem de corrente elétrica. (MORAES; TEIXEIRA, 2006, p. 21).

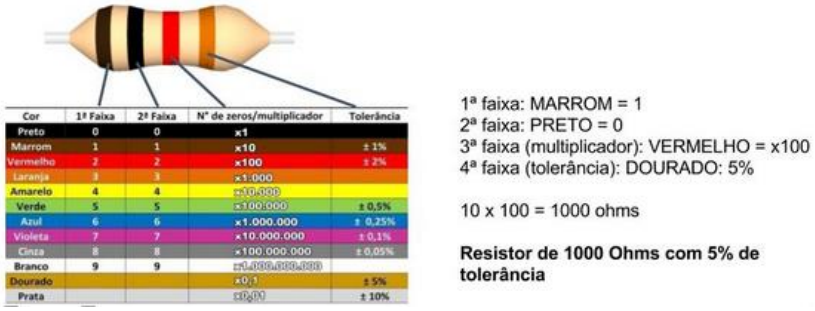
O potencial V do resistor é calculado pela equação $V_R = R.i$, em que R é a resistência e i a corrente elétrica. A unidade de resistência elétrica no SI é o ohm, em homenagem a Georg

Simon Ohm e é representada pela letra grega Ω (ômega), assim: $1\Omega = \frac{1V}{1A}$ (MACHADO, 2004, p.78).

Para saber o valor correto de um resistor o MUNDO DA ELETRÔNICA (s.d.) explica que,

> A maior parte dos resistores atuais tem uma marcação com faixas coloridas que serve para indicar o valor da resistência e a sua tolerância [...], mas de qualquer forma, vamos dar um exemplo rápido calculando o valor de um resistor a partir das cores! No nosso exemplo da imagem abaixo, temos um resistor de composto de carbono com quatro faixas de cor. Sendo que a primeira faixa dá o primeiro dígito do valor da resistência. A segunda faixa dá o segundo dígito. A terceira faixa indica um fator de multiplicação e a quarta faixa dá a tolerância do resistor. (MUNDO DA ELETRÔNICA, s.d.)

Figura 12 – Valor do Resistor.

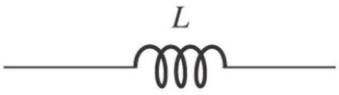


Fonte: Disponível em: < https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-um-resistor/>. Acesso em: 18 de nov. 2018.

3. INDUTOR (L)

O indutor também conhecido como bobina pode ser representado com o desenho de molas.

Figura 13 – Representação do indutor.



Fonte: Disponível em: < https://athoselectronics.com/como-funciona-indutor/>. Acesso em: 18 de nov. 2018.

Ele tem a função de acumular energia através do campo magnético, ou seja, "é um dispositivo no qual a energia elétrica é armazenada no campo magnético criado pelas correntes que circulam por ele", essas características são obtidas através de um condutor metálico enrolado em uma bobina, que por sua vez ao receber corrente elétrica induz uma voltagem no

condutor de sentido contrário aquela que está originalmente passando, segundo a lei de Lenz. (WAKIM, s.d.).

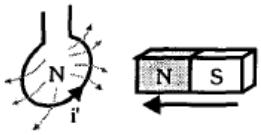
Figura 14 – Tipos de indutores.

Fonte: Disponível em: < https://athoselectronics.com/como-funciona-indutor/>. Acesso em: 18 de nov. 2018.

Sobre a Lei de Lenz, KITOR (s.d.) relata que,

> Quando um ímã é movimentado nas proximidades de uma espira condutora fechada, [...] surge uma força eletromotriz induzida nesta espira, e uma corrente elétrica pode ser detectada neste circuito [...]. Sendo assim, em 1834, o físico russo Heinrich E. Lenz (1804-1865) define que a força eletromotriz é igual ao negativo da variação do fluxo magnético no interior da espira. Por isso, a **Lei de Lenz** evidencia o aparecimento de uma reação contrária a ação provocada pelo ímã. Ou seja, se o norte do ímã se aproxima da espira, o sentido da força eletromotriz é anti-horário. Isto porque, conforme convencionado, o Norte é o sentido positivo da indução magnética. Por sua vez, o sentido do movimento das cargas positivas coincide com o sentido da força eletromotriz induzida. (KITOR, s.d.)

