

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS  
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS BOMBEIRO MILITAR

**DANIEL VIANA CHAVES**  
**THIAGO DE ABREU RORIZ**

**OCORRÊNCIAS ENVOLVENDO ENERGIA ELÉTRICA: Especificação Do Projeto**  
**De Um Detector De Tensão De Passo**

São Luís  
2018

**DANIEL VIANA CHAVES  
THIAGO DE ABREU RORIZ**

**OCORRÊNCIAS ENVOLVENDO ENERGIA ELÉTRICA: Especificação Do Projeto  
De Um Detector De Tensão De Passo**

Monografia apresentada ao Curso de Formação de Oficiais Bombeiro Militar da Universidade Estadual do Maranhão para o grau de bacharel em Segurança Pública e do Trabalho.

Orientador: Prof.<sup>o</sup> Dr. Mauro Sérgio Silva Pinto

São Luís  
2018

Chaves, Daniel Viana.

Ocorrências envolvendo energia elétrica: Especificação Do Projeto De Um Detector De Tensão De Passo / Daniel Viana Chaves, Thiago de Abreu Roriz. – São Luís, 2018.

61f.

Monografia (Graduação) – Curso de Formação de Oficiais BM-MA, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Sérgio Silva Pinto.

1. Cabos energizados. 2. Detector de tensão. 3. Tensão de passo.  
I. Roriz, Thiago de Abreu. II. Título.

CDU 355.23:621.31

**DANIEL VIANA CHAVES  
THIAGO DE ABREU RORIZ**

**OCORRÊNCIAS ENVOLVENDO ENERGIA ELÉTRICA: utilização de um medidor  
de potencial elétrico pelo CBMMA**

Monografia apresentada ao Curso de Formação de Oficiais Bombeiro Militar da Universidade Estadual do Maranhão para o grau de bacharel em Segurança Pública e do Trabalho.

Aprovada em:    /    /

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr. Mauro Sérgio Silva Pinto**  
Engenheiro Elétrico  
Universidade Estadual do Maranhão

---

**Prof. Kaio Henrique Ferreira Nogueira**  
Engenheiro Mecânico  
Universidade Estadual do Maranhão

---

**2º Ten. Bruno Ricardo Mendes Gomes**  
Graduado em Física  
Universidade Estadual do Maranhão

## **AGRADECIMENTOS**

### **Daniel Viana Chaves**

A Deus por toda providência imprescindível para superar todos os obstáculos que me foram apresentados durante toda minha existência.

A minha querida Aracy Queiroz de Aguiar por estar sempre ao meu lado durante sua vida oferecendo todo suporte que precisei para ter sucesso na minha carreira profissional.

As minhas mães e o meu irmão por toda ajuda que me foi dada durante toda a minha vida, sem a qual não teria êxito em vencer todas as adversidades para conclusão do curso.

A minha namorada por compartilhar comigo todos os momentos durante o curso proporcionando todo incentivo necessário para a formação no Curso de Oficiais Bombeiro Militar.

A minha sogra por ter dedicado seu tempo para ajudar-me em todas as circunstâncias de dificuldades.

A todos que contribuíram para o início e desfecho de toda minha jornada os meus sinceros agradecimentos.

### **Thiago de Abreu Roriz**

Queria agradecer primeiramente a Deus, por sempre estar ao meu lado nos momentos difíceis.

A minha mãe Cláudia e ao meu padrasto Robledo que fizeram tudo nessa vida para eu conseguir estudar, mesmo nos momentos de dificuldades, para eu alcançar os meus sonhos e objetivos.

A minha noiva Camila Hellen que nestes 6 anos de união sempre buscou me incentivar para o meu crescimento como homem e profissional. Dando carinho, amor e força em todos os momentos.

As minhas filhas, Beatriz, Mariana e Gabriele por mesmo longe sendo um ponto de motivação para superar os obstáculos da vida.

A minha querida sogra que na ausência da minha mãe, fez e sempre faz este papel em minha vida.

A minha cunhada Ana Carolina que sempre me apoia e pelo seu espírito de perseverança e luta.

Os meus companheiros de turma e principalmente o Daniel que compartilhou do mesmo sonho que eu de concretizar este projeto.

Finalizo agradecendo não só por mim, mas pelo Daniel ao grandioso Professor Mauro, pela sua paciência em explicar, orientar e ajudar nesse projeto. Sem ele nada desse projeto iria sair do papel. Seu comprometimento em transmitir o conhecimento foi extremamente importante e enriqueceu este projeto.

## RESUMO

O Profissional bombeiro militar ao se deparar com ocorrências envolvendo cabos de energia arrebatados, adentra a cena sem estabelecer um perímetro de segurança adequado, pondo em risco sua segurança. Atualmente, no mercado verificou-se a existência de detectores de tensão, porém estes não detectam a tensão de passo, determinando apenas as tensões residuais e/ou na própria linha de distribuição. Neste contexto, este trabalho objetiva desenvolver um dispositivo detector de tensão de passo, que auxiliará neste tipo ocorrência garantindo ao profissional, segurança e confiabilidade nos dados. Para fundamentação e elaboração do dispositivo, utilizou-se revisão bibliográfica em revistas científicas e Normas Brasileiras. Para determinar a eficácia do dispositivo foi utilizado um software específico, o *CircuitMarker*, que simulou a situação problema e verificou o desempenho do aparelho proposto em funcionamento. Nos testes realizados, o aparelho mostrou-se eficiente e vantajoso para medição da tensão no solo energizado.

Palavras chaves: Cabos energizados. Detector de tensão. Tensão de passo.

## ABSTRACT

The Professional is bombarded when encountering the congruences of power cables, in one without an adequate period of security, jeopardizing their safety. Currently, there are voltage detectors in the market, but these do not detect voltages with cables energized to the ground, determining only the residual voltages and in the distribution line itself. In this context, this work aims to develop a step voltage sensing device, which will assist in this type of occurrence, guaranteeing the professional, safety and reliability of the data. For the reasoning for the elaboration of the device, a bibliographical review was used in scientific journals and NBRs. To determine the effectiveness of the device was used a specific software, *CircuitMarker*, which simulated the problem situation and verified the performance of the proposed appliance in operation. In the tests carried out the apparatus proved to be efficient and advantageous for measuring the voltage in the energized ground. The apparatus in question will meet the needs of the firefighter, as it would not need to enter the danger zone, due to its coupling in a maneuvering rod.

Keywords: Energized cables. Voltage detector. Step voltage.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Detector de tensão da Minipa	17
Figura 2 – Detector de tensão da Ritz	18
Figura 3 – Desenho esquemático desde a geração de energia até o rompimento do cabo	20
Figura 4 – Descrição do pássaro sobre a rede de energia	23
Figura 5 – Transformação de partículas ionizadas do ar em descarga elétrica	23
Figura 6 – Tensão e corrente em um resistor em tensão contínua	25
Figura 7 – Tensão e corrente em um resistor em tensão alternada	26
Figura 8 – Representação de um circuito em curto entre XY	27
Figura 9 – Montagem do Conjunto de Aterramento Temporário tipo sela para circuitos MT	29
Figura 10 – Tensão de passo em relação à haste de aterramento	32
Figura 11 – Gráfico da tensão x tempo	36
Figura 12 – características ideais x características reais de semicondutores	41
Figura 13 – Representação do diodo Zener Ideal	42
Figura 14 – Estrutura de um transistor NPN	43
Figura 15 – Resistores associados em série	49
Figura 16 – Gerador de função Arbitrária AFG 1022	50
Figura 17 – Ilustração do dispositivo	51
Figura 18 – Ilustração do circuito do detector de tensão elaborado a partir do <i>CircuitMarker</i>	52
Figura 19 – Ilustração da simulação do detector de tensão, com uma tensão de 8kVPP	53
Figura 20 – Ilustração da simulação do detector de tensão, com uma tensão de 2KVPP	54
Figura 21 – Ilustração da simulação do detector de tensão, com uma tensão de 20VPP	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores típicos da resistividade de alguns tipos de solo	21
Tabela 2 – Rigidez Dielétrica de alguns dos isolantes mais comuns	24
Tabela 3 – Ocorrências de choque elétrico em São Luís em 2017	31
Tabela 4 – Propriedades de dois semicondutores de silício dopados	39
Tabela 5 – Código de cores utilizado para identificação da resistência	48

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	- Agência Nacional de Água
ABRACOPEL	- Associação Brasileira de Conscientização para Perigos da Eletricidade
CEPI	- Curso de Especialização de Prevenção de Incêndios
CBMMA	- Corpo de Bombeiros Militar do Maranhão
CIOPS	- Centro Integrado de Operações e Segurança
DDP	- Diferença de Potencial Elétrico
EPI	- Equipamentos de Proteção Individual
IFSP	- Instituto Federal de São Paulo
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IEC	- <i>International Electrotechnical Commission</i>
LOB	- Lei de Organização Básica
LED	- Diodo emissor de luz
NBR	- Norma Brasileira
NTC	- Norma Técnica da Copel
NR	- Norma Regulamentadora
RMS	- <i>Rood Mead Square</i>
SIT	- Secretária de Inspeção do Trabalho
UNICAMP	- Universidade Estadual de Campinas

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>ESTADO DA ARTE</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>CONCEITOS FUNDAMENTAIS</b>	<b>22</b>
<b>5.1</b>	<b>Tensão e corrente elétrica</b>	<b>22</b>
<b>5.2</b>	<b>Curto circuito de alta impedância</b>	<b>26</b>
<b>5.3</b>	<b>Aterramento temporário</b>	<b>28</b>
<b>5.4</b>	<b>Choque elétrico</b>	<b>29</b>
<b>5.5</b>	<b>Tensão de passo</b>	<b>31</b>
<b>5.6</b>	<b>Efeitos fisiopatológicos da corrente elétrica no corpo humano</b>	<b>32</b>
<b>5.7</b>	<b>EPI'S</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>ESPECIFICAÇÃO DO APARELHO</b>	<b>36</b>
<b>6.1</b>	<b>Variáveis do projeto</b>	<b>36</b>
<b>6.2</b>	<b>Componentes utilizados no projeto</b>	<b>38</b>
6.2.1	O diodo semiconductor	40
6.2.2	O Transistor	42
6.2.3	O capacitor	43
6.2.4	O resistor	47
6.2.5	Gerador de função arbitrária	49
<b>6.3</b>	<b>Especificações do projeto</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>56</b>
<b>8</b>	<b>TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>57</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O corpo de Bombeiros Militar tem um leque de atribuições em várias áreas de atuação. Tais atribuições são asseguradas na Constituição Federal de 1988 em seu artigo 144, inciso V. O bombeiro militar do Maranhão atua no combate a incêndio, atendimento pré-hospitalar, salvamento aquático, salvamento em altura, combate a incêndio florestal entre outros. Todas essas competências estão discriminadas no artigo 2º da lei 10.230 de 2015 que é a LOB (Lei de Organização Básica) do Corpo de Bombeiros Militar do Maranhão.

Dentre as ocorrências enfrentadas pelo Corpo de Bombeiros pode-se destacar aquelas que estão diretamente ou indiretamente relacionadas a energia elétrica. Como exemplo tem-se: a queda de uma árvore em residências que afetam os cabamentos de energia e abalroamento de postes. Deste modo, verifica-se o quanto é importante o conhecimento ao se lidar com esse tipo de ocorrência.

