Proposta de ferramenta educacional didática para circuitos elétricos resistivos.

1st Wesley Breno Silva Lopes
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semiárido
Mossoró, Brasil
wesley.lopes@ufersa.alunos.edu.br

2nd Idalmir de Souza Queiroz Junior
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semiárido
Mossoró, Brasil
idalmir@ufersa.edu.br

3rd Alex Garcez Gomes Castro
Laboratórios de Física
Universidade Federal Rural do Semiárido
Mossoró, Brasil
alex.garcez@ufersa.edu.br

***Resumo*— De forma assertiva o estudo sobre as peculiaridades dos circuitos elétricos resistivos exibe uma grande importância para os estudantes de todos os níveis, principalmente a aqueles que estão inseridos no âmbito da engenharia elétrica. Nesse contexto, é possível encontrar vários meios que facilitam o processo de ensino-aprendizagem, onde as atividades práticas de forma comprovada destacam-se como um meio bastante eficaz, no que diz respeito ao ensino com um todo. Dessa maneira este trabalho propõe a criação de uma ferramenta, que contribui de modo construtivo no processo de aprendizagem sobre as aplicações dos circuitos elétricos resistivos. Um produto constituído a partir de aparatos elétricos de baixo custo, e adaptável com intuito de trabalhar as diversas técnicas de análises de circuitos, como por exemplo, as leis de Ohm, leis de Kirchhoff, aplicações como o teorema da superposição, e teorema de Thévenin.**

***Palavras-chave*— Circuitos elétricos resistivos, Atividades práticas de eletricidade, Teoremas elétricos.**

PROPOSAL OF A DIDACTIC EDUCATIONAL TOOL FOR RESISTIVE ELECTRICAL CIRCUITS.

***Abstract*— In assertive way, the study of the peculiarities of resistive electrical circuits exhibits great importance for students of all levels, especially those who are inserted in the scope of electrical engineering. In this context, it is possible to find several means that facilitate the teaching-learning process, where practical activities in a proven way stand out as a very effective means, with regard to teaching as a whole. Thus, this work proposes the creation of a tool, which contributes constructively to the learning process about the applications of resistive electrical circuits. A product consisting of low-cost electrical apparatus, and adaptable in order to work on the various techniques of circuit analysis, such as Ohm's laws, Kirchhoff's laws, applications such as the superposition theorem, and Thévenin's theorem.**

***Keywords*— Resistive electrical circuits, Practical electricity activities, Electrical theorems.**

I. INTRODUÇÃO

O contato com atividades experimentais é um desafio para as intuições e educadores em todos os níveis de ensino, tanto pela falta de uma estrutura adequada de laboratórios, ou mesmo na ausência, quanto pelo despreparo dos profissionais de ensino. Apesar deste cenário negativo que encontramos em diversas instituições educacionais, sejam elas de caráter públicas ou privadas, com o avanço da ciência e tecnologia, dispomos de cada vez mais ferramentas que nos dão oportunidade para propor meios que possam nos auxiliar no ensino de diversos conteúdos.

Visando esse contexto, a proposta de auxiliar os estudantes utilizando ferramentas educativas de baixo custo se faz necessária em todos os níveis de ensino, seja pelo fator econômico, devido o elevado custo de ferramentas já existentes no meio acadêmico, bem como também pela possibilidade da obtenção de conhecimento através do formato experimental.

Por meio de uma implementação com materiais de baixo custo que são encontrados em lojas de eletrônicos, a ferramenta proposta é composta por componentes, que quando combinados de forma correta, permite trabalhar com o aluno as várias possibilidades de montagem [1].

Desse modo, este artigo objetiva-se propor uma ferramenta acadêmica de baixo custo que poderá ser implementada à estudantes dos níveis médio e superior, em especifico à alunos que partilham de assuntos relacionados as diversas aplicações que permeiam os circuitos elétricos.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. Circuitos elétricos

Segundo Nilsson os circuitos elétricos em meio a grande amplitude de subáreas relacionadas a engenharia elétrica, é o artefato comum em todas elas, e os define como sendo um modelo matemático que se comporta de forma similar à um sistema elétrico real [2].

De acordo com Barak a aprendizagem sobre circuitos elétricos se faz necessária a estudantes dos cursos de engenharia elétrica, de modo que a compreensão de tais conteúdos proporciona ao estudante um conhecimento sobre os modos de operação de diversos aparatos presentes no âmbito elétrico [3].

Freiesleben cita que, os assuntos sobre os circuitos elétricos possuem um importante papel no aspecto da inserção de tais, no cenário do ensino fundamental, médio, bem como também nos cursos técnicos e superiores nas áreas da Engenharia, Física, Computação, Automação e áreas correlatas [4].

B. Conceitos básicos

Conforme Boylestad, a tensão elétrica ou força elétrica, define-se como a separação de cargas positivas e negativas entre dois pontos [6].

O mesmo autor ainda a define como sendo a energia por unidade de carga criada por essa separação, é expressa pela seguinte razão diferencial [6].

$$v = dw/dq \quad (1)$$

Onde *v* é a tensão elétrica em Volt (V), *w* é a energia elétrica em Joule (J), e o *q* denota-se como a carga elétrica em Coulomb (C) [2].

"Em geral toda fonte de tensão se estabelece ao se criar uma separação de cargas positivas e negativas" [5].

Segundo Alexander a corrente elétrica é definida como sendo o fluxo de carga por unidade de tempo, medido em unidade de Ampère [5].

Matematicamente a mesma é denotada pela seguinte expressão:

$$i = dq/dt \quad (2)$$

Onde *i* é a corrente elétrica dada em Ampère (A), *q* é a carga elétrica em unidade de Coulomb (C), e *t* é o tempo em segundo (s) [5].

Alexander cita que a potência elétrica é definida como sendo a velocidade que se consome ou se absorve a energia [5].

A expressão da mesma denota-se da seguinte forma:

$$p = dw/dt \quad (3)$$

Onde *p* é a potência elétrica em unidade de Watts (W), *w* é a energia elétrica em Joule (J), e *t* é o tempo em segundo (s) [5].

Conforme Nilsson, a resistência elétrica é denotada como a capacidade de oposição às cargas elétricas que um dado material possui [2].

Boylestad cita que essa oposição acontece fundamentalmente devido às colisões entre os elétrons livres, e outros elétrons, íons e átomos que estão em movimentos, que acaba resultando na conversão de energia elétrica em calor [6].

A resistência elétrica é medida em ohm, em homenagem ao seu descobridor Georg Simon Ohm, e usa a letra grega **Ω** *(ômega)*, como unidade [5].

A mesma em termos de expressão define-se da seguinte forma:

$$R = v/i \quad (4)$$

Onde *R* é o valor da resistência elétrica em Ohm (**Ω**), *v* é a tensão elétrica aplicada em Volt (V) e *i* é a corrente elétrica em Ampère (A) [6].