Figura 15 – Verificação experimental de Lenz.



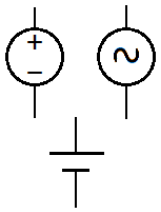
Fonte: (MARKUS,2011, p.101)

A aplicação do indutor “se estende desde os filtros para caixas acústicas até circuitos industriais, passando pela transmissão de sinais de rádio e televisão”. (MARKUS, 2011, p.19.

4. FONTES DE TENSÃO (V)

A fonte de tensão é normalmente representada por dois traços paralelos de comprimentos diferentes, em que o traço maior indica o ponto de maior potencial e o menor indica o ponto de menor potencial, porém existem outras maneiras de representá-la.

Figura 16 – Representação da fonte de tensão.



Fonte: Disponível em: < https://eletrisite.wordpress.com/tag/circuitos/>. Acesso em: 19 de nov. 2018.

A fonte de tensão gera uma diferença de potencial conhecida e constante nos seus terminais, com diferentes cargas a corrente poderá mudar, porém a tensão sobre a carga sempre permanecerá a mesma. “Por exemplo: se tivermos uma fonte de 12 volts e colocarmos um resistor de 12 **Ω**, sabe-se que neste circuito vai circular uma corrente de 1 A por este circuito, logo, a tensão em cima do resistor será de 12 volts, mas se trocarmos o resistor para 6 **Ω** a corrente será de 2 A”. O que acontece neste exemplo é que a tensão e a carga sempre continuarão a mesma (12 volts), porém a corrente vai ser alterada para manter os 12 volts em cima da carga, independente do resistor que estiver no circuito. Assim, neste circuito sempre terá 12 volts de diferença de potencial em cima do resistor (ALL ELETRONICS, 2013).

ALEXANDER; MUSA e SADIKU (2014, p.08) afirmam que “a quantidade mais básica de um circuito elétrico é a carga elétrica”, “A carga elétrica (Q) é uma propriedade da matéria responsável por fenômenos elétricos, medidos em coloumbs (C)” e que nela os seguintes pontos devem ser observados:

> O coloumb é uma unidade grande para as cargas. Em 1C de carga, existem $6{,}24 \cdot 10^{18}$ elétrons [...]. A lei de conservação de carga estabelece que a carga não pode ser criada nem destruída, apenas transferida. Assim, a soma algébrica das cargas elétricas em um sistema fechado não se altera. (ALEXANDER; MUSA; SADIKU, 2014, p.08).

Ainda segundo os autores, quando um fio condutor (com trilhões de átomos) é conectado a uma bateria, “as cargas são forçadas a se mover”, assim “as cargas positivas movem-se em uma direção, enquanto as negativas movem-se na direção oposta”. Com isso, cria-se uma corrente elétrica. (ALEXANDER; MUSA; SADIKU, 2014, p.09).

> No fio de cobre (ou de qualquer outro metal) os elétrons naturalmente lá existentes vagueiam desordenadamente (têm sentidos de movimentos aleatórios) até que, por alguma **ordem externa,** alguns deles passam a caminhar ordenadamente (todos no mesmo sentido) constituindo a corrente elétrica. A **intensidade** dessa corrente elétrica vai depender de **quantos** desses portadores, em movimento bem organizado passam, **por segundo**, por uma região desse fio. A corrente elétrica, num circuito, é representada pela letra **i** e sua intensidade poderá ser expressa em **ampères** (símbolo **A**), em **miliampères** (símbolo **mA**) ou outros submúltiplos tal qual os microampères (símbolo **μA**). (NETTO, s.d., p.04).