Segundo Hallyday (2009), a corrente elétrica em um meio qualquer é uma orientação livre de cargas por meio de uma superfície, ou seja, existem materiais que permitem que este fluxo de elétrons se estabeleça com “mais facilidade”, o termo facilidade aqui significa, com menor tensão elétrica. Assim, o ser humano por suas características intrínsecas pode ser considerado um condutor na temática do cenário em questão, potencializando o seu risco quando exposto a essa energia.

Segundo o manual de combate a incêndio do Distrito Federal, a energia elétrica é definida como: “o calor gerado pela passagem de eletricidade por meio de um condutor, ou do próprio ar: arco voltaico, faísca, eletricidade estática e raio. Há casos de aquecimento do condutor” (CARVALHO, *et al.*, 2006, p. 62).

A compreensão do conceito de corrente elétrica e as consequências da mesma no corpo humano é de grande valor para o profissional bombeiro militar e isso é notório quando o bombeiro se depara com esse tipo de ocorrência. A passagem da corrente elétrica no corpo humano tem seus efeitos associados a duração, magnitude e frequência relacionados a essa corrente. Ela desenvolve severos danos que dentre eles podem ser citados a fibrilação ventricular, que é uma série descoordenada de contrações do coração (TELLO, 2007).

As ocorrências que circundam a energia elétrica exigem dos militares equipamentos de proteção individual (EPI) específicos que suportem altas tensões, conhecimento sobre normas vigentes sobre esta temática, procedimentos

operacionais quanto à abordagem de materiais energizados e por fim equipamentos que os auxiliem para um trabalho eficaz. Outro ponto a ser mencionado é que a corrente elétrica pode ser proveniente tanto da fornecedora de energia quanto de uma descarga atmosférica.

Quando o sinistro é proveniente da rede de energia o bombeiro fica dependendo da concessionária para desligamento da mesma e isso pode levar um tempo que dependendo da situação pode ser fatal para uma vítima que esteja necessitando de ajuda. Considerando o rompimento do cabeamento da linha de distribuição de energia no ponto em que o cabo rompido toca o solo, o mesmo fica energizado e com um potencial extremamente perigoso à saúde humana.

Diante desta problemática, o objetivo do trabalho em questão é desenvolver meios que auxiliem o bombeiro militar do Maranhão a desempenhar um atendimento com o menor risco possível à sua vida quando é solicitado para atender este tipo de ocorrência. Assim, o presente trabalho sugere a utilização de um detector de tensão que fará a leitura do potencial quando o cabo de energia encostar no chão, fornecendo dados significativos para um atendimento eficaz por parte da guarnição de serviço que estiver atendendo a ocorrência.

## 2 JUSTIFICATIVA

Diante das adversidades de ocorrências abrangendo energia elétrica há uma questão séria a ser pensada, e que está diretamente relacionada à eventos/ocorrências que envolvam eletricidade: saber se a vítima em evidência ainda está sob influência de altos potenciais elétricos que possam trazer danos sérios e irreversíveis a sua vida, e a outros que estejam em sua proximidade.

A criticidade do problema surge por causa do tempo de atendimento em situações como essa, onde paira a dúvida, não há o que fazer se não o contato imediato com a concessionária para cortar a energia elétrica do local, e assim evitar possíveis danos à saúde de todos. Daí surge a necessidade de um dispositivo que seja capaz de detectar estes potenciais danosos, tensão de passo, e consequentemente reduzir o tempo de atendimento.

Basicamente, trata-se de um equipamento que possa medir/detectar potenciais elétricos danosos à saúde que poderá auxiliar o bombeiro na hora de enfrentar esse tipo de sinistro e na tomada de decisão para resguardar sua vida e das vítimas em potencial que estão no local do evento adverso em questão.

Analisando as estatísticas divulgadas pela Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade, no intervalo 15 meses de janeiro de 2016 a março de 2017, o país apresentou 782 óbitos provenientes do fenômeno da eletricidade. Demonstrando assim a necessidade do Corpo de Bombeiros Militar do Maranhão ter grande cuidado ao lidar com esse tipo de energia (ABRACOPEL, 2017).

Para o Centro Integrado de Operações de Segurança o número de incêndios em rede elétrica de energia na cidade de São Luís no ano de 2017 foi de 188 casos em sua totalidade (CIOPS, 2017). Comprovando de maneira sistemática a importância de um olhar mais crítico de um profissional ao se deparar com eventos desta natureza, preservando a integridade do socorrista como a de terceiros que estejam na zona de perigo.

A NR 10 que descreve a segurança de instalações e serviços em eletricidade menciona em seu inciso 10.2.1 que “em todas as intervenções em instalações elétricas devem ser adotadas medidas preventivas de controle do risco elétrico e de outros riscos adicionais, mediante técnicas de análise de risco, de forma a garantir a segurança e a saúde no trabalho” (BRASIL, 1978b, p. 1). Assim,

ratificando a necessidade de ter o conhecimento técnico e científico na hora de trabalhar com eletricidade.

### 3 METODOLOGIA

Este trabalho classifica-se em exploratória e bibliográfica, quanto aos seus objetivos gerais e específicos, tratando da abordagem ela é quantitativa e qualitativa em ocorrências que existam cabos energizados tocando o solo.

Quando se deseja tratar da pesquisa exploratória visa proporcionar um entendimento melhor com o problema tornando mais fácil sua compreensão e a construção da hipótese. Em sua maioria é constituída levantamento de dados, entrevista com pessoas que já trabalharam com o problema e análise de exemplos que possibilitem uma boa reflexão sobre o assunto (GIL,2002 p.41).

A Revisão Bibliográfica também é denominada de Revisão de literatura ou Referencial teórico. A Revisão Bibliográfica é parte de um projeto de pesquisa, que revela explicitamente o universo de contribuições científicas de autores sobre um tema específico (SANTOS, 2006, p. 43).

Ao se definir a pesquisa quantitativa o pesquisador está preocupado em analisar os dados de forma objetiva e clara e utilizam procedimentos controlados sem interesse pela dimensão subjetiva (SERAPIANO, 2000).

Outra forma de classificação da pesquisa é a qualitativa e tem por objetivo dar um posicionamento dos dados coletados analisando o comportamento humano, do ponto de vista do ator utilizando a observação naturalista e não controlada (SERAPIANO,2000).

## 4 ESTADO DA ARTE

Os detectores de tensão são aparelhos eletrônicos que proporcionam a percepção da tensão em sistemas elétricos, sendo a forma mais utilizada de detecção a pôr contato no ponto energizado. Sendo sua aplicação em baixa, média e alta tensão em redes de distribuição, redes subterrâneas, linhas de transmissão, subestações e instalações elétricas industriais (COPEL, 2016).

Estes dispositivos são encontrados em grande diversidade no mercado, variando a tensão mínima e máxima que o mesmo suporta, o tipo de alerta que emite sendo sonoro e visual, o peso do detector e o material que o aparelho é constituído.

Existem normas nacionais e internacionais que tratam de detectores de voltagem, dentre as normas internacionais pode-se destacar a IEC 61243 de 2003 que discrimina detectores que podem utilizar ou não fontes de energia e que atuam em sistemas elétricos com a tensão variando desde 1kV a 765kV e frequência de 50Hz ou 60Hz (IEC, 2003).

É importante salientar a ser mencionado é que o dispositivo deve ser confeccionado com formato oval, sendo sua estrutura de polímero de alta rigidez dielétrica, eletrodo de contato de metal, entrada para acoplamento de vara de manobra e com indicadores luminosos e sonoros. Este aparelho deve possuir sistema que trabalha em *stand by*, sendo que todos seus parâmetros devem estar de acordo com a norma IEC 61243-1 de 2003 (COPEL, 2016).

A forma adequada para verificação de ausência de tensão pode ser facilmente compreendida da seguinte forma:

[...] sobre cabos ou barras em pontos escolhidos segundo certas regras: afasta-se dos ângulos formados pelas cabeças de colunas (disjuntores combinados TP/TC, suporte de barras) a as ligações em ponte. Sempre que possível o detector de tensão deve ser testado em um condutor energizado “conhecido” antes de seu uso no local pretendido da verificação de ausência de tensão. (COPEL, 2016, p.2).

Além do que já foi mencionado existem dois termos de extrema importância quando se trata dos detectores de tensão, esses termos são a indicação e percepção que o aparelho vai trabalhar. Quanto à indicação o aparelho deve acusar a presença de tensão para o mesmo entrar em funcionamento. Já para a percepção o mesmo deve emitir uma clara indicação sonora e luminosa, podendo variar a quantidade de

decibéis (dB) emitidos dependendo do fabricante e a faixa de tensão que o mesmo vai trabalhar.

O mercado já possui uma gama de equipamentos disponíveis para a comercialização que executa bem o serviço de detecção de tensão. Dentre eles, destaca-se o detector de alta tensão da Minipa sendo o modelo do aparelho ezHv.

Figura 1 – Detector de tensão da Minipa



Fonte: Site Comercial Gonçalves.

A grande vantagem deste equipamento é a sua capacidade de detectar a tensão de forma não invasiva, o que reduz o risco de exposição de seu operador. O aparelho possui uma buzina de alto índice sonoro capaz de avisar a existência de uma tensão nociva ao bombeiro no momento que o mesmo estiver utilizando o aparelho, a indicação luminosa é composta de 3 LEDs que possibilita facilmente a visualização e que trabalha em baixa corrente, é alimentado com três baterias de 1,5V do tipo C, seu peso é cerca de 600g, faz a leitura da tensão desde 200V AC até 500kV AC e tem a tecnologia IP65 que é contra poeira, água e jatos de água.

Ele proporciona a detecção de cabos e linhas que estão energizados, acusa tensões residuais, possui um acoplador universal para varas de manobra, possibilitando assim uma maior segurança para o bombeiro e uma maior acessibilidade sobre área de influência elétrica. A vara de manobra deve ser constituída por fibra de vidro ou por material isolante de acordo com a NBR 11854/abr.

1992, que trata das especificações técnicas dos bastões isolantes em redes de distribuição. Outro aspecto a ser mencionado é que detector em questão é de aproximação, sendo assim não devendo ter contato direto com tensões maiores que 1kV.

Outro equipamento que possui a mesma finalidade encontrado no mercado é o detector de tensão por aproximação H1990/ST-138 da Ritz. Este aparelho pode medir tensões de até 138 kV, seu circuito eletrônico é interno protegendo-o de variações de temperatura, é acoplado a varas de manobra, possui 4 LEDs na parte frontal que proporciona o alerta de tensões perigosas e também sinal sonoro.

Figura 2 – Detector de tensão da Ritz



Fonte: Site Ritz comercial.

Apesar disto, esses equipamentos não são capazes de detectar tensões de passo que possam ser perigosas ao ser humano e fatais ao bombeiro que estiver exposto a situações em que ela possa surgir. A vantagem de se detectar uma tensão de passo em uma situação de cabo energizado ao chão está na velocidade de atendimento à vítima, pois com este tipo de medição é possível delimitar (através da detecção) uma faixa segura de trabalho e com isso realizar o atendimento à vítima sem a necessidade de se desligar a rede de energia.