- *Resistor*

Segundo Nilsson o resistor é o componente responsável por modelar o comportamento de resistência à carga elétrica presente nos determinados circuitos elétricos [2].

Halliday relata que o mesmo é um dos componentes mais importantes no circuito, pois exibe a capacidade de controlar a corrente que transpassa de um ponto a outro no mesmo, garantindo assim a proteção de outros componentes [7].

O resistor em sua versatilidade apresenta vários tipos de modelos, seja em relação a capacidade de resistência, bem como também em suas aplicações [5].

- *Lei de Ohm*

Alexander menciona que a lei de Ohm, afirma que uma determinada tensão *v* aplicada a um resistor *R*, é diretamente proporcional a corrente *i* que transpassa por esse determinado resistor [5].

Conforme Boylestad, uma forma análoga, pode-se usar o modelo de uma mangueira conectada a uma válvula de pressão. Imagine os elétrons que passam por um determinado condutor de cobre, como sendo água que passa pela mangueira, a válvula de pressão, como sendo a tensão elétrica aplicada ao circuito. Se fecharmos a válvula de pressão, consequentemente a água permanecerá parada, sem direção ou mesmo algum tipo de movimento, quando abrimos a válvula, a água flui por entre a mangueira, assim como os elétrons no fio de cobre quando aplicamos a tensão elétrica, ou seja, a ausência de pressão resulta em um sistema sem movimento, assim como nenhuma corrente elétrica percorrerá o circuito. Observando esse fenômeno, o físico Alemão Ohm, notou que para uma resistência fixa, quanto maior a tensão elétrica aplicada nos terminais de um resistor, maior será a corrente elétrica, e para um valor fixo de tensão aplicada, quanto maior for a resistência elétrica, menor será a corrente elétrica. Em outras palavras a corrente é diretamente proporcional à tensão aplicada e inversamente proporcional à resistência elétrica [6].

Matematicamente falando a expressão da lei de Ohm denota-se da seguinte forma:

$$v = i \times R \quad (5)$$

Ou ainda,

$$i = v / R \quad (6)$$

A equação (6) denota também outra forma conveniente de expressar a lei de ohm, com a corrente em função da tensão [2].

Onde, *v* é a tensão elétrica aplicada em unidade de Volt (V), *i* é a corrente elétrica que percorre o circuito em Ampère (A), e *R* é a resistência elétrica em unidade de Ohm (Ω).

C. Técnicas de análises de circuitos elétricos

Para Nilsson, a lei de Ohm é importante no quesito de soluções dos circuitos, porém a mesma por si só, não é capaz de fornecer uma solução de forma completa. [2].

Segundo os relatos de Alexander, a mesma quando associada às leis de Kirchhoff, fornecem uma maneira potente e suficiente para estabelecer a análise de uma série de circuitos elétricos [5].

O mesmo autor cita que as leis de Kirchhoff foram inseridas pela primeira vez pelo físico alemão Gustav Robert Kirchhoff, em 1847. Comumente conhecidas como lei de Kirchhoff para corrente (LKC) ou simplesmente a lei dos nós, e lei de Kirchhoff para tensão (LKT), conhecida também como lei das malhas [5].

- *Lei de Kirchhoff para corrente*

Para Nilsson um nó define-se como um ponto no qual dois ou mais elemento presentes no circuito se unem, e que para usar as leis de Kirchhoff, é necessário a identificação dos nós existentes [2].

De acordo com Alexander a lei de Kirchhoff para corrente, diz que a soma algébrica das correntes que entram em um nó, ou limite fechado é igual a zero [5].

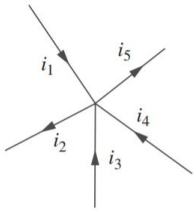
Analisando matematicamente a lei, implica dizer que:

$$\sum_{n=1}^{N} i_n = 0 \tag{7}$$

Onde *N* é o número de ramos que estão conectados ao nó, i_n, é a *enésima* corrente elétrica que entra ou sai do devido nó [5].

Alexander exemplifica que podemos assimilar de forma mais simples a aplicação da LKC, imagine um circuito onde um conjunto de correntes elétricas percorra para o nó como mostrado na Figura 1, onde a soma algébrica do nó seria: [5].

Figura 1 – Correntes em um nó, ilustrando o LKC.



Fonte: Alexander (2013).

Note que todas as correntes elétricas estão percorrendo todas ao nó.

$$i_T(t) = i_1(t) + i_2(t) + i_3(t) + \cdots \tag{8}$$

Aplicando a integração em ambos os lados do equacionamento, tem-se:

$$q_T(t) = q_1(t) + q_2(t) + q_3(t) + \cdots \tag{9}$$

Onde

$$q_k(t) = \int i_k(t)dt \text{ e } q_T(t) = \int i_T(t)dt. \tag{10}$$

Mas, conforme a lei da conservação da carga elétrica, a soma algébrica das cargas elétricas no nó não pode ser alterada, ou seja, que não tenha acumulo carga livre, então validando a lei de Kirchhoff para corrente elétrica, temos que [5].

$$q_T(t) = 0 \rightarrow i_T(t) = 0. \tag{11}$$

Em geral, uma forma alternativa de explicitar a mesma, segue a definição que a soma das correntes elétricas que entram em um nó é igual a soma das correntes que saem desse mesmo nó [5].

- *Lei de Kirchhoff para tensão*

Para Alexander a definição da lei de Kirchhoff para a tensão elétrica, baseia-se no principio da conservação da energia, onde a soma algébrica de todas as tensões elétricas em torno de um caminho fechado, ou simplesmente malha, é igual a zero [5].

Nilsson relata que a LKT, pode ser aplicada de duas formas, que são percorrendo a malha no sentido horário ou no sentido anti-horário, independente do sentido que foi adotado ao final a soma das tensões elétricas algébricas tem que ser igual a zero [2].

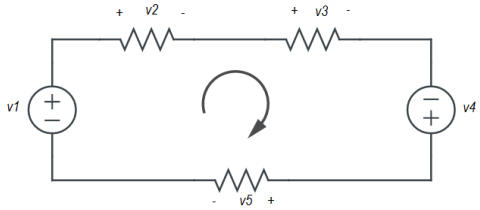
Expressando a equação matemática para LKT, temos que:

$$\sum_{m=1}^{M} v_m = 0 \tag{12}$$

Onde M é o número de tensões elétrias no laço, v_m é a m-ésima tensão elétrica [5].