A intensidade da corrente elétrica (i) que passa numa seção de um fio é medida pela quantidade total da carga elétrica (Q) e o intervalo de tempo (Δt) que essa mesma carga passa pela seção, ou seja, $i = \frac{|Q|}{\Delta t}$. Em que i é medido em ampères, Q é medido em coulombs e Δt é medido em segundos. (NETTO, s.d., p. 05)

A corrente elétrica pode produzir diferentes efeitos ao passar por um condutor, o que vai depender é apenas a intensidade da corrente e a natureza do condutor. Os efeitos causados são: *efeito Joule* ou *efeito térmico* – "transformação de energia elétrica em energia térmica", muito visto em torradeiras, ferro elétricos, entre outros. *Efeito magnético* – "todo condutor que é percorrido por uma corrente elétrica e gera um espaço ao seu redor um campo magnético", encontrado em bússolas. *Efeito luminoso* - "ao atravessar um gás, sob baixa pressão, a corrente elétrica provoca a excitação eletrônica nas moléculas do gás, o que pode provocar a emissão de radiação visível (emissão de luz) ", encontrado nas lâmpadas fluorescentes, entre outros. (MORAES e TEIXEIRA, 2006, p.19).

5. INTERRUPTOR

O dispositivo de manobra também conhecido como interruptor ou chaves, são os responsáveis por desligar ou acionar o funcionamento do circuito elétrico, ou seja, eles impedem ou permitem a passagem da corrente elétrica no circuito. (MUNDO DA ELETRÔNICA, s.d.).

Figura 17 – Representação do interruptor.

Fonte: Disponível em: < https://eletrisite.wordpress.com/tag/circuitos/>. Acesso em: 19 de nov. 2018.

Figura 18 – Dispositivo de Manobra.

Fonte: Disponível em: <https://www.foxlux.com.br/blog/dicas/dispositivos-de-manobra/>. Acesso em: 19 de nov. 2018.

5.1. CIRCUITO RC (RESITOR-CAPACITOR)

KITOR (s.d.) afirma que o circuito RC é composto por um resistor, um capacitor e uma força eletromotriz, ou seja, um gerador de energia (bateria, pilha, entre outros) e é de fundamental importância, pois a combinação destes componentes fixa uma constante de tempo, assim o circuito fica bem mais rápido. Este tipo de circuito é muito encontrado em inúmeras áreas das ciências exatas e da engenharia, por exemplo, no transporte de calor em regime transitório com substâncias radioativas, em amortecimentos, etc.

Bronson (2008) o circuito RC é constituído por uma resistência, uma capacitância *C* medida em *farads*, uma força eletromotriz e nesse modelo não há indutância (Figura 7), a equação que modela a quantidade de carga elétrica *q* medida em *colombs* no capacitor é

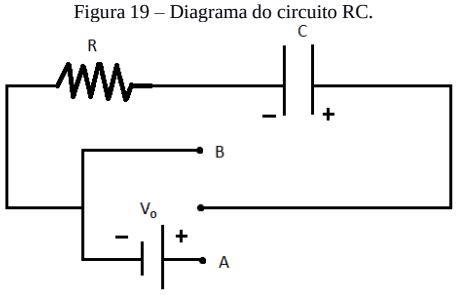
$$1° \frac{dq}{dt} + \frac{1}{RC} q = \frac{E}{R}$$

A relação entre q e I é :

$$2° \ I = \frac{dq}{dt}$$

A figura 20, apresenta um diagrama de um circuito RC, tem uma chave que pode ocupar as posições A e B e está inicialmente desligada, na posição A ocorrerá a carga do capacitor e na posição B a descarga. Este circuito também possui um gerador de força eletromotriz igual a V e resistência interna desprezível. O gerador está conectado a um resistor de resistência R e a um capacitor inicialmente descarregado de capacitância igual a C, ou seja, o número de carga positiva das placas do capacitor é o mesmo da carga negativa (a quantidade de prótons e elétrons são os mesmos). Quando o contato é colocado no ponto A "a fonte de tensão V_o transfere energia para os elétrons", consideremos que eles (os elétrons) saiam pela placa negativa da fonte "e passa pelo resistor (R), onde perde uma parcela da energia, e chega à placa esquerda do capacitor, que adquire uma carga negativa". (MACHADO, 2004, p. 80).