O problema em se detectar tensão com os aparelhos disponíveis no mercado reside principalmente em sua incapacidade de medir tensões de passo, pois eles não foram projetados com esta finalidade. Sendo a tensão de passo “como parte da tensão de um sistema de aterramento a qual pode ser submetida uma pessoa com os pés separados” (COTRIM, 2009, p.82). A distância de separação dos pés dos indivíduos ocasionará um comportamento diferente perante o ambiente energizado.

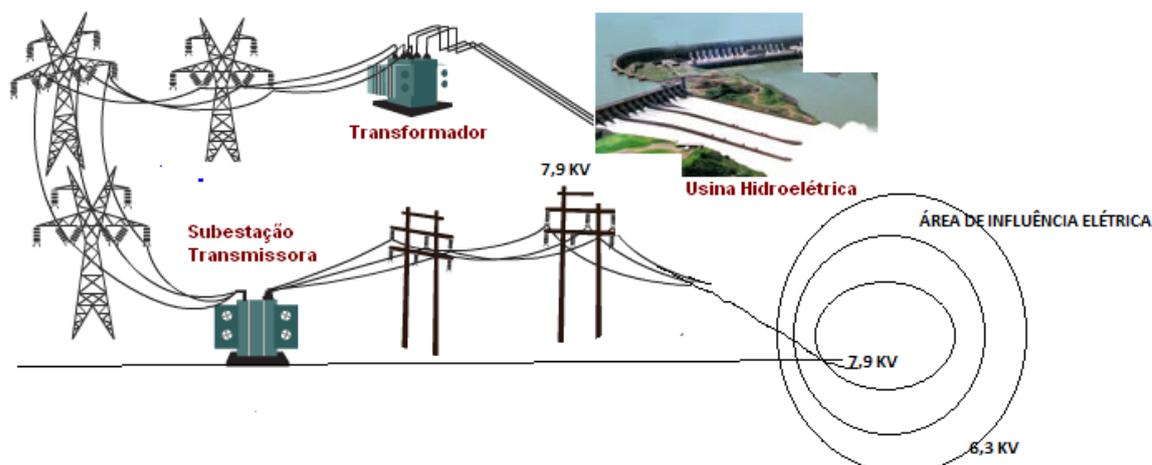
Desta forma, a utilização de um protótipo com essas características seria de muita valia para reduzir estatisticamente o tempo de atendimento às vítimas de cabo energizado ao chão e abalroamento de poste.

A principal vantagem do equipamento proposto neste trabalho é a sua capacidade em identificar uma área segura, ou seja, uma área que esteja fora da região de influência elétrica e com isso ter mais informações sobre a decisão de atender a vítima ou aguardar o desligamento da rede elétrica pela concessionária.

Considerando um sistema trifásico de uma usina hidrelétrica sendo que em um determinado momento um dos cabos da linha de distribuição se rompe e toca o chão. Neste momento em que o cabo da rede de distribuição se rompe e toca o solo é imprimida uma tensão maior que zero ( $tensão > 0$ ) sobre a região em que o cabo está, em função da alta resistividade de contato cabo/solo. O resultado de tudo isso é a criação de uma zona com potenciais elétricos que possam trazer risco à vida de qualquer indivíduo que estiver dentro desta zona.

Essa região de área de influência que nada mais é que o local em que superfícies equipotenciais são geradas a partir do ponto em que o cabeamento de energia encosta na terra. Os potenciais gerados irão variar de acordo com a resistividade do solo e a distância do ponto de contato do cabo ao chão. Quanto mais próximo do ponto em que o cabo tocou o solo, maior será o potencial da região e conseqüentemente quanto mais distante do ponto em que o cabo caiu, o potencial tenderá a diminuir até ficar nulo.

Figura 3 – Desenho esquemático desde a geração de energia até o rompimento do cabo



Fonte: Adaptado de ANA (2009, p. 11).

Quando se deseja falar da resistividade do solo não se pode esquecer de mencionar a NBR 7117/jul. 2012, que delimita a medição da resistividade e determinação da estratificação do solo. A resistividade elétrica do solo é a determinação da resistência que acontece entre lados opostos do volume do solo, do formato de um cubo homogêneo e isótropo a qual cada face do cubo possui as arestas medindo uma unidade de comprimento (MODENA; SUETA, 2011).

O solo tem uma variedade extrema em sua composição, dependendo do local o tipo de solo (argiloso, orgânico, árido, etc.) é diferente, afetando a resistividade do solo do local. Além disso, outras características intrínsecas da terra como a umidade (seco, molhado), temperatura, tempo de formação geológica, profundidade e salinidade afetam drasticamente essa grandeza física. Fatores externos como a contaminação e compactação do solo também influenciam na resistividade do solo (MODENA; SUETA, 2011).

Como o solo é constituído de várias camadas, cada camada possui uma resistividade e uma espessura diferente. Conhecer estes valores e a estratificação do solo, são extremamente importantes para o sistema de aterramento e para determinar a tensão de passo e a do solo (MODENA; SUETA, 2011).

Tabela 1 – Valores típicos da resistividade de alguns tipos de solo

<b>Tipos de solo</b>	<b>Faixa de resistividade do solo (<math>\Omega.m</math>)</b>
Água do mar	Menor que 10
Alagadiço, Limo, Húmus, Lama	Até 150
Água destilada	300
Argila	300-5.000
Calcário	500-5.000
Areia	1.000-8.000
Granito	1.500-10.000
Basalto	A partir de 10.000
<sup>1</sup> Concreto	Molhado:20-100 Úmido:300-1.000 Seco: 3k $\Omega.m$ -2k $\Omega.m$

**<sup>1</sup> A categoria molhada é típica em aplicação em ambientes externos, Valores inferiores a 50k $\Omega.m$  são considerados altamente corrosivos.**

Fonte: Modena e Sueta (2011, p. 30).

Diante do conceito do que vem a ser a resistividade do solo e sua variação de acordo com o solo predominante da região, se pode dizer que o potencial da área de influência vai variar com o tipo de solo que o cabo de energia tocar o chão. Isto explica o porquê da necessidade de um detector de tensão de passo, proporcionando maior eficácia na detecção de um potencial danoso e auxiliando o bombeiro no momento que o mesmo estiver delimitando o perímetro de segurança e a possibilidade do mesmo adentrar ou não em um sinistro que envolva algum tipo de ocorrência em que o cabeamento de energia elétrica estiver exposto ou tocando ao chão.

## 5 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Este tópico trata-se de conceitos que possibilitarão embasamento teórico sobre o dispositivo proposto.

### 5.1 Tensão e corrente elétrica

A física possui vários assuntos ligados a eletricidade dentre eles se pode destacar a eletrostática, que nada mais é que a identificação dos fenômenos físicos considerando a carga elétrica em repouso. A partir dessa informação possibilitou-se uma série de conceitos físicos de extrema importância, como por exemplo: força elétrica, campo elétrico, energia potencial elétrica e também tensão elétrica. Quando se deseja entender os efeitos de campo eletrostático pode-se fazer um paralelo com o campo gravitacional.

Essas duas grandezas possuem comportamento idênticos, pois elas são conservativas, ou seja, não havendo a necessidade de conhecer sua trajetória e sim seu ponto inicial e final. Esta grandeza é conceituada por Nussenzveig (1997, p. 44) que diz:

[...] a diferença de potencial entre P1 e P2. É o trabalho que tem de ser realizado contra a força exercida pelo campo para levar uma carga unitária de P<sub>1</sub> para P<sub>2</sub>. Se  $V(P_2) > V(P_1)$ , a energia potencial de uma carga positiva é maior em P<sub>2</sub> do que P<sub>1</sub>.

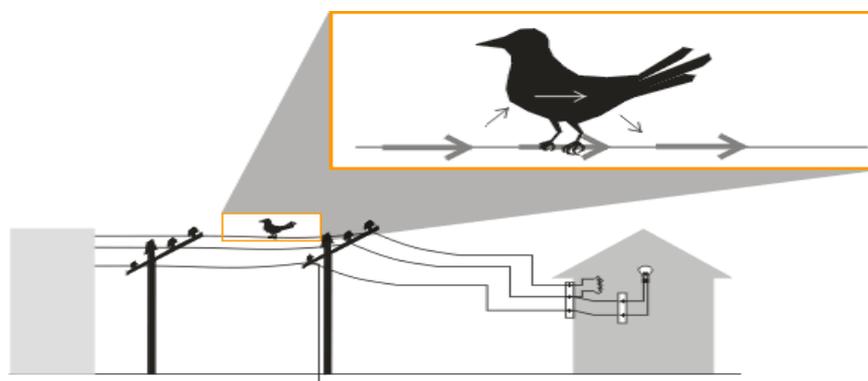
A conceituação desta grandeza pode ser expressa pela equação 1 abaixo:

$$\int_{p_1}^{p_2} E \cdot dl = V(P_2) - V(P_1) \quad (1)$$

Diante do conceito do que vem a ser tensão elétrica entre dois pontos e como se calculá-la, torna-se necessário a compreensão de vários acontecimentos do cotidiano. Dentre esses eventos destaca-se: o porquê de um pássaro não levar uma descarga elétrica ao tocar fios de alta tensão e como é formado os raios elétricos no interior das nuvens.

O pássaro não sofre um choque elétrico porque a distância entre suas patas é tão pequena que a diferença de potencial elétrico (DDP) não é o suficiente para ocorrer uma descarga elétrica no animal.

Figura 4 – Descrição do pássaro sobre a rede de energia



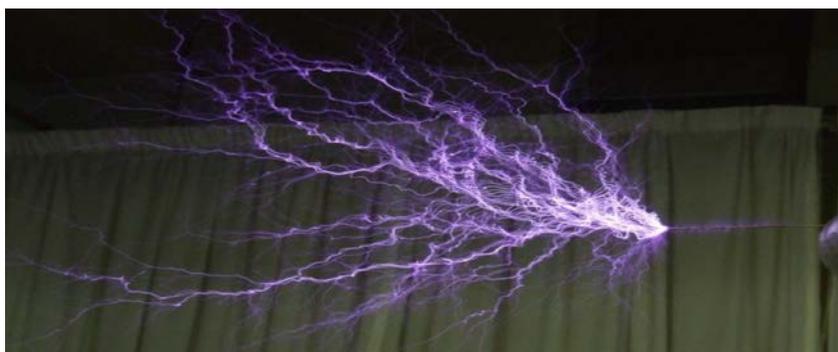
Fonte: Site Descomplica (2018).

Os objetos que se utilizam no dia a dia podem ser classificados como: condutores e isolantes (dielétricos). Essas duas definições podem ser encontradas em Boylestad (2012, p. 40):

Denominamos condutores os materiais que permitem a passagem de um fluxo intenso de elétrons com a aplicação de uma força (tensão) relativamente pequena. [...] Os Isolantes são materiais que possuem pouquíssimos elétrons livres, sendo necessária a aplicação de um potencial (uma tensão) muito elevado para estabelecer uma corrente mensurável.

Ao se colocar materiais isolantes em contato com campo elétrico de grande intensidade eles ficam ionizados, passando de isolantes a condutores, este fenômeno é conhecido como ruptura dielétrica ou rigidez dielétrica. Ele normalmente acontece na atmosfera, mesmo sabendo que o ar é um isolante térmico. De acordo com Frederico (2010) “Para o ar, ele ocorre para campos elétricos da ordem de  $3 \times 10^6$  V/m”.