Segundo Boylestad, uma forma de ilustrar a LKT, é imaginando um circuito de caminho fechado como o exemplo ilustrado na Figura 2, definir uma direção de referência para cada tensão no laço. No decorrer do caminho fechado nota-se que aparecerá quedas e elevações de tensão elétrica, se for adotado o sinal positivo para uma elevação de tensão, consequetemente o sinal negativo sera adotado para uma queda de tensão, o inverso também é verdade. [6].

Figura 2 - Circuito ilustrativo de um único laço para LKT.



Fonte: Autoria própria (2022).

Inicialmente partindo de qualquer ramo, e caminhando o laço no sentido horário, as tensões serão:

$$-v_1 + v_2 + v_3 - v_4 + v_5 = 0 \tag{13}$$

Então, organizando os termos acima, tem-se que:

$$v_2 + v_3 + v_5 = v_1 + v_4 \tag{14}$$

Note ainda que se a análise fosse feita no sentido anti-horário, o resultado teria sido:

$$+ v_1 - v_5 + v_4 - v_3 - v_{2=0} \tag{15}$$

Rearranjando os temos teremos, as mesmas equações, com exceção dos sinais que são invertidos [5]-[6].

Dessa forma, confere-se a validade da LKT, e pode-se interpretar que a soma das quedas de tensão é igual a soma das elevações de tensão [6].

- *Teorema da superposição*

Conforme Nilsson, o teorema da superposição é voltado como ferramenta de auxílio para resolução dos circuitos lineares, no qual sempre que ele é excitado por mais de uma fonte independente, a resposta total será a soma das respostas individuais de cada fonte [2].

De acordo com Alexander, o princípio da superposição, auxilia a análise de um circuito linear que possua mais de uma fonte independente, calculando separadamente a contribuição de cada fonte ali presente [5].

O mesmo autor estabelece que a análise de um circuito por meio do método da superposição envolverá muito trabalho, apesar disso esse método ajuda efetivamente a reduzir grandes circuitos a circuitos mais simples, pela substituição de fontes de tensão por curtos-circuitos e fontes de correntes por circuitos abertos [5].

Nilsson relata que o princípio da superposição exibe etapas para sua aplicação nos circuitos, são elas: Primeiramente desativam-se as fontes independentes, com exceção de apenas uma. Em seguida repete-se esse processo para cada uma das demais fontes independentes. Por fim encontre a contribuição total, somando de forma algébrica as contribuições de cada uma [2].

- *Teorema de Thévenin*

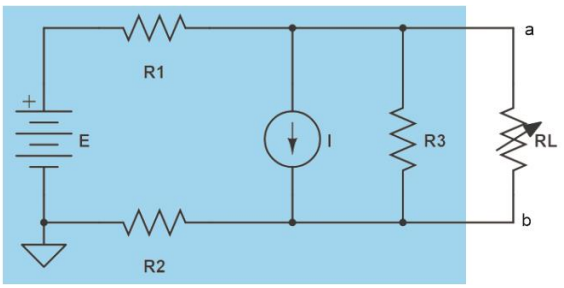
Segundo Boylestad o teorema de Thévenin, afirma que: “Qualquer circuito de corrente contínua de dois terminais pode ser substituído por um circuito equivalente que consiste apenas em uma fonte de tensão e um resistor em série” [6].

Para Alexander o mesmo é descrito como um dos mais importantes teoremas relacionados ao estudo de análise dos circuitos elétricos, pois com o mesmo é capaz de reduzir circuitos maiores a circuitos bem mais simples [5].

Nilsson menciona que essa aplicação foi desenvolvida pelo Francês Leon-Charles Thévenin, no ano de 1883, e até os dias de hoje tem servido como meio de simplificar as resoluções dos circuitos [2].

De forma a ilustrar essa contribuição, podemos imaginar um circuito conforma a Figura 3 exemplifica abaixo:

Figura 3 - Circuito para análise de Thévenin.



Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com o teorema, a área em sombreamento do circuito, poderá ser substituída por uma fonte de tensão em série a um resistor [6]. Isso implica dizer que se ocorrer a modificação da forma correta, a tensão elétrica nos terminais de a e b a corrente que passa no resistor R_L serão as mesmas em ambos os circuitos. Em geral há uma sequencia de passos a seguir para poder chegar na resposta final, que são [6]:

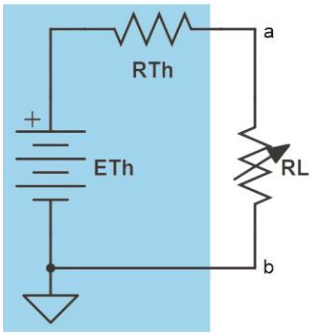
Boylestad cita que inicialmente é necessário remover a parte do circuito para qual deseja-se obter um circuito equivalente de Thévenin. E em seguida deve-se determinar os dois terminais no circuito remanescente [6].

Após isso, calcula-se a resistencia de Thévenin, R_{Th}, colocando primeiramente todas as fontes em zero, onde substituirá o que é fonte de tensão por curtos-circuitos e as fontes de corrente por circuitos-abertos, em seguida determina-se a resistência equivalente entre os dois terminais escolhidos, vale resslatar que se o circuito original incluir as resistências internas das fontes de tensão ou corrente, essas resistências deverão permanecer quando as fontes forem colocadas em zero [6].

Em seguida calcula-se a tensão elétrica de Thévenin, E_{Th}, retornando todas as suas fontes originais nos circuitos, e em conseguinte determina-se a tensão do circuito aberto entre os dois terminais escolhidos. Em todo caso, é importante lembrar que se trata da diferença de potêncial no circuito aberto entro os dois terminais escolhidos. [6].

Por fim, mas não menos importante, retorno entre os terminais do circuito equivalente a parte que foi previamente removida. Nessa passo denota-se a inserção do R_L entre os terminais do circuito equivalente de Thévenin. A Figura 4 ilustra como ficará a forma final após a aplicação do teorema [6].

Figura 4 - Circuito equivalente de Thévenin.



Fonte: Autoria própria (2022).

III. METODOLOGIA E MATERIAIS UTILIZADOS

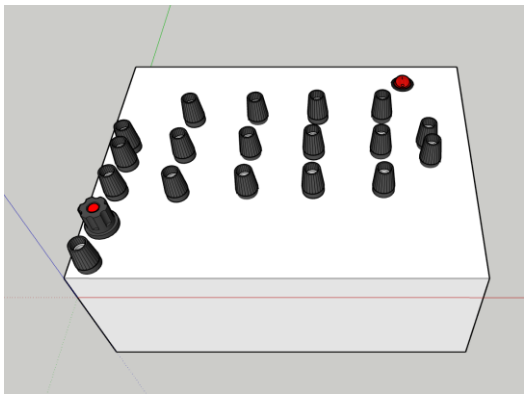
A elaboração deste trabalho se deu em etapas, e cada etapa foi desenvolvida com o intuito maior de se alcançar o objetivo principal, que como a própria proposta exibe, seria criar uma ferramenta educacional que auxiliaria alunos.