Figura 19 – Diagrama do circuito RC.



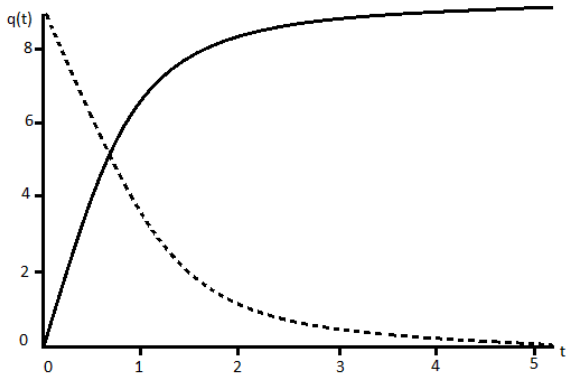
Fonte: Adaptado de MACHADO (2004, p.79)

MACHADO (2004, p. 80-81) explica como acontece todo o carregamento do capacitor,

> Há uma força resultante repulsiva que "empurra" os elétrons da outra placa. [...] O fato de que o capacitor agora tem cargas gera um campo elétrico entre suas placas, e esse campo elétrico causa uma diferença de potencial entre elas. Essa diferença de potencial tem sinal oposto ao sinal da fonte de tensão [...]. À medida que o processo se desenvolve, fica cada vez mais difícil para o elétron chegar ao capacitor, até que, quando a carga é tal que a diferença de potencial entre as placas é $-V_o$, o movimento cessa, e o capacitor está completamente carregado. Essa é a descrição física qualitativa do processo de carga de um capacitor. (MACHADO, 2004, p.80-81)

Para a descrição quantitativa, temos: as equações diferenciais para obter a carga instantânea do capacitor é $q(t) = CV_c\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$ e para calcular a descarga do capacitor temos, $q(t) = CV_c e^{\frac{-t}{RC}}$, para calcular a corrente que circula no circuito utilizamos $i(t) = \frac{V_c}{R} e^{\frac{-t}{RC}}$. (YAMAMOTO, s.d.).

Figura 20 – Gráfico para carga e descarga do capacitor no circuito RC.



Fonte: Adaptado de MACHADO (2004, P.83)

A figura 20, com a linha cheia, mostra o capacitor sendo carregando com carga *q* durante o intervalo de tempo *t*, assim quando o capacitor estiver carregado a carga nele armazenada será

igual a *q(t)*. Antes de iniciar o seu carregamento o capacitor está totalmente descarregado, logo o processo de carga começa muito rapidamente, mas à medida que ele vai sendo carregado o seu potencial aumenta e fica mais difícil o escoamento das cargas, portanto a eletrização do capacitor ocorre mais lentamente, até que atinja o valor máximo da carga (q). No instante *t* que o capacitor se encontra totalmente carregado o fluxo de cargas em direção ao capacitor é interrompido, por isso, a passagem da corrente é bloqueada e o capacitor funciona como uma chave aberta no circuito. (KUANDO, 2013).

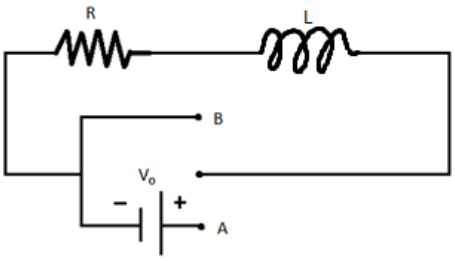
Na linha tracejada da figura 21, mostra o descarregamento do capacitor, assim quando atinge a sua posição inicial no gráfico o capacitor encontra-se totalmente carregado e quando mudamos a chave para a posição B, começa a forma de descarga que tem a forma exponencial, em que a carga armazenada no capacitor é de aproximadamente *q(t)*=0 no instante *t*, a contar da mudança de posição da chave. (KUANDO, 2013).