Figura 5 – Transformação de partículas ionizadas do ar em descarga elétrica



Fonte: Frederico (2010).

Cada objeto possui estrutura molecular diferente e mesmo os dielétricos tem maior ou menor tendência para se tornar condutor. Existem também os materiais semicondutores, que não são nem condutores e nem isolantes. Eles são intermediários e sua característica principal é que eles possuem quatro elétrons em sua camada de valência. Sua aplicabilidade é muito importante, pois em sua maioria a eletrônica utiliza muito destes elementos na confecção de suas peças.

Tabela 2 – Rigidez Dielétrica de alguns dos isolantes mais comuns

<b>Material</b>	<b>Rigidez dielétrica média (KV/cm)</b>
Ar	30
Porcelana	70
Óleos	140
Basquelite	150
Borracha	270
Papel (parafinado)	500
Teflon	600
Vidro	900
Mica	2.000

Fonte: Boylestad (2012, p.35).

Após a fundamentação da grandeza escalar potencial elétrico e saber que cada objeto tem mais tendência a ser um condutor ou não, se pode definir o que é corrente elétrica. Entender esse novo conceito é fundamental para saber como foi a evolução da sociedade. Para que exista corrente elétrica é necessário o movimento de partículas carregadas, entretanto nem todas as partículas em movimento produzem corrente elétrica. Porquê para que haja corrente elétrica é necessário um fluxo através de uma superfície (HALLIDAY, 2009).

A esse fluxo de corrente por unidade de área é conhecido como densidade de corrente elétrica. Para calcular a intensidade da corrente elétrica através de uma superfície Nussenzveig (1997, p 44): “[...] A intensidade (i) da corrente através de uma

dada secção do fio condutor é definida como a quantidade de carga que atravessa esta secção por unidade de tempo”.

A conceituação desta grandeza pode ser expressa pela equação 2 abaixo:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (2)$$

O comportamento da corrente elétrica pode ser de forma contínua ou de forma alternada. A eletricidade teve sua aplicação inicialmente no ramo das comunicações, onde foram construídos o telégrafo e o telefone elétrico. Thomas Edison em 1882 construiu as primeiras usinas geradoras utilizando corrente contínua, para geração atendimento da iluminação.

Em 1886 aconteceu a primeira transmissão de energia elétrica utilizando corrente alternada por George Westinghouse com os sistemas polifásicos de Nicola Tesla, e com os geradores de Willian Stanley, proporcionando dessa maneira a transmissão de energia elétrica para grandes distâncias e o uso doméstico dessa energia (FARIAS; SELLITO, 2011).

Para Boylestad (2012, p. 31), “corrente contínua tem esse nome porque é um fluxo ordenado de elétrons nos quais há um sentido de cargas unidirecional”. Esse comportamento possibilita descrever que essa corrente não sofrerá variação de acordo com o tempo. As fontes de tensão de CC se dividem de três formas: baterias, geradores e fontes de alimentação.

Figura 6 – Tensão e corrente em um resistor em tensão contínua



Fonte: IFSP (2015, p. 58).

A corrente alternada (CA) é sem dúvida o tipo de corrente elétrica mais importante, pois a maioria dos eletrodomésticos e as instalações elétricas trabalham com a tensão alternada. Diferentemente da corrente contínua (CC) que seu gráfico é uma reta a corrente alternada (CA) que pode ser: senoidal, quadrada ou triangular.

De acordo com Boylestad (2012, p. 452), “a tensão variante no tempo, fornecida pelas empresas geradoras de energia elétrica, a qual é normalmente denominada de tensão de CA”.

Pode-se inverter corrente contínua em corrente alternada utilizando um aparelho chamado inversor. Normalmente se utiliza este artifício em baterias de automóveis que utilizam baterias de baixa tensão de corrente contínua de 12V em alta tensão de corrente alternada de 110V ou 220V.

Figura 7 – Tensão e corrente em um resistor em tensão alternada



Fonte: IFSP (2015, p. 58).

## 5.2 Curto circuito de alta impedância

Ao se tratar do conceito curto circuito de alta impedância ou faltas se deve inicialmente entender o que vem ser a impedância. Este termo é encontrado em todos elementos do circuito elétrico ou dos componentes eletrônicos. Em circuitos onde existam uma corrente alternada normalmente se encontra: resistores, capacitores e indutores. Cada resultado da resistência ao fluxo de corrente elétrica somada é denominado impedância e sua representação é pela letra Z. Abaixo segue a equação 3 para impedância de acordo com Afonso e Filoni (2011).

$$Z = \sqrt{(x_l - x_c)^2 + R^2} \quad (3)$$

A equação acima representa a equação geral da impedância onde:

XL=Reatância indutiva

XC= Reatância capacitiva

R= Resistência

A reatância pode ser dividida em reatância capacitiva  $X_C$  e reatância indutiva  $X_L$ . Cada componente da impedância tem uma função específica se analisarmos de forma isolada. Os elementos resistivos dissipam a energia já os elementos reativos armazenam a energia, outro ponto importante a ser mencionado é que a reatância depende da frequência. A impedância também pode ser representada como coordenada polares. Pode-se encontrar essas grandezas em Boylestad (2012):

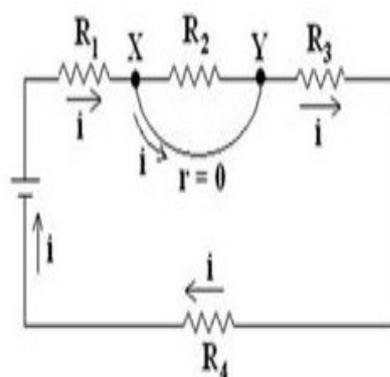
$Z_r = R < 0^\circ$  impedância ligada ao elemento resistivo

$Z_l = L < -90^\circ$  impedância ligada ao elemento indutivo

$Z_c = X_c < -90^\circ$  impedância ligada ao elemento capacitivo

Após a compreensão da impedância e como é calculado seu valor se pode iniciar o estudo dos curtos-circuitos. Saber como ele influencia na distribuição de energia é de vital importância para segurança e proteção dos sistemas elétricos. Conforme Boylestad (2012, p. 180), “Um curto-circuito pode carregar uma diferença de potencial (tensão), através dos seus terminais é sempre zero volts”.

Figura 8 – Representação de um circuito em curto entre XY



Fonte: Site Globo.com (2018).

As principais causas do curto-circuito estão relacionadas em sua maioria a fenômenos da natureza como: descargas atmosféricas, ação do vento, poluição e queimadas. Podendo também ser encontrados com envelhecimento dos materiais e falhas em cadeias isoladoras.

Com o entendimento da impedância e do curto-circuito fica mais fácil a compreensão do que é curto-circuito de alta impedância. Este novo conceito é descrito por Junior (2006, p. 17-18):

[...] a ocorrência de rompimento de condutor em uma ou mais fases sem contato com qualquer tipo de material ou a ocorrência do contato exclusivo de qualquer condutor fase com um material de alta impedância, podendo ser causada por uma assimetria série e/ou shunt do sistema em que não tenha havido contato com outra fase ou ponto solidamente aterrado, e que tenha gerado um nível de corrente que impossibilite detecção confiável pelos equipamentos de proteção convencionais baseados em sobrecorrente.

Além disso, as faltas podem ser classificadas em ativas ou passivas. Essas são aquelas onde o condutor se parte, porém, sem encostar com nenhum tipo de material e aquelas nas quais um condutor energizado se aproxima de outro objeto, sendo que o campo elétrico entre eles é suficiente para quebrar o isolamento do meio que os separa, formando um arco elétrico.

### **5.3 Aterramento temporário**

Todo profissional que trabalha com instalações elétricas ou manutenção do cabeamento de energia precisa primordialmente assegurar que o ambiente de trabalho esteja seguro. Para adquirir essa segurança se utiliza de um artifício elétrico conhecido como aterramento. O potencial de aterramento é normalmente de zero volts para circuitos que estejam aterrados.

Diante disso, o aterramento é projetado para que durante o curto-circuito máximo com a terra exista uma distribuição na tensão de passo e toque abaixo dos limites de risco para o homem (KILLDERMAN, 1995).

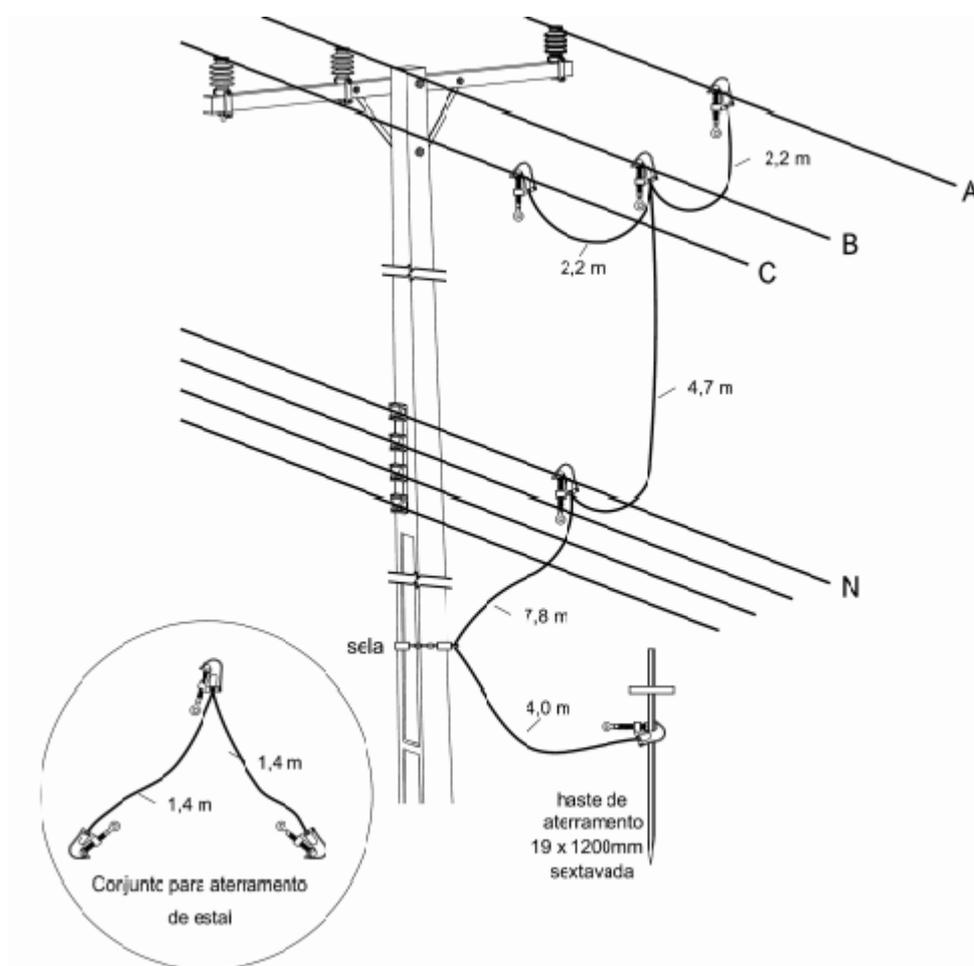
Existem vários tipos de aterramento e o um dos exemplos mais conhecidos é realizar o aterramento na terra, pegando um fio de baixa impedância e conectando-o diretamente ao solo. Isso acontece devido à grande condutividade do solo, como a água e eletrólitos, fazendo que a diferença de tensão da superfície se iguale para o fluxo de cargas entre dois pontos (BOYLESTAD, 2012).