Inicialmente com base na fundamentação teórica a primeira etapa se deu através da projeção dos circuitos no software computacional Proteus 8, afim realizar simulações para futuramente comparar com valores medidos na ferramenta.

Posteriormente selecionou-se os componentes, no que diz respeito às características especificas de cada um que futuramente seriam implementados na ferramenta. Fonte de tensão, resistores, e etc.

Logo após fez-se a projeção estética da ferramenta através do site SketchUp para Web, onde a mesma é apresentada na Figura 5, com intuito de melhorar a visualização das dimensões estabelecidas, e como auxilio para a próxima etapa que seria a construção propriamente dita da ferramenta.

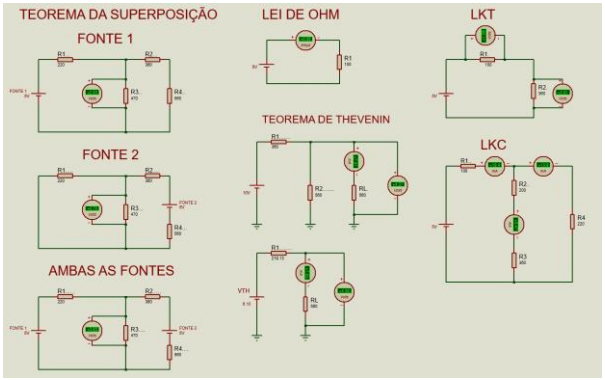
Figura 5 – Projeto 3D da ferramenta.



Fonte: Autoria própria (2022).

Em conseguinte fez-se a montagem da ferramenta no formato real, onde cada circuito projetado anteriormente no Proteus 8 seria imposto na mesma, inserindo os componentes de modo que pudesse adaptá-los estrategicamente para que fossem testados a fim de verificar as aplicações. A Figura 6 ilustra os circuitos que foram simulados no software e posteriormente inseridos na ferramenta.

Figura 6 – Circuitos simulados no Proteus 8.



Fonte: Autoria própria (2022).

Na estrutura dos circuitos deu-se prioridade o uso de aparatos que são facilmente encontrados a um custo acessível, e de simples manuseio. A Figura 7 exemplifica os materiais utilizados neste trabalho.

Figura 7 – Componentes utilizados no trabalho.

Fonte: Autoria própria (2022).

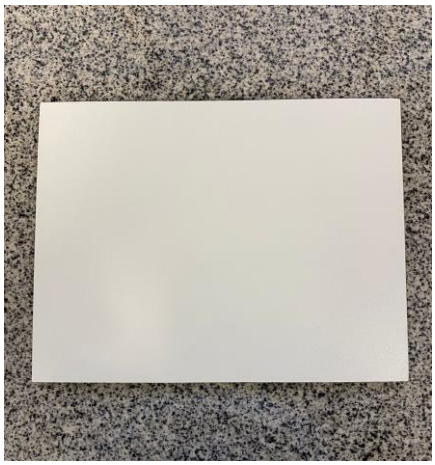
Cada circuito foi montado independentemente, um por vez, e em seguida foi realizada a medição das grandezas de tensão elétrica e corrente elétrica, a fim de inseri-las nas devidas aplicações.

Todo o procedimento de montagem e testes da ferramenta foi feito no laboratório de eletricidade e magnetismo da Universidade Federal Rural do Semiárido, no campus Angicos.

- *MDF*

Utilizou-se neste trabalho uma chapa de MDF nas dimensões 21×16 cm, como suporte para os aparatos do circuito, a ideia de usar o MDF, se deu devido ser um material isolante e com um baixo custo. A Figura 8 apresenta a chapa utilizada no trabalho.

Figura 8 – Chapa de MDF utilizada no experimento.



Fonte: Autoria própria (2022).

- *Fonte de tensão*

A fonte de tensão em um circuito elétrico, como seu próprio nome sugere, é o elemento responsável por exercer tensão elétrica, para que haja movimento das cargas elétricas no circuito. As fontes de tensão podem ser contínuas ou alternadas.

As fontes de tensão usadas neste trabalho foram duas fontes de alimentação com saída 5 V e 2 A de referência, SC-47, e uma fonte 12 V e 1 A regulada para 10 V, esta que foi utilizada somente para aplicação do Teorema de Thévenin. Embora o trabalho tenha se limitado ao uso das fontes citadas, há a possibilidade de uso de fontes com valores de tensão elétrica e corrente elétrica diferentes das utilizadas, o que dá possibilidade de montagens e simulações com outros tipos de circuitos, onde através dessas simulações pederia obter novos resultados.

Figura 9 – Fontes de tensão utilizadas nos experimentos.

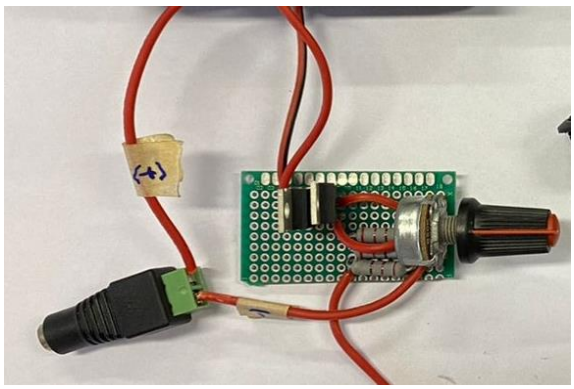
Fonte: Autoria própria (2022).

- *Módulo regulador de tensão*

O módulo regulador de tensão é um circuito integrado capaz de estabelecer um valor de tensão de saída fixo ou regulável de acordo com a tensão de entrada. Os módulos reguladores de tensão apresentam uma grande versatilidade aos circuitos, pois garantem estabilidade de tensão quando necessário e diversas configurações a depender de cada circuito.

O módulo regulador de tensão usado neste trabalho foi um módulo apresentado por Castro [8]. O mesmo possui uma faixa de tensão de 0 a 12 V. Tendo sido utilizado somente na aplicação do teorema de Thévenin devido o valor resultante da V_{Th} assumir um valor de tensão que comercialmente não se tem. A Figura 10 apresenta o modelo utilizado no trabalho.

Figura 10 – Módulo regulador de tensão usado nos experimentos.



Fonte: Autoria própria (2022).

- *Multímetro*

O multímetro mostra-se um aparato importante no âmbito elétrico como um todo, pois desempenha a função primordial de aferição da tensão elétrica, corrente elétrica e resistência elétrica que permeia um determinado circuito, tanto na forma contínua, quanto na forma alternada de corrente e tensão. Esse equipamento possui modelos analógicos e digitais, onde este último é utilizado com mais frequência devido sua precisão e versatilidade.