5.2. CIRCUITO RL (RESISTOR – INDUTOR)

Para Bronson (2008) a equação que modela a quantidade de corrente *I* medida em *ampères* para um circuito do tipo RL (Figura 22), com resistência *R* medida em *ohms*, uma indutância *L* medida em *henries* e uma força eletromotriz *E* medida em *volts* é $\frac{dI}{dt} + \frac{R}{L}I = \frac{E}{L}$

Para MACHADO (2004, p. 84) “um circuito RL em série é formado por um resistor (R) e um indutor (L) cuja função básica é impedir que a corrente i varie”.

Figura 21 – Diagrama do circuito RL.



Fonte: Adaptado de MACHADO (2004, p. 84)

MACHADO (2004, p. 84) explica o funcionamento do circuito RL,

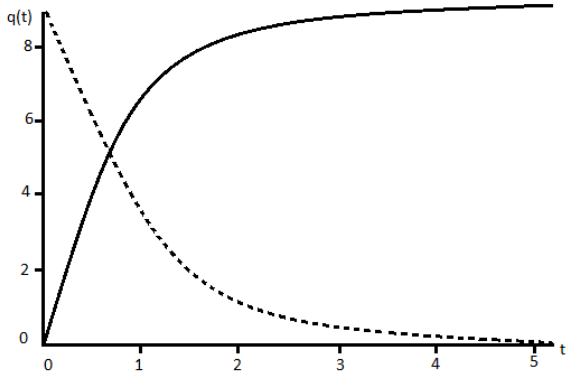
> Quando a chave é colocada em A, os elétrons começam a se mover e geram uma corrente i, que, bem no início do processo, tem valor pequeno mas aumenta com rapidez, ou seja, tem $\frac{di}{dt}$ grande. Essa corrente está variando e passa pelo resistor e

> pelo indutor. O indutor é constituído de tal forma a se opor a qualquer variação de corrente, de modo que ele tende a diminuir o grande $\frac{di}{dt}$. Então, $\frac{di}{dt}$ diminui, à medida que i aumenta, até que chega uma situação em que $\frac{di}{dt} = 0$, e a corrente atinge um valor máximo que não muda, desde que a fonte mantenha uma tensão fixa. A equação diferencial para esse processo é $i(t) = \frac{V_o}{R}\left[1 - e^{\frac{-R}{L}t}\right]$. (MACHADO, 2004, p.84)

O indutor é um elemento passivo que armazena energia no campo magnético, assim ele não gasta energia, apenas armazena e devolve para o sistema. A indutância por sua vez é a propriedade que o indutor tem de se opor a variação de corrente elétrica que o percorre gerando uma tensão autoinduzida oposta a variação original (da corrente elétrica). Em corrente contínua (CC), o indutor é simplesmente um curto circuito, ou seja, uma continuidade do fio e numa corrente alternada (CA) o indutor vai ter um comportamento peculiar como se fosse uma resistência elétrica para a passagem da corrente. (EMANUELLI, s.d.).

Dando continuidade no funcionamento do circuito RL, porém, agora com a chave na posição B, MACHADO (2004, p. 84) complementa que quando a corrente está estabilizada "a corrente que circula no circuito começa a diminuir bruscamente, gerando um grande $\frac{di}{dt}$ negativo, já que a corrente diminui". O indutor tenta fazer essa variação diminuir, portanto $\frac{di}{dt}$ diminui em módulo, porém a corrente também diminui até que as duas se anulam.

Figura 22 – Gráfico da corrente no circuito RL.