Outro ponto a ser salientado é que o sistema de aterramento pode ser de baixa e alta frequência. O sistema de aterramento em baixa frequência é aquele encontrado nas indústrias energéticas já o sistema de aterramento em alta frequência são aqueles especialmente relacionados aos transistores eletromagnéticos devidos a descargas atmosféricas (TELLO, 2007).

Para se obter um bom sistema de aterramento é normalmente utilizado eletrodos enterrados de forma horizontal (contrapeso) e vertical (hastes que podem

ser bem profundas) no solo, ou podem ser uma combinação de hastes e contrapesos na formação do aterramento (TELLO, 2007).

Figura 9 – Montagem do Conjunto de Aterramento Temporário tipo sela para circuitos MT



Fonte: NTC<sup>1</sup> 890900 (2015, p.8).

## 5.4 Choque elétrico

As cargas elétricas quando expostas a uma diferença de potencial tendem a se organizar e entrar em movimento, essas possuem particularidades quando percorrem o corpo humano, para Cotrim (2009, p. 7) o Choque elétrico é entendido como:

<sup>1</sup> COPEL - COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **NTC 890900**: Aterramento temporário. Curitiba: COPEL, 2015.

a perturbação, de natureza e efeitos diversos, que se manifesta no organismo humano ou animal quando este é percorrido por uma corrente elétrica. Dependendo da intensidade e do tempo do choque elétrico, a corrente elétrica provoca maiores danos e efeitos fisiopatológicos no homem.

É o efeito da passagem da corrente pelo corpo humano ou de qualquer animal, dependendo da intensidade e do tempo de exposição pode ser fatal (KILLDERMAN, 1995).

Para a prevenção do choque elétrico é de grande relevância considerar os tipos de contato por meio do qual essa manifestação de corrente pode afetar o homem, os contatos diretos são provenientes do toque direto do indivíduo a condutores energizados de determinada instalação elétrica. Pode ocorrer quando uma pessoa entra em contato indevidamente a partes de circuitos ou equipamentos com fissuras do material isolante de um sistema elétrico. Já os contatos indiretos decorrem de uma falha de isolamento onde pessoas ou animais ficam sob influência de massas que ficaram sob tensão.

Os contatos indiretos, por sua vez, são particularmente perigosos, pois quando o usuário encosta a mão em uma massa (por exemplo, na carcaça de um equipamento de utilização), ele não suspeita de uma eventual energização acidental, provocada por falta ou por defeito interno no equipamento. (COTRIM, 2009, p. 75).

Diante disso o contato direto existe quando há o toque na superfície energizada de uma instalação elétrica enquanto que o contato indireto acontece por uma falha no isolamento de um sistema energizado e o homem ou qualquer outro animal fica exposto a tensão (COTRIM, 2009).

Do ponto de vista elétrico o corpo humano pode ser analogicamente comparado a um conjunto de capacitores e resistores, desse modo existe uma intensidade de corrente elétrica tolerável que o mesmo pode suportar sem afetar suas atividades vitais. Abaixo segue a equação que descreve a intensidade da corrente elétrica que atravessa o corpo humano de acordo com Tello (2007).

$$Ib = \frac{K}{\sqrt{ts}} \quad (4)$$

Ib= valor eficaz da corrente elétrica através do corpo

ts= Tempo de passagem da corrente elétrica através do corpo

[s], sendo que  $0,03s \leq ts \leq 3,0s$

k: constante empírica, relacionada à massa do ser humano, tal que:

$k=0,116 \left[ AS^{\frac{1}{2}} \right]$  para pessoas com massa de 50kg

$k=0,157 \left[ AS^{\frac{1}{2}} \right]$  para pessoas com massa de 70kg

Tabela 3 – Ocorrências de choque elétrico em São Luís em 2017

<b>Mês</b>	<b>Ocorrências</b>
Janeiro	2
Fevereiro	2
Março	1
Abril	3
Maio	2
Junho	2
Julho	3
Agosto	5
Setembro	3
Outubro	1
Novembro	2
Dezembro	3
<b>Total</b>	<b>29</b>

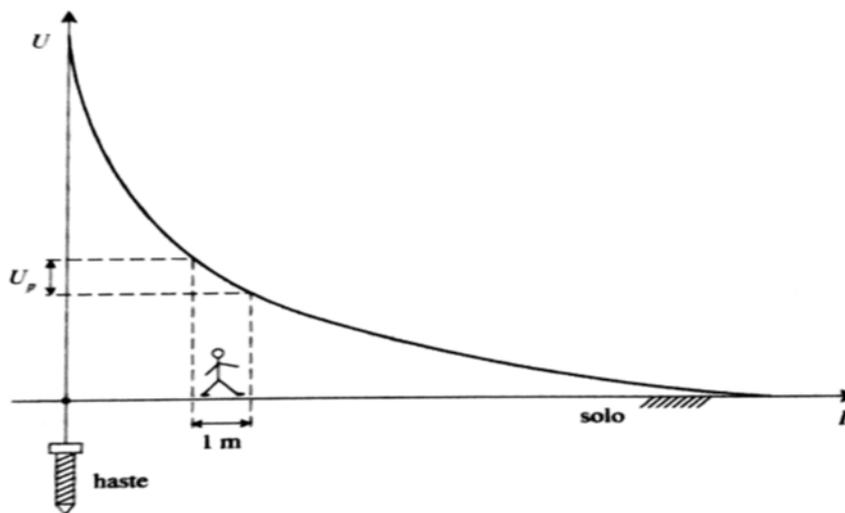
Fonte: Ciops (2018).

## 5.5 Tensão de passo

A corrente elétrica que é inserida no sistema de aterramento se dissipa no solo, produzindo tensões elétricas. Essas tensões, se submetidas ao homem, ocasionam choques elétricos podendo causar o fenômeno da fibrilação ventricular do coração (COTRIM, 2009).

A tensão de passo ( $U_p$ ) é definida como “parte da tensão de um sistema de aterramento a qual pode ser submetida uma pessoa com os pés separados pela distância equivalente a um passo (geralmente igual a um metro)” (COTRIM, 2009, p. 82).

Figura 10 – Tensão de passo em relação à haste de aterramento



Fonte: Cotrim (2009, p. 83).

A tensão referida está relacionada com a posição do passo da pessoa no chão em relação à haste de aterramento, a tensão de passo diminui a proporção que o indivíduo se afasta do aterramento (COTRIM, 2009).

Um fenômeno da natureza que se relaciona diretamente com a tensão de passo são as descargas atmosféricas que são descargas elétricas de grande extensão e de grande intensidade, que ocorrem devido ao acúmulo de cargas elétricas negativas na nuvem induzindo cargas de sentido contrário na superfície do solo estabelecendo assim uma enorme diferença de potencial.

A descarga origina-se quando o campo elétrico decorrente destas cargas supera a capacidade dielétrica, definida como rigidez dielétrica do ar. Vencendo a rigidez, tem início um rápido movimento de elétrons de uma região de cargas negativas para uma região de cargas positivas (INPE, 2018).

## 5.6 Efeitos fisiopatológicos da corrente elétrica no corpo humano

Todo material existente na natureza é detentor de características específicas, denominadas propriedades dos materiais. Um corpo material pode se comportar de maneira distinta sob influência de uma corrente elétrica, podendo ser um material dielétrico, quando apresentar elétrons fortemente ligados ao núcleo, ou se comportar como um condutor, possuindo em sua estrutura elétrons livres (BOYLESTAD, 2012).

Não obstante tem-se outra propriedade conhecida como rigidez dielétrica, que relaciona a maior intensidade de um campo elétrico aplicado sobre um material isolante para o tornar condutor (FREDERICO, 2010). Para analisar os efeitos diversos de uma corrente elétrica no organismo humano deve-se atentar ainda para a intensidade e a duração da corrente elétrica sobre o organismo que podem ocasionar efeitos fisiopatológicos no homem (COTRIM, 2009).

O corpo humano é constituído de líquido, uma solução aquosa de íons e outras substâncias. A maior parte desse líquido encontra-se dentro das células, formando o chamado fluido intracelular. Cerca de um terço de todo líquido que compõe o corpo humano está presente no fluido extracelular (fora das células) e está em movimento constante por todo o corpo. (ZANELLA, 2015, p. 10).

Toda forma de atividade biológica é excitada ou controlada por impulsos de corrente elétrica, se essa corrente fisiológica se somar a outra corrente de fonte externa proveniente de contato elétrico haverá uma alteração das funcionalidades normais do organismo humano, que pode ocasionar a morte do indivíduo, dependendo da duração e intensidade da corrente elétrica (COTRIM, 2009).

Portanto o ser humano reúne características fisiológicas vulneráveis aos efeitos de tal grandeza física, “sobre os efeitos que uma corrente elétrica externa pode ocasionar ao indivíduo pode-se destacar a tetanização, a parada respiratória, a queimadura e a fibrilação ventricular” (MATTOS; MÁSCULO, 2011, p. 148).

A tetanização é uma manifestação proveniente da contração dos músculos devido uma corrente elétrica. Reconhece-se que, sob ação de uma incitação, o músculo se contrai e, em seguida, relaxa retornando ao estado inicial, em decorrência de uma diferença de potencial na fibra muscular. Existindo estímulos sem que o músculo possa repousar antes, os efeitos podem se somar.

Desta maneira as excitações geram contrações repetidas, de forma progressiva, denominada contração tetânica. Quando a frequência das contrações excede o limite permitido a fibra muscular é levada a contração total, permanecendo nessa condição até cessar os estímulos. O corpo humano ao ser percorrido por uma corrente elétrica, frequências de 50 e 60 Hz, são suficientes para determinar uma tetanização completa dependendo da intensidade da corrente elétrica.

Um indivíduo em contato com determinado objeto sob ação de uma tensão pode ficar unida a ele no tempo em que durar a diferença de potencial, de modo que a resistência do corpo tende a diminuir com a intensidade da tensão (COTRIM, 2009).

Até certo valor, entre 6 e 14 mA em mulheres e entre 9 e 23 mA em homens, em corrente alternada de 50 e 60Hz, tem-se o limite de largar, que o valor limite para que uma pessoa tendo em mãos um objeto energizado, ainda possa largá-lo. Ultrapassado este limite, a corrente provoca contração total do músculo, o que impede que a pessoa largue objeto usando os músculos voluntariamente. (MATTOS; MÁSCULO, 2011, p. 148).

A parada respiratória está associada a tetanização pois quando os músculos peitorais e os pulmões têm inibidos seus movimentos a respiração é interrompida. Se o estímulo externo continuar, o indivíduo fica inconsciente pode vir a óbito por asfixia, ou adquirir traumas irreversíveis nos tecidos cerebrais (MATTOS; MÁSCULO, 2011).

Já a transição da corrente elétrica pelo corpo humano é seguida do fenômeno de calor por efeito joule, estando sujeito a sofrer queimaduras. O estado apresenta-se mais crítico nas extremidades de entrada e de saída da corrente (COTRIM, 2009).

Quanto maior for a densidade de corrente e mais longo o tempo pelo qual a corrente permanece, mais graves são as queimaduras produzidas. Nas altas tensões, em que há o predomínio dos efeitos térmicos da corrente o calor produz a destruição de tecidos superficiais e profundos bem como o rompimento de artérias, com conseqüente hemorragia e destruição dos centros nervosos. (COTRIM, 2009, p. 69).