Para este artigo usamos o Multímetro digital de fabricante ICEL, de referência MD-6115 apresentado na Figura 11.

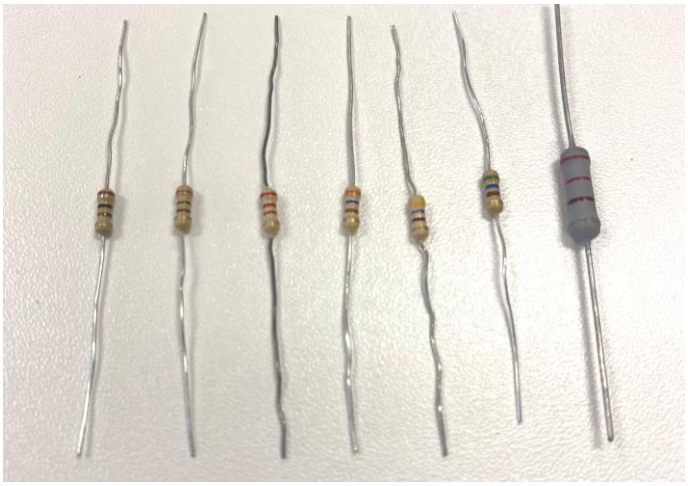
Figura 11 – Multímetro utilizado para medições.

Fonte: Autoria própria (2022).

- *Resistores*

Os resistores utilizados neste trabalho foram resistores de filme de carbono de 1/8 W, que são facilmente encontrados em lojas de eletrônicos. Ambos apresentavam capacidades de resistência diferentes, que foram 100 **Ω**, 200 **Ω**, 220 **Ω**, 360 **Ω**, 470 **Ω**, 560 **Ω**. A Figura 12 explicita os resistores usados no trabalho.

Figura 12 – Resistores utilizados no experimento.



Fonte: Autoria própria (2022).

- *Bornes*

Nos circuitos elétricos os bornes são elementos que servem para interligação de uma parte a outra nos mesmos, possuindo também quantidade de modelos diferentes, porém com a mesma finalidade.

Os bornes usados no trabalho foram o borne plug banana, na cor preto. A Figura 13 mostra o aparato.

Figura 13 – Bornes usados no experimento.

Fonte: Autoria própria (2022).

- *Cabos condutores*

Os cabos condutores exibem nos circuitos, a função de interligar todo o circuito, permitindo a passagem da corrente elétrica por todo o percurso do mesmo.

Utilizou-se neste trabalho condutores flexíveis (cabos) com terminais conectados a plugs do tipo banana, nas cores vermelho e preto. A Figura 14 ilustra os cabos.

Figura 14 – Cabos condutores usados no experimento.

Fonte: Autoria própria (2022).

- *Interruptor*

O botão como função de interruptor, tem por função permitir ou cortar a passagem de corrente por uma determinada parte do circuito, através das posições On e Off.

Neste trabalho utilizou-se um interruptor gangorra, apresentado na Figura 15. O mesmo foi utilizado na placa conectado diretamente nos polos das fontes de tensão.

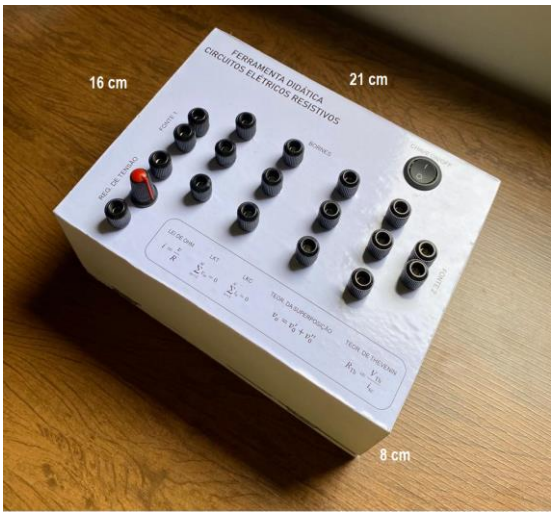
Figura 15 – Interruptor gangorra utilizado no experimento.

Fonte: Autoria própria (2022).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultado obtido é descrito através da montagem da ferramenta no formato real que apresenta as seguintes dimensões: 21×16×8 cm. Na própria ferramenta há as informações com as formulações matemáticas sobre cada aplicação, o que possibilita uma possível ajuda ao futuro usuário comparar os valores teóricos com os valores obtidos através das simulações. A Figura 16 mostra a ferramenta no seu formato real final.

Figura 16 – Ferramenta montada no formato real final.



Fonte: Autoria própria (2022).

Na ferramenta após sua montagem, foi realizada medições de tensão elétrica e corrente elétrica de acordo com os circuitos projetados no simulador. Vale salientar que as mesmas tiveram aproximadamente 1% de diferença quando comparados com os valores no simulador, já que os valores das resistências diferem devido a temperatura do resistor, a própria tolerância das resistências e outros aspectos.

É importante mencionar que neste trabalho as aplicações limitaram-se a apenas um valor de tensão elétrica e de corrente elétrica definidas para cada aplicação, porém para validar um melhor resultado, propõe-se medições com outros valores de tensão elétrica e corrente elétrica nas devidas aplicações

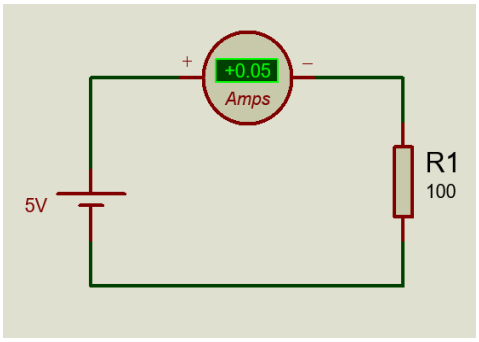
No entanto, a ferramenta cumpriu com o objetivo final proposto anteriormente.

Para cada aplicação foi analisado um circuito diferente. Foram montados 8 circuitos no total na fermenta a fim de realizar as medições e comprovar a efetividade da mesma, se baseando pelos valores mostrados.

A. Lei de Ohm

A Lei de Ohm, denota-se como a relação linear entre a tensão elétrica e a corrente elétrica, então para aplicar a mesma montou-se o circuito mostrado na Figura 16, que condiz com um circuito simples, constituído de uma fonte de tensão de 5 V, em série com um resistor de 100 Ω, e um multímetro na função de amperímetro. Abaixo segue o exemplo.