Fonte: Adaptado de MACHADO (2004, p.87)

A figura 22, com a linha cheia, mostra o circuito RL quando a chave está em A, inicialmente a corrente é nula e à medida que o indutor carrega, a corrente elétrica cresce exponencialmente até o seu valor máximo. Nesse instante o indutor se comporta como um

curto-circuito permitindo corrente no circuito, o período do fechamento da chave e a estabilização da corrente é rápido, mas não instantâneo, assim o circuito RL estabelece uma relação entre níveis de tensão em um intervalo de tempo, definidos pelos valores do resistor e do indutor. (MARKUS, p. 81).

A linha tracejada mostra o descarregamento do indutor quando a chave é conectada em B, assim, no instante t = 0s, a fonte de alimentação é desconectada do circuito e o indutor se descarrega sobre o resistor, de forma que sua corrente descreve uma curva exponencial decrescente. Nesse caso, o indutor comporta-se como uma fonte de corrente, cuja capacidade de fornecimento é limitada pelo tempo de descarga, ou seja, no instante de abertura da chave em B, a tensão do indutor inverte a sua polaridade iniciando com tensão -E até atingir zero. (MARKUS. p.82).

Uma aplicação das equações diferenciais nos circulitos elétricos pode ser vista no exemplo que segue.

Um circuito RL tem uma fem (em volts) de 5 volts, uma induntância de 1 henry, uma resistência de 80 ohm e não tem corrente inicial. Determine no circuito para qualquer instante de tempo t.

A solução passa por retirar as informações do problema e aplicar a a equação diferencial que modela os circuitos RL, vejamos:

R=80 Ω

L=1 h

I=?

Solução: Pela E.D.O que modela o circuito $L.\frac{dI}{dt}+R.I=e(t)$

$1.\frac{dI}{dt}+80.I=5$ equação integral linear

$\frac{dI}{dt}+80i=5$

$\mu(i)=e^{80dt}$

$e^{80dt}.\frac{dI}{dt}+e^{80dt}.80i=e^{80dt}.5$

$\frac{d}{dt}[e^{80dt}.i]=5.e^{80dt}$

$d[e^{80dt}.i]=5.e^{80dt}$

$\int d[e^{80dt}.i]=5.\int e^{80dt}dt$

$e^{80dt}.i=5.\frac{1}{80}.e^{80dt}+c$

$e^{80dt}.i=\frac{1}{16}.e^{80dt}+c$

$i=\frac{1}{16}.e^{80dt}.e^{-80dt}+c.e^{-80dt}$

$i=\frac{1}{16}+c.e^{-80dt}$

$I(t)=\frac{1}{16}+c.e^{-80dt}$

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho visou, numa linguagem simples e objetiva, o estudo conceitual e histórico das equações diferenciais e da física para o entendimento dos componentes e dos circuitos elétricos RC e RL.

No estudo histórico, foi possível observar que muitos cientistas contribuíram e dedicaram suas vidas para criar e aprimorar os conceitos e cálculos matemáticos que conhecemos na atualidade.

No estudo conceitual, apesar de serem considerados simples, os circuitos elétricos RC e RL exigem do estudante um certo conhecimento dos componentes, dos diagramas, da funcionalidade e das equações que os modela.

Por isso, este trabalho possibilitou uma compreensão significativa dos conteúdos estudados em sala de aula nas disciplinas de equação diferencial e de física, gerou curiosidades, desenvolvimento cognitivo e contribuiu no crescimento do ensino-aprendizagem dos educandos.

7. REFERÊNCIAS

ALEXANDER, C.K; MUSA, S.M.; SADIKU, N.O.S. Análise de circuitos elétricos com aplicações. Minas Gerais: AMGH Editora ltda, 2014.

ALITOLEF, Sérgio dos Santos. Algumas Aplicações das Equações Diferenciais. Ji Paraná: UNIR, 2011.