Ao se tratar de fibrilação ventricular do coração deparamo-nos com o fenômeno mais grave que pode acontecer em consequência da passagem de corrente elétrica pelo organismo humano. Quando a atividade elétrica fisiológica é excedida de corrente proveniente do meio externo, é fácil deduzir o que acontece com o equilíbrio elétrico do corpo. As fibras do coração são sobrecarregadas de sinais elétricos de forma irregular, e as fibras ventriculares são estimuladas de maneira desordenada contraindo-se desorganizadamente, deixando o coração incapaz de executar sua função.

A fibrilação ventricular, atua nas fibras musculares do ventrículo de modo a fazer que o mesmo se comporte de maneira desordenada, retendo o sangue dentro do miocárdio. Logo, a irrigação sanguínea é interrompida, a pressão arterial reduz drasticamente e a pessoa perde a consciência, ficando em estado aparente de morte. Os fenômenos da fibrilação ventricular e a parada respiratória estão associados (COTRIM, 2009).

## 5.7 EPI'S

Em se tratando de periculosidade as ocorrências que envolvem energia elétrica são de grande relevância, pois são eventos com fatores dinâmicos que se alteram em variações pequenas de tempo, nesses casos o tempo é fator fundamental tanto para a segurança do socorrista quanto para a vítima, portanto para o resgate de uma vida inserida em um ambiente exposto a eletricidade onde a resposta deve ser de maneira mais rápida possível, para o bombeiro militar realizar suas atribuições perante a sociedade é necessário que o mesmo esteja provido de equipamentos de proteção individual.

Esses equipamentos previstos em normas que regulamentam sua aplicabilidade devem ser utilizados de modo a minimizar os riscos existentes de trabalhos sob influências de tensões e correntes elétricas. Normas como a NR 10 e NR 06 que discorrem sobre diretrizes que fixam requisitos mínimos para medidas de controle e segurança levando em consideração a saúde dos profissionais estabelecem também principais EPIs que devem ser utilizados para efetividade da proteção do agente.

A NR 06 contém em sua estrutura uma serie de equipamentos de proteção individual para diversas atividades que variam desde a cabeça aos membros inferiores, protegendo todas as partes que podem ocasionar problemas as funções vitais do organismo. Segundo a NR 06 (BRASIL, 1978a, p. 4) portaria SIT n° 25, de 15 de outubro de 2001 para o crânio e a face, segue o “capacete de segurança para proteção contra choques elétricos” e “óculos de segurança para proteção dos olhos contra luminosidade intensa”.

Para a proteção dos membros superiores de acordo com a mesma Norma Regulamentadora n° 06 (BRASIL, 1978a, p. 5) portaria SIT n° 25, de 15 de outubro de 2001, tem-se a “luva de segurança para proteção das mãos contra choques elétricos” e a “manga de segurança para proteção do braço e do antebraço contra choques elétricos”.

Para a proteção dos membros inferiores NR 06 (BRASIL, 1978a, p. 6) portaria SIT n° 25, de 15 de outubro de 2001, usa-se o “calçado de segurança para proteção dos pés contra choques elétricos”.

## 6 ESPECIFICAÇÃO DO APARELHO

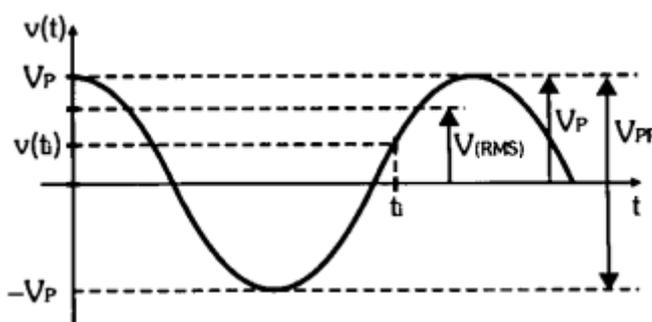
Trata-se das variáveis e componentes essenciais para formação do dispositivo.

### 6.1 Variáveis do projeto

O detector de tensão proposto neste trabalho tem algumas variáveis que são de extrema importância para o seu esclarecimento. O aparelho proposto medirá a tensão de passo, pois quando o cabeamento de energia cai ao chão a tensão varia com a resistividade do solo.

Outro ponto a ser levantado é que tipo de tensão o aparelho vai medir. Sabendo-se que o aparelho vai trabalhar com correntes e tensões alternadas, considere o gráfico abaixo em que a tensão varia com o tempo, gerando uma curva senoidal com parâmetros a serem analisados.

Figura 11 – Gráfico da tensão x tempo



Fonte: Markus (2004, p. 121).

De acordo com o gráfico alguns conceitos de extrema importância como o que a vem a ser as tensões: pico ( $v_p$ ), valor de pico a pico ( $v_{pp}$ ), valor instantâneo ( $v_t$ ) *root mead square* ou raiz média quadrática (RMS). O valor de pico corresponde o ponto em que a amplitude é máxima, ou seja, o ponto na qual a tensão será máxima. Já a tensão RMS é o valor numericamente igual a uma tensão alternada que, se tivesse aplicado a uma resistência, dissiparia uma potência média, numericamente igual a uma tensão contínua imposta a mesma resistência (MARKUS, 2004).

A relação da tensão de pico ( $v_p$ ) e a tensão eficaz. Considere uma função periódica temporal  $f(t)$ , com período  $T$ . O valor eficaz  $F$  dessa função é definido por:

$$F = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) \cdot dt \right]^{1/2} \quad (5)$$

Para sinais alternados senoidais e cosseinoidais, a fórmula de valor eficaz pode ser convertida no domínio angular, considerando o período T equivalente a  $2\pi$  rad, ou seja:

$$F = \left[ \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f^2(\theta) \cdot d\theta \right]^{1/2} \quad (6)$$

Considerando  $v(\theta) = v_p \cdot \cos(\theta)$ , a fórmula do seu valor eficaz pode ser deduzida:

$$\begin{aligned} V &= \left[ \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v^2(\theta) \cdot d\theta \right]^{1/2} = \left[ \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_p^2 \cdot \cos^2 \theta \cdot d\theta \right]^{1/2} = \left[ \frac{v_p^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \cos^2 \theta \cdot d\theta \right]^{1/2} = \\ &= \left[ \frac{v_p^2}{2\pi} \left( \frac{\theta}{2} + \frac{\sin 2\theta}{4} \right) \Big|_0^{2\pi} \right]^{1/2} = \left[ \frac{v_p^2}{2\pi} \left( \frac{2\pi}{2} + \frac{\sin 4\pi}{4} - \frac{0}{2} - \frac{\sin 0}{4} \right) \right]^{1/2} = \left[ \frac{v_p^2}{2\pi} (\pi) \right]^{1/2} = \sqrt{\frac{v_p^2}{2}} \Rightarrow \\ V &= \frac{v_p}{\sqrt{2}} \quad (7) \end{aligned}$$

A tensão e corrente eficazes propiciam a utilização dos medidores eletrônicos multímetro e amperímetro de corrente alternada (MARKUS, 2004), na maioria dos casos, isto é verdade quando o sinal de tensão é uma senoide perfeita.

Como a tensão de pico ocorre apenas duas vezes é utilizado a tensão eficaz, pois é um tipo de média dos valores e representa o que está acontecendo de fato com o sinal CA, sendo assim quando se verifica em uma tomada que a leitura do medidor é 220V, este valor é exatamente o valor da tensão eficaz do sinal (AFONSO; FILONI, 2011).

Analisando o detector que se propõe neste trabalho. Sua tensão de serviço será a tensão de pico e não a tensão RMS, porque é na tensão de pico que se tem a tensão máxima, sendo numericamente muito maior que a tensão eficaz. Proporcionando uma leitura mais relacionada ao problema em específico, pois a rigidez dielétrica dos materiais é medida e aferidas de acordo com o pico máximo da tensão. Desta forma, um aparelho mais confiável e com o poder de detectar potenciais

em grande escala. A corrente elétrica não é uma variável a se preocupar neste momento do problema. Apesar da corrente determinar o efeito fisiológico do choque. O foco da preocupação é a tensão de pico, pelo motivo já exposto no parágrafo anterior.

## 6.2 Componentes utilizados no projeto

Neste subtópico, serão apresentadas as especificidades dos projetos, bem como o memorial de cálculo para sua criação, para isto será feita uma breve introdução de cada um de seus componentes.

Dentre muitos componentes eletrônicos existentes um dos mais conhecidos são os diodos. Porém antes de falar propriamente da função do diodo no circuito deve-se ter em mente o elemento químico que é utilizado para sua construção e como eles se comportam.

A indústria de eletrônica trabalha com dispositivos discretos (individual) de estado sólido (estrutura de cristal rígido) e estes componentes são constituídos por materiais semicondutores, a qual foi explanado anteriormente. Os principais elementos utilizados são o germânio (Ge), silício (Si) e o arsênio de gálio (GaAs). Diante o exposto compreender como é a estrutura atômica e o tipo de ligação química que estes elementos fazem é de extrema importância.

Quando se fala da estrutura atômica nos remete à mente os modelos atômicos, um dos modelos mais conhecidos é o “modelo planetário” de Bohr. O silício (Si) tem 14 elétrons em órbita, o gálio (Ga) possui 31, germânio (Ge) tem 32 e o arsênio (As) possui 33. Tanto o germânio e o silício possuem quatro elétrons em sua camada de valência, o gálio possui três elétrons e o arsênio possui cinco elétrons. O termo valência tem a ver com o potencial de ionização necessário para remover elétrons da estrutura atômica do elemento químico (BOYLESTAD, 2013)

Considerando o número de elétrons na camada de valência dos elementos semicondutores supracitados verifica-se um compartilhamento de elétrons, a qual chama-se de ligação covalente. Mesmo a ligação covalente sendo considerada de alta intensidade entre os elétrons de valência e o átomo de origem, existe a possibilidade a absorção de energia de cinética que quebrará a ligação covalente e assumindo o estado livre (BOYLESTAD, 2013).

Os desafios encontrados ao longo da história era a construção de materiais semicondutores com teor de pureza. A pureza do material influencia na condutividade elétrica, considerando a adição de impureza por milhão em uma barra de silício podendo assim alterar de um condutor pobre de eletricidade para um mais eficiente. A essa transformação nas capacidades internas do condutor chama-se de dopagem. Todo material semicondutor que passou pelo processo de dopagem é chamado de extrínseco, podendo ser dos tipos n ou p (BOYLESTAD, 2013).

Na tabela 4 são apresentados alguns elementos utilizados como impurezas (dopantes) no Si.

Tabela 4 – Propriedades de dois semicondutores de silício dopados

<b>Material Original</b>	<b>Silício</b>	<b>Silício</b>
Dopante	Fósforo	Alumínio
Tipo de dopante	Doador	Receptor
Valência do dopante	5 (= 4+1)	3(=4-1)
Tipo do semicondutor	Tipo n	Tipo p
Lacuna de energia do dopante	45meV	57meV
Portadores majoritários	Elétrons	Elétrons
Portadores minoritários	<i>Buracos</i>	Elétricos
Carga do íon dopante	+e	-e

Fonte: Uni Oeste (2011, p. 405).