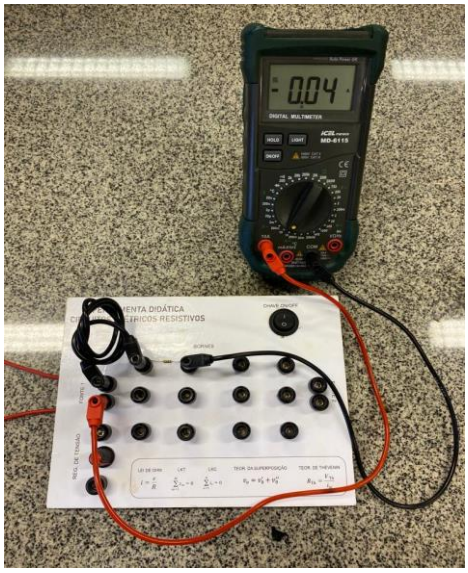
Figura 16 – Simulação da Lei de Ohm no software computacional



Fonte: Autoria própria (2022).

A seguir na Figura 17 tem-se a aplicação do circuito acima na ferramenta.

Figura 17 – Aplicação da Lei de Ohm na ferramenta.



Fonte: Autoria própria (2022).

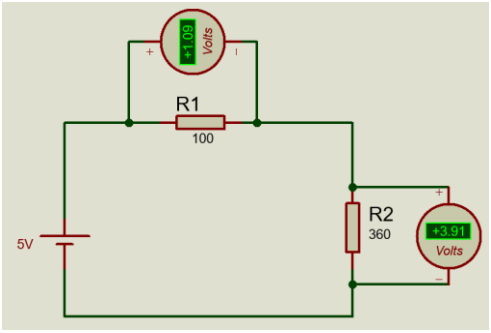
A medição efetuada pelo multímetro se aproxima do valor obtido na simulação apresentada na Figura 16, valendo salientar que deve ser levada em consideração que os resistores não possuem os valores exatos conforme o código de cores ao qual foram usados no simulador. Pode-se obter um valor medido mais próximo fazendo a medição com o ohmímetro no resistor usado e inserindo esse valor de resistência no simulador, ao qual ainda existe uma possível diferença, já que a resistência muda devido ao aquecimento do resistor.

Apesar disso ainda assim se faz válida e interessante a aplicação na ferramenta ao ponto de facilitar o processo de ensino pelos docentes.

B. Lei de Kirchhoff para tensão

Para analisar a aplicação da Lei de Kirchhoff para a tensão, montou-se um circuito resistivo com duas resistências em série, de valores 100 Ω e 360 Ω atrelados a uma fonte de tensão de 5V. A Figura 18 explicita o circuito descrito anteriormente.

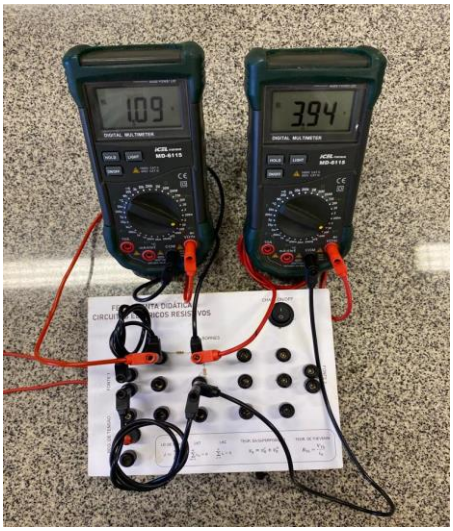
Figura 18 – Simulação da LKT no software computacional



Fonte: Autoria própria (2022).

Abaixo a Figura 19 denota a aplicação da LKT na ferramenta didática.

Figura 19 – Aplicação da LKT na ferramenta



Fonte: Autoria própria (2022).

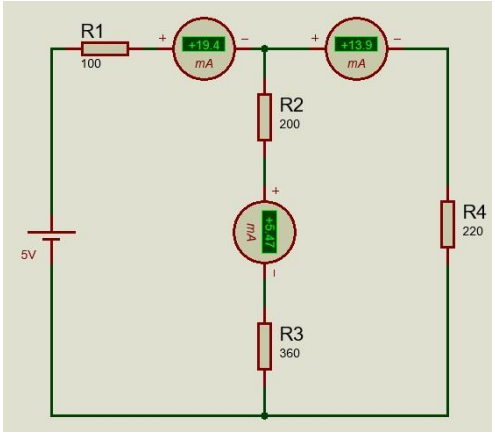
Nota-se que os valores medidos com os multímetros se aproximam dos valores obtidos na simulação ilustrada na Figura 18.

Assim confere-se que a ferramenta é interessante também para essa aplicação.

C. Lei de Kirchhoff para a corrente

No experimento da Lei de Kirchhoff para a corrente, usou-se um circuito resistivos com quatro resistores, com valores de 100 **Ω**, 200 **Ω**, 220 **Ω** e 360 **Ω**, uma fonte de tensão de 5 V, e o multímetro com a função de amperímetro. A Figura 20 ilustra o circuito descrito anteriormente nesse item C.

Figura 20 – Simulação da LKC no software computacional.



Fonte: Autoria própria (2022).

Adiante a Figura 21 exibe a aplicação da LKC na ferramenta.

Figura 21 – Aplicação da LKC na ferramenta

Fonte: Autoria própria (2022).

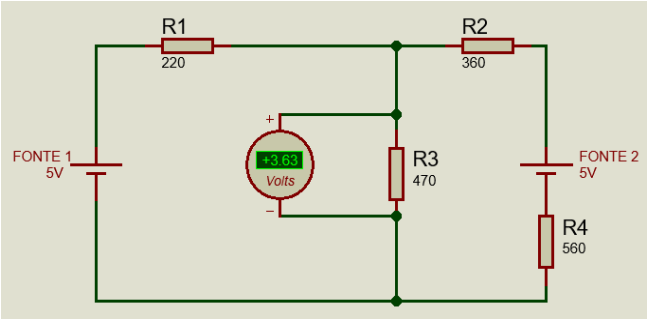
Observe que o valor medido no multímetro se aproxima do valor medido na simulação apresentada na Figura 20. Note que as três correntes foram medidas, o que é interessante afim de validar uma maior veracidade da ferramenta.

Dessa forma mais uma vez a ferramenta mostra-se diversa no que diz respeito a aplicabilidade dos teoremas.

D. Teorema da superposição

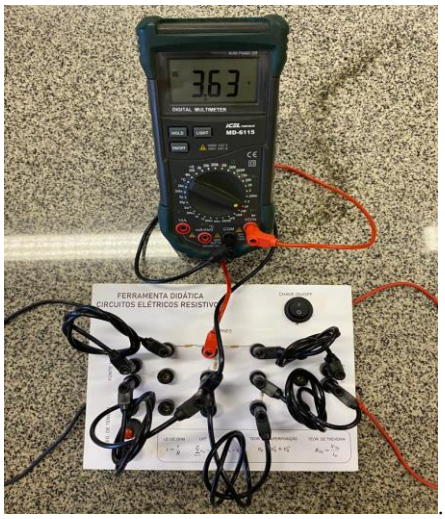
Na aplicação do teorema da superposição, montou-se três circuitos de forma independente, que foi o circuito com contribuição das duas fontes ao mesmo tempo ilustrado na Figura 22, outro circuito somente com a contribuição da fonte 1 que é apresentado na Figura 24, e o terceiro circuito com a contribuição somente da fonte 2 que é descrito na Figura 26. Em ambos os circuitos os valores de resistores foram os mesmos, tendo usado resistores de 220 **Ω**, 360 **Ω**, 470 **Ω** e 560 **Ω**. O valor de tensão elétrica das fontes era 5 V cada uma.