ALL ELETRONICS. Fontes de tensão e corrente elétrica – circuitos elétricos. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=jyssHo42eaI>. Acesso em: 19 de nov. 2018.

ANJOS, Talita A. Circuito Elétrico. Disponível em: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/circuito-eletrico.htm>. Acesso em: 17 de nov. 2018.

BOYCE, William E. DIPRIMA, Richard C. Equações diferenciais elementares e problemas de valores de contorno. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

CAVALCANTE, Kleber G. A História do Eletromagnetismo; *Brasil Escola*. Disponível em <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/a-historia-eletromagnetismo.htm>. Acesso em: 17 de nov. 2018.

EMANUELLI, Luis Cesar. Indutância, circuito RL, (completo), (1/2). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=lKdREADQEQ0>. Acesso em: 19 de nov. 2018.

GOUVEIA, Rosimar. Corrente elétrica; *Toda Matéria*. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/corrente-eletrica/>. Acesso em: 18 de nov. 2018.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearls. Fundamentos de física, volume 3: eletromagnetismo. Tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

ISOLA, Vinicius. A história do Eletromagnetismo. Disponível em: <https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2003/992558ViniciusIsola-RMartins_F809_RF09_0.pdf>. Acesso em: 17 de nov. 2018.

KITOR, Glauber Luciano. Circuito RC. Disponível em: <https://www.infoescola.com/eletronica/circuito-rc/>. Acesso em: 17 de nov. 2018.

KUANDO. Carga e descarga de um capacitor. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Z7h9e0ybLO0>. Acesso em: 19 de nov. 2018.

MACHADO, Kleber Daum. Equações Diferenciais aplicadas à física. 3.ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2004.

MARKUS, O. Circuitos elétricos – Corrente contínua e corrente alternada – Teoria e exercícios. São Paulo: Érica, 2011.

MEDEIROS, Elisa Ferreira. Uma introdução ao estudo das Equações Diferenciais Parciais usando o modelo de *Euler- Bernoulli* para vibração transversal de uma barra flexível. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Graduação em Matemática Licenciatura, Rio Grande/RS, 2016.

MORAES, Maria B.S.A.; TEIXEIRA, Rejane M. R. Circuitos elétricos: novas e velhas tecnologias como facilitadores de uma aprendizagem significativa no nível médio. Textos de apoio ao professor de física. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de física, Programa de pós-graduação em física, 2006.

MUNDO DA ELETRÔNICA. O que é um resistor? Disponível em: <https://blog.mettzer.com/referencia-de-sites-e-artigos-online/>. Acesso em: 18 de nov.2018.

NETTO, Luiz Ferraz. Circuitos Elétricos. Disponível em: <http://www.feiradeciencias.com.br/sala12/12_T01.asp>. Acesso em: 17 de nov. 2018.

SILVA, Marco Aurélio da. Por que aprender física? Disponível em: <https://educador.brasilescola.uol.com.br/orientacoes/por-que-aprender-fisica.htm>. Acesso em: 16 de nov. 2018.

VALLE, Marcos Eduardo. Classificação das Equações Diferenciais, Equações Lineares de Primeira Ordem e Fatores Integrantes. Disponível em: <https://www.ime.unicamp.br/~valle/Teaching/2016/MA311/Aula1.pdf>. Acesso em: 16 de nov. 2018.

VERAS, Evandro. O que faz o componente eletrônico no circuito – 01. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=NjCn6QXA_7k>. Acesso em: 18 de nov.2018.

YAMAMOTO, Thiago K. Capacitor em corrente contínua. Disponível em: <http://eletronica-analogica2015.blogspot.com/2015/08/capacitor-em-corrente-continua.html>. Acesso em: 19 de nov. 2018.

WAKIM, Edsel. Indutor. Disponível em: <https://www.mundovestibular.com.br/articles/760/1/INDUTOR/Paacutegina1.html>. Acesso em: 18 de nov. 2018.