Outro ponto a ser verificado é quanto a estrutura atômica de um átomo de forma isolada observa-se níveis de energia a cada camada e com elétrons em órbita. Os níveis de energia serão diferenciados de acordo com a camada que o mesmo ocupa. Diante do exposto conclui-se a existência de intervalos entre os níveis de energia (BOYLESTAD, 2013).

Os semicondutores extrínsecos do tipo “n” possuem características bem peculiares. Considerando o elemento químico Si dopado com uma impureza pentavalente, isto acarretará um excesso de elétrons livres em relação ao número de colunas. Assim chama-se os elétrons livres de portadores majoritários e as lacunas de portadores minoritários. Já os semicondutores extrínsecos do tipo “p” possuem excesso de lacunas em detrimento dos elétrons livres, transformando as lacunas em

portadores majoritários e os elétrons livres em portadores minoritários (MALVINO, 1995).

### 6.2.1 O diodo semicondutor

Diante de toda a gama de conhecimento adquirido sobre os materiais que dão origem ao diodo pode-se definir o componente como:

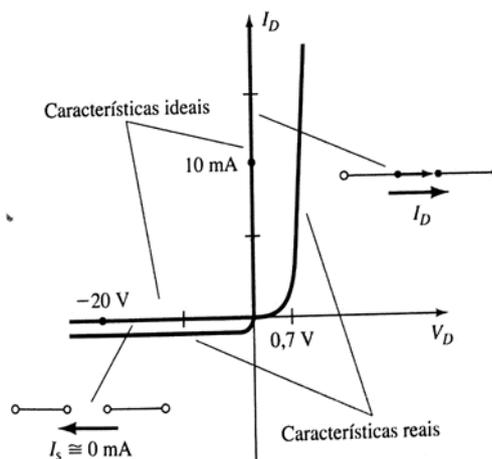
[...] a junção de um material do tipo “n” com o tipo “p”, nada mais, apenas a união de material com a maioria dos portadores elétrons a outros com a maioria dos portadores lacunas. A simplicidade básica da construção citada apenas reforça a importância do desenvolvimento desta era do estado sólido. (BOYLESTAD, 2013, p. 9).

Após a definição do que vem a ser um diodo pode-se falar agora do seu princípio de funcionamento. Quando se aplica uma tensão externa entre dois terminais do dispositivo diz que o mesmo pode estar polarizado, em relação a polarização classifica-se em polarização direta, polarização reversa e polarização nula (BOYLESTAD, 2013)

Sabendo das consequências da polarização em circuitos que possuem diodos, pode-se definir o que vem a ser um diodo ideal. Ele nada mais é que dispositivos ideais tanto para condução e para bloqueio. Quando polarizado diretamente deve conduzir corrente elétrica com resistência nula ( $0\Omega$ ), comportando-se como um interruptor fechado. Na polarização reversa o mesmo deve comporta-se como um isolante perfeito, impedindo completamente o fluxo de corrente (WENDLING, 2011).

Saber diferenciar um diodo ideal e um diodo propriamente real é de suma importância para compreender o que mesmo realmente faz dentro de um circuito eletrônico. Considerando-se a comparação de um diodo ideal com um diodo real, onde a única diferença é que o diodo comercial sobe a um nível de 0,7V quanto o ideal mostra 0V.

Figura 12 – características ideais x características reais de semicondutores



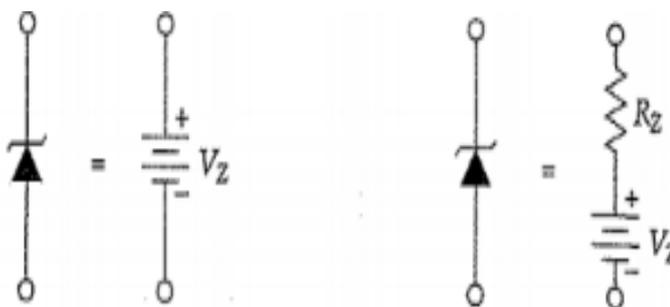
Fonte: Boylestad (2013, p. 19).

Em relação a resistência que os diodos trabalham são diferenciados de acordo com o tipo de corrente empregada, podendo ser estática (CC), dinâmica (CA) e média. Os principais diodos semicondutores encontrados no mercado são: diodo de uso geral, diodo PIN (*beam lead*), diodo PIN de alta potência, diodo de chip, diodo de potência (com rosca), diodo de potência, diodo de potência com tecnologia planar e diodo de potência tipo disco (BOYLESTAD, 2013).

Após o estudo do diodo propriamente dito é necessário a compreensão da região Zener e o diodo que se utiliza nessa região. Considerando a curva característica de um semicondutor de silício, onde existe um ponto em que a aplicação de uma polarização reversa proporcionará em uma mudança drástica na curva característica a qual é chamado de potencial de ruptura (BOYLESTAD, 2013).

Aumentando-se os níveis de dopagem conseqüentemente o potencial diminuirá e tenderá a se aproximar de -5V este processo é conhecido como ruptura Zener, que contribuirá para alteração da curva. Seja o decaimento da curva de um formato quase vertical em um potencial de polarização reversa revela que a corrente da região Zener tem um sentido oposto de um diodo de polarização direta (BOYLESTAD, 2013).

Figura 13 – Representação do diodo Zener Ideal



Fonte: Malvino (1995, p, 153).

O diodo Zener também possui uma série de aplicações, dentre elas pode-se destacar a regulação da tensão. Considerando um diodo aplicado paralelamente a um resistor de carga, a corrente que atravessa o resistor de limitação de corrente é numericamente igual à soma da corrente Zener e da corrente de carga (MALVINO, 1995).

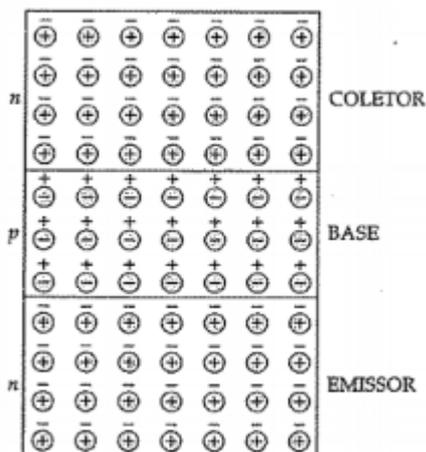
Já foi mencionado que o diodo Zener opera na região de ruptura e mantém a tensão constante. Mesmo que aconteça uma tensão na variação de entrada ou na resistência da carga, a tensão na carga ficará constante e igual a tensão Zener. (MALVINO, 1995). Em resumo, pode-se declarar que a principal função de um diodo Zener em um circuito, mais especificamente no circuito que foi projetado neste trabalho é a de manter a tensão sob um patamar invariável com o tempo, em regime permanente.

### 6.2.2 O Transistor

Um transistor nada mais é que um dispositivo que possui três camadas podendo ser de dois tipos “NPN” ou “PNP”. Outro ponto a ser comentado é sobre o seu princípio de funcionamento, onde uma junção P-N de um transistor tem sua polarização reversamente enquanto a N-P é diretamente (BOYLESTAD, 2013).

Em um transistor do tipo NPN ele possui três regiões dopadas. Onde a região inferior é o emissor, a do meio é a base e a superior chama-se de coletor (MALVINO, 1995).

Figura 14 – Estrutura de um transistor NPN



Fonte: Malvino (1995, p. 195).

Tratando-se de um transistor NPN propriamente dito. A corrente de emissor ( $i_e$ ) é a soma das correntes de base ( $i_b$ ) e de coletor ( $i_c$ ). Já pensando na tensão, considera-se que a tensão encontrada entre coletor-emissor ( $v_{ce}$ ) é numericamente a soma das tensões base-emissor ( $v_{be}$ ) e base-coletor ( $v_{cb}$ ) (BOYLESTAD, 2013).

Diante da compreensão acima pode-se dizer que a razão da corrente do coletor sobre a corrente da base chama-se de ganho de corrente. Sendo a corrente do emissor a maior das três (MALVINO, 1995). Existem também os limites de operação para os transistores, esse limite é delimitado na curva características. Eles irão garantir que o sinal de saída terá o mínimo de distorção (BOYLESTAD, 2013).

### 6.2.3 O capacitor

Os capacitores também são encontrados em circuitos eletrônicos, que são detentores de capacitância, são quase tão comuns quanto os resistores em circuitos eletroeletrônicos. Suas aplicações são de grande versatilidade, pois estão presentes em motores elétricos, sistemas de ignição de automóveis, computadores, sensores e em circuitos eletrônicos em geral.

A capacidade de armazenar energia sob forma de campo elétrico é denominada capacitância e o dispositivo elaborado para possuir determinado valor de capacitância é chamado capacitor. Em sua estrutura mais básica, o capacitor consiste em dois condutores separados por um isolante, e utiliza-se a terminologia placas quando se referir aos condutores e dielétricos para os isolantes. A função primordial de um capacitor é armazenar energia quando cargas elétricas são transferidas para

as suas placas pela ação de uma outra fonte de energia em geral baterias (FOWLER, 2013).

O capacitor ao ser conectado a uma bateria, uma corrente passa pelo circuito até o capacitor ficar carregado, de modo que elétrons do terminal negativo da bateria movem-se através do fio de conexão e se acumulam em uma das placas ao mesmo tempo que elétrons da outra placa condutora se movem pelo fio até a o terminal positivo da bateria.

Decorre-se daí que uma placa do capacitor termina com um excesso de elétrons (carga negativa) e a outra placa fica com deficiência de elétrons (carga positiva). De modo que essas cargas sobre as placas do capacitor se tornam uma fonte de tensão. É importante ressaltar que no processo de carregamento do capacitor não existe deslocamento de elétrons de uma placa para outra através do dielétrico (FOWLER, 2013).

A energia acumulada no capacitor proporciona uma tensão igual à da bateria em questão, de maneira que a tensão do capacitor é a mesma e de polaridade oposta à tensão da bateria, existindo um estado de equilíbrio por isso cessa a corrente quando o capacitor está completamente carregado (FOWLER, 2013).

A capacitância sofre influência de quatro fatores, a área das placas, a distância entre as placas, o tipo de material dielétrico e a temperatura. Dentre eles a temperatura tem menor significância, a não ser que sejam situações críticas como circuitos osciladores e a temperatura está relacionada diretamente com o tipo de material dielétrico do capacitor (FOWLER, 2013).

Já a área das placas influencia na capacitância de modo que ao se dobrar a área das placas e mantendo-se constante os outros fatores a capacitância aumenta, isso ocorre, pois, a área do dielétrico também aumenta e o campo elétrico para uma dada tensão não depende da área das placas, ou seja, a capacitância é diretamente proporcional à área das placas (FOWLER, 2013).

Enquanto que ao se dobrar a distância entre as placas a capacitância fica pela metade, isso ocorre por que a quantidade de energia armazenada no capacitor, para uma dada tensão aplicada entre as placas diminui, logo a capacitância também reduz, significa dizer que a capacitância é inversamente proporcional a distância entre as placas (FOWLER, 2013).

O tipo de material dielétrico de um capacitor quando submetido ao mesmo campo elétrico, alguns materiais se polarizam com mais facilidade que outros,

ocasionando maiores distorções moleculares e dessa forma armazenando mais energia, esta capacidade é determinada pela constante dielétrica do material, portanto mantendo-se as outras características constantes e variando a constante dielétrica a capacitância muda diretamente conforme alteração da constante (FOWLER, 2013).