Figura 22 – Simulação da contribuição de ambas as fontes, no software computacional.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 23 – Aplicação da contribuição de ambas as fontes, na ferramenta

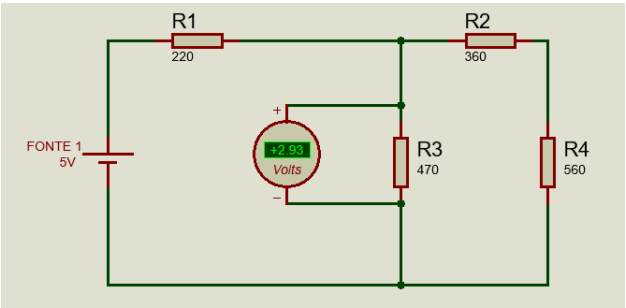


Fonte: Autoria própria (2022).

Na contribuição de ambas as fontes, o valor medido concorda aproximadamente com o valor do simulador apresentado na Figura 22. Note que o valor se aproxima de acordo com o numero de casas decimais adotado, porém é importante mencionar que nuca é um valor exato.

Contudo, a ferramenta possibilita essa aplicação.

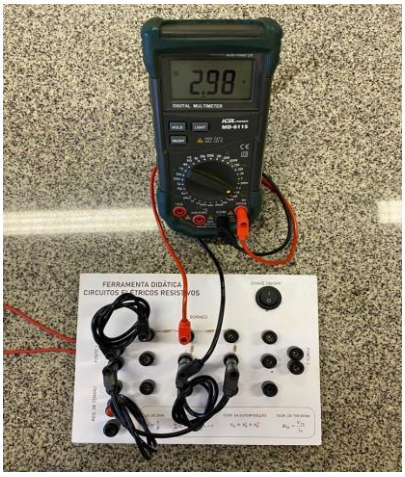
Figura 24 – Simulação da contribuição da fonte 1, no software computacional



Fonte: Autoria própria (2022).

Segue a aplicação do circuito da Figura 24 na fermenta.

Figura 25 – Aplicação da contribuição da fonte 1, na ferramenta

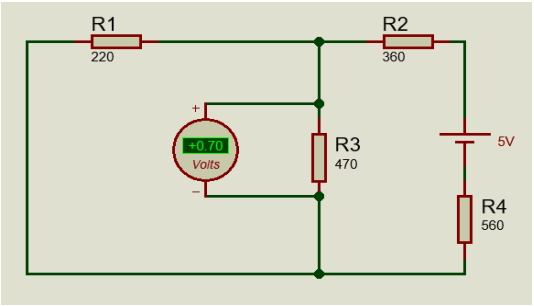


Fonte: Autoria própria (2022).

Note que para a contribuição da fonte 1 apresentado na Figura 25, o valor medido no multímetro se aproxima do valor obtido na simulação da Figura 24. O que observa-se uma diferença aproximadamente de 1% nos valores quando comparados.

Nesse contexto a ferramenta valida a aplicação e mostra-se eficiente.

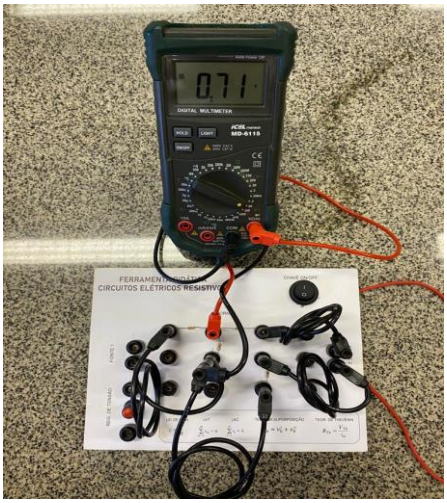
Figura 26 – Simulação da contribuição da fonte 2, no software computacional.



Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 26 denota a simulação da aplicação da contribuição somente da fonte 2.

Figura 27 – Aplicação da contribuição da fonte 2, na ferramenta.



Fonte: Autoria própria (2022).

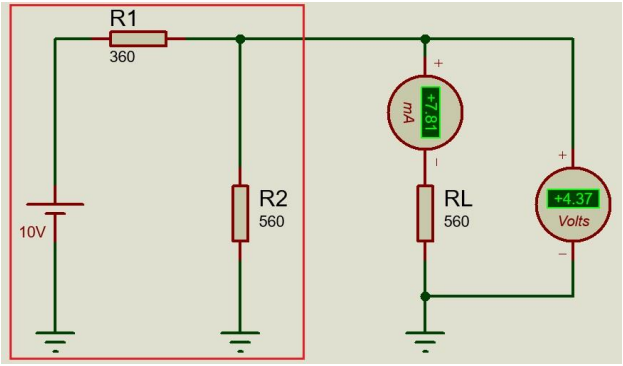
No experimento para a contribuição da fonte 2 somente apresentado na Figura 27, nota-se que o valor se aproxima do valor obtido na simulação descrito na Figura 26. O que nos mostra a efetividade da ferramenta também para essa aplicação.

Note ainda que ao somar o valor da contribuição da fonte 1 apresentado na Figura 24, com o valor da contribuição da fonte 2 ilustrado na Figura 26, dará o valor obtido na simulação que é apresentado na Figura 22. Se fizermos essa mesma somatória para os valores apresentados na Figura 25 e Figura 27, dará o valor obtido na Figura 23. Porém quando comparados os valores simulados no software com os obtidos na ferramenta através do multímetro, veremos uma diferença de manos de 1%, devido aspectos que não são levados em consideração no software.

E. Teorema de Thévenin

Na aplicação do teorema de Thévenin, usou-se um circuito composto por resistências de valores 360 Ω e 560 Ω, juntamente com a fonte de tensão de 10 V, circuito esse ilustrado na Figura 28, onde o objetivo se deu em estabelecer o seu equivalente.

Figura 28 – Simulação do circuito grande.

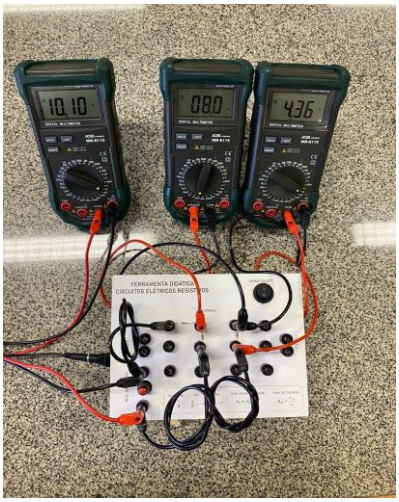


Fonte: Autoria própria (2022).

Note que o circuito apresenta uma região destacada em vermelho, onde a mesma representa a região que será submetida a aplicação do teorema de Thévenin a fim de encontra o seu equivalente.

A Figura 29 explicita a aplicação do circuito grande na ferramenta, onde nota-se que o valor medido apresenta uma aproximação quando comparado ao software, é importante mencionar que ainda assim possui uma diferença de aproximadamente 1% devido os aspectos relacionados as resistências.

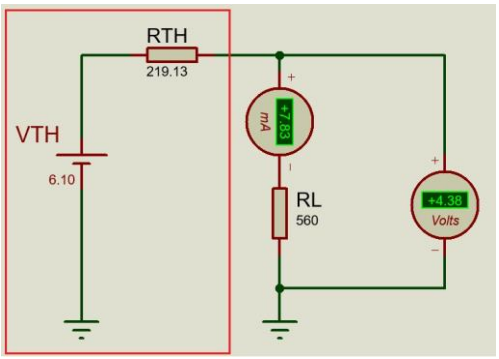
Figura 29 – Aplicação do circuito na ferramenta.



Fonte: Autoria própria (2022).

Na simulação do circuito equivalente de Thévenin, nota-se que o valor da V_{Th} reduziu de 10 V para 6.10 V, o que necessitaria de um regulador de tensão, já que a fonte é de valor fixo de saída. Então para isso foi utilizado o regulador de tensão, anteriormente mostrado na Figura 10. A Figura 30 apresenta a devida aplicação no software.

Figura 30 – Simulação do circuito equivalente de Thévenin



Fonte: Autoria própria (2022).

Observa-se que a região destacada em vermelho apresenta o valor da R_{Th}, que foi obtido através dos cálculos como sugere o teorema em análise.

Figura 31 – Aplicação do circuito equivalente de Thévenin na ferramenta.

Fonte: Autoria própria (2022).

Observando a aplicação do circuito equivalente de Thévenin na ferramenta, nota-se que o valor medido pelo multímetro, se aproxima do valor simulado no software. O que nos mostra que para a aplicação do teorema de Thévenin a ferramenta é útil.

Para efeito de aplicação, pode-se notar que a ferramenta mostrou-se útil no seu objetivo principal, pois através de todas as medições com o multímetro podemos comprovar esse fato.

Vale salientar que o custo para produção da ferramenta se mostra acessível, custando o valor aproximadamente de R$127,00, que comparado ao custo de algumas ferramentas já presentes no meio acadêmico, como por exemplo o modelo similar montado por Ferreira [1], que se aproxima de um valor de R$257,55, chega-se à conclusão que a ferramenta possui um valor coerente, quando analisado o aspecto de custo-benefício. A Tabela 1 descreve os valores em reais (R$) para a produção da ferramenta.

Tabela 1 – Valores dos componentes utilizados no trabalho.

MATERIAIS	**QUANT.**	**VALOR UNI. (R$)**	**VALOR TOT. (R$)**
MDF	1	R$ 13,00	R$ 13,00
Resistores	30	R$ 0,80	R$ 2,40
Bornes Plug Banana	18	R$ 1,45	R$ 26,00
Bornes P-4	3	R$ 5,16	R$ 15,50
Chave gangorra	1	R$ 2,50	R$ 2,50
Fontes de tensão 5V e 2A	2	R$ 20,00	40,00
Fonte 12 V e 1A	1	R$ 12,00	R$ 12,00
Regulador de tensão	1	R$ 15,00	R$ 15,00
TOTAL			R$ 126,40

Fonte: Autoria própria (2022).

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se por fim, que o devido trabalho cumpriu com todas as expectativas descritas incialmente, provando por meio da exploração dos temas descritos anteriormente, que a ferramenta proposta é uma boa forma de simplificar a aplicação dos circuitos elétricos resistivos, no que diz respeito a uma melhor visualização do circuito quanto sua montagem e simulação.

Nota-se que esse trabalho se limitou, a apenas quatro aplicações que são fundamentais para a resolução de qualquer tipo de circuito elétrico, porém há algumas outras aplicações que podem ser implementadas na ferramenta com o mesmo intuito citado anteriormente.

Dessa forma deixa-se como perspectivas futuras, a implementação de outros teoremas, como por exemplo, associação de fontes, divisor de tensão, divisor de corrente, entre outras que podem facilitar o processo de ensino-aprendizagem sobre os assuntos correlatos, a implementações de novos circuitos com valores de tensão elétrica diferente, com resistores que apresentam outros valores de resistência do analisado neste trabalho, bem como também a aplicação da ferramenta no meio acadêmico, mais precisamente com alunos que cursam disciplinas de laboratório de circuitos elétricos, ou outras que fazem parte do âmbito elétrico.

VI. REFERÊNCIAS

[1] FERREIRA, Paulo Ixtânio; GALDINO, Klarc da Silva; SOUSA, Aldeni Sudário de. Kit educacional para melhorias no ensino dos circuitos elétricos básicos. In: GUILHERME, Willian (Org.). Educação no Brasil: Experiência, Desafios e Perspectiva 2. Ponta Grossa. Atena Editora, 2019. p. 187-192.

[2] NILSSON, James W, Susan A. Riedel. Circuitos Elétricos. 10ªed. São Paulo:Pearson, 2015.

[3] BARAK, Moshe. Teaching electronics: From building circuits to systems thinking and programming. Handbook of technology education, p. 337-360, 2018.

[4] FREIESLEBEN, Fernando B.; LODER, Liane L.; BECKER, Maria Luiza R. Um debate acadêmico sobre a aprendizagem de circuitos elétricos: o estado da arte. In: Anais: XLI– Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Gramado: UFRGS. 2013.

[5] ALEXANDER, Charles K; SADUKI, Matthew N.O. Fundamentos de circuitos elétricos. Tradução de José Lucimar do Nascimento. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

[6] L.BOYLESTAD, R. Introdução à análise de circuitos.13ª ed. São Paulo: Person, 2018.

[7] HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física. Tradução de Ronaldo Sérgio de Biasi. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

[8] CASTRO, Alex Garcez Gomes. Do led ao transistor: uma proposta de ensino de efeito fotoeletrico. Dissertação (mestrado) Universidade Federal Rural do Semiárido, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-graduação em Física, Mossoró, 2022.