Existe uma variedade enorme de capacitores que são fabricados para atender as diversas necessidades da indústria eletrônica. Podendo ser nomeados para indicar seu material dielétrico, seu encapsulamento, sua aplicação dentre outras formas (FOWLER, 2013).

Os capacitores eletrolíticos oferecem maior capacitância com menor peso e tamanho se comparado aos demais tipos de capacitores, este tipo de capacitor deve sempre manter sua polarização de tensão especificada no processo de fabricação que é indicada no próprio dispositivo, uma ligação com polaridade reversa faz com que uma corrente elevada circule através do capacitor podendo ocasionar sua destruição (FOWLER, 2013).

Tem-se o capacitor eletrolítico de tântalo que são menores e mais confiáveis que os eletrolíticos de alumínio, além de produzir uma corrente de fuga menor que o capacitor eletrolítico de alumínio, todavia são capacitores mais caros os de tântalo. Capacitores eletrolíticos comuns estão voltados a circuitos de corrente continua enquanto que capacitores eletrolíticos especiais ou não polarizados tem finalidade em circuitos de corrente alternada (FOWLER, 2013).

Os capacitores de papel e de filme são produzidos por técnicas de enrolar folhas , é importante ressaltar o modo de isolamento da montagem completa podendo resultar em um capacitor moldado quando a isolamento é realizada entorno da própria montagem, podendo ser um capacitor encapsulado quando o mesmo é encapsulado geralmente em uma material plástico isolante e um capacitor tubular se for colocado no interior de um tubo isolado e selada suas extremidades (FOWLER, 2013).

Outro tipo de capacitor são os cerâmicos que são utilizados para baixos valores de capacitância o estilo mais comum é o capacitor de disco cerâmico. Os capacitores de mica são utilizados quando o valor necessário de capacitância é menor que o cerâmico isso se deve devido a constante dielétrica da mica que é menor que a da cerâmica, contudo os capacitores de mica têm boas características em altas temperaturas (FOWLER, 2013)

Os capacitores de uso específico são classificados por suas funções desempenhadas ou pelo tipo de conexão com o circuito. São geralmente os

capacitores variáveis, tendo esta aplicabilidade em sintonização de rádios e televisores para se obter uma determinada estação (FOWLER, 2013).

Considerando um circuito de corrente contínua o capacitor ao ser carregado funciona como uma chave aberta, representando uma oposição infinita à circulação de corrente. Já em circuitos de corrente alternada, o capacitor controla a corrente pelo armazenamento de energia gerando uma tensão nos terminais do capacitor.

A grandeza que caracteriza a oposição que pode controlar a circulação de corrente do capacitor é a reatância capacitiva, a reatância não converte energia elétrica em térmica no processo de oposição a corrente e essa característica é inversamente proporcional a frequência da corrente, tensão e da capacitância (FOWLER, 2013).

A associação dos capacitores pode ocorrer de duas maneiras em série ou em paralelo dependendo do que se deseja obter com a capacitância, a associação em série permite um resultado menor de capacitância total enquanto que a associação em paralelo resulta em uma capacitância total maior, ambas expressas respectivamente pelas fórmulas (FOWLER, 2013).

$$C_{total} = \frac{1}{\left(\frac{1}{C_1}\right) + \left(\frac{1}{C_2}\right) + \left(\frac{1}{C_3}\right) + \text{etc}} \quad (8)$$

$$C_{total} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (9)$$

Os capacitores são arranjados com outros dispositivos para executar variedades de funções. Deste modo os capacitores podem ser empregados:

- a) Em filtros de fonte de alimentação para suavizar uma tensão contínua pulsante e transformá-la em uma tensão contínua pura.
- b) Em osciladores que convertem corrente contínua em corrente alternada senoidal ou não senoidal.
- c) Em filtros que separam sinais de baixa frequência de sinais de alta frequência.
- d) Para acoplamento de amplificadores (para separar corrente alternada de corrente contínua).
- e) Para correção do fator de potência (a corrente adiantada dos capacitores compensa a corrente atrasada de uma carga indutiva). (FOWLER, 2013, p. 278-279).

#### 6.2.4 O resistor

Outro componente muito versátil da indústria eletrônica são os resistores, esse dispositivo tem por finalidade oferecer uma resistência à passagem de corrente elétrica no circuito. Pode ser usado de muitas formas, mas sua principal função é operar como limitador de corrente ou produzir uma divisão de tensão desejada.

Os resistores podem ser fixos ou variáveis, os que se enquadram como fixos são aqueles cujo valor da resistência não pode ser mudado, enquanto que os variáveis sua resistência pode ser modificada incluídos em uma faixa de valores por um cursor móvel. Os resistores fixos normalmente são discernidos através do valor nominal da resistência elétrica, a tolerância, ou melhor, a maior variação em porcentagem do valor nominal e máxima potência elétrica dissipada (CAPUANO, MARINO, 2007).

As duas características fundamentais de um resistor são sua resistência em ohms e sua especificação de potência em watts. Os resistores estão dispostos em uma grande diversidade de valores de resistência podendo variar de 1 ohm até escalas de muitos quilohms e megaohms da mesma forma que a potência também pode mudar para vários valores de potência, a especificação é importante pois determina a potência máxima que o resistor dissipa sem aquecer excessivamente. O aquecimento elevado pode danificar o resistor por isso a potência do resistor é maior que a potência real dissipada como fator de segurança (FRENZEL JR, 2015).

Os resistores não são dispositivos influenciados pela polaridade, ou seja, não importa como os terminais de um resistor são conectados em um circuito. Os resistores com maiores valores de resistência em geral possuem menores especificações de potências devido a corrente que é menor. A potência, ou especificação de potência de um resistor é determinada sobretudo pelo seu tamanho físico. Todavia, o tamanho do resistor não tem correlação com sua resistência (FRENZEL JR, 2015).

Dentre os diversos tipos de resistores, tem-se os resistores de fio enrolado, para esse tem-se um tipo especial de fio de resistência que é enrolado em volta de um núcleo isolante, os fios de resistência são geralmente de tungstênio e a manganina, o núcleo isolado é geralmente de porcelana, cimento ou papel prensado, esses resistores tem aplicabilidade onde são exigidas altas correntes com baixas

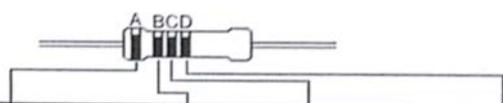
resistências e consideráveis potências, além disso são usados onde é necessário um valor de resistência estável e preciso (FRENZEL JR, 2015).

Outro grupo de resistores são os de composição carbono questão produzidos de carbono cuidadosamente dividido ou grafite misturado com um material dielétrico em pó com um agrupamento necessário para o desejado valor de resistência.

Na indústria de eletrônica se encontra também os resistores do tipo filme que possuem duas classes, os de filme de carbono e os de filme metálico. Comparados aos resistores de composição de carbono, os resistores do tipo filme de carbono possuem vantagens das quais pode-se citar, tolerâncias mais estreitas, menos sensibilidade a variações de temperatura e envelhecimento e geração de menos ruído internamente (FRENZEL JR, 2015).

E quando se fala em resistores do tipo filme metálico esses oferecem valores mais precisos de resistência que os de filme de carbono. De modo geral os resistores de filme metálicos são melhores, em seguida os resistores de filme de carbono e por fim os resistores de composição de carbono (FRENZEL JR, 2015).

Tabela 5 – Código de cores utilizado para identificação da resistência



Cor	1º algarismo	2º algarismo	Fator multiplicador	Tolerância
Preto	-	0	x 1	-
Marrom	1	1	x 10	± 1%
Vermelho	2	2	x 10 <sup>2</sup>	± 2%
Laranja	3	3	x 10 <sup>3</sup>	—
Amarelo	4	4	x 10 <sup>4</sup>	—
Verde	5	5	x 10 <sup>5</sup>	—
Azul	6	6	x 10 <sup>6</sup>	—
Violeta	7	7	-	—
Cinza	8	8	-	—
Branco	9	9	-	—
Ouro	-	-	x 10 <sup>-1</sup>	± 5%
Prata	-	-	x 10 <sup>-2</sup>	± 10%

Fonte: Capuano e Marino (2007, p. 11).

Os resistores também podem se associar em série ou em paralelo a depender da aplicação desejada, se o intuito for uma resistência equivalente em série deve-se recorrer a expressão (CAPUANO; MARINO, 2007).

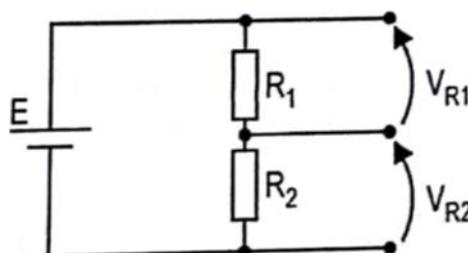
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (10)$$

No entanto se o propósito for uma resistência equivalente em paralelo deve-se atentar para a expressão da seguinte forma (CAPUANO; MARINO, 2007).

$$R_{eq} = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1}\right) + \left(\frac{1}{R_2}\right) + \left(\frac{1}{R_3}\right) + \text{etc}} \quad (11)$$

Uma das aplicações mais importantes dos resistores é quando o mesmo funciona como um divisor de tensão, de maneira simples, consiste em um arranjo de resistores de modo a subdividir a tensão total do sistema em valores desejáveis específicos.

Figura 15 – Resistores associados em série



Fonte: Capuano e Marino (2007, p. 11).

### 6.2.5 Gerador de função arbitrária

O gerador de função arbitrária é um aparelho eletrônico de extrema importância e encontrado facilmente no mercado. Sua função principal é a geração de onda, podendo trabalhar em vários níveis frequência, dentre vários aparelhos existentes o AFG 1032 da Tecktronix possui um ótimo desempenho.

Ele possui um canal duplo, largura de banda de 25 MHz e até 10 Vp-p de amplitude de saída. Os quatro modos de operação, as 50 formas de onda frequentemente usadas incorporadas e o contador de frequência incorporado de 200 MHz abrangem a maioria das necessidades de geração de formas de onda em seu experimento e nas tarefas de teste. O LCD TFT de 3,95 polegadas, botões de atalho, interface por USB e software para PC oferecem os modos mais intuitivos para configurar o instrumento. (TECKTRONIX, 2014, p. 1).

Além disso, sua aplicabilidade pode ser em experimentos eletrônicos e elétricos, experimentos de comunicação, simulação de um sensor e teste funcional. O

aparelho tem incorporado as ondas senoidal, quadrada, de Pulsos, de rampa, de ruído e 45 formas de onda arbitrárias frequentemente usadas (TECKTRONIX, 2014).

Com este aparelho será possível simular uma onda senoidal semelhante de uma corrente alternada (CA), possibilitando-se compreender como será o princípio de funcionamento do circuito em que o detector de tensão, de passo, estará inserido. Dessa maneira, verificando se o aparelho será ou não eficiência em detectar tensões perigosas, auxiliando o bombeiro, no momento em que o cabo de alta tensão tocar ao solo.

Figura 16 – Gerador de função Arbitrária AFG 1022



Fonte: Manual Tektronix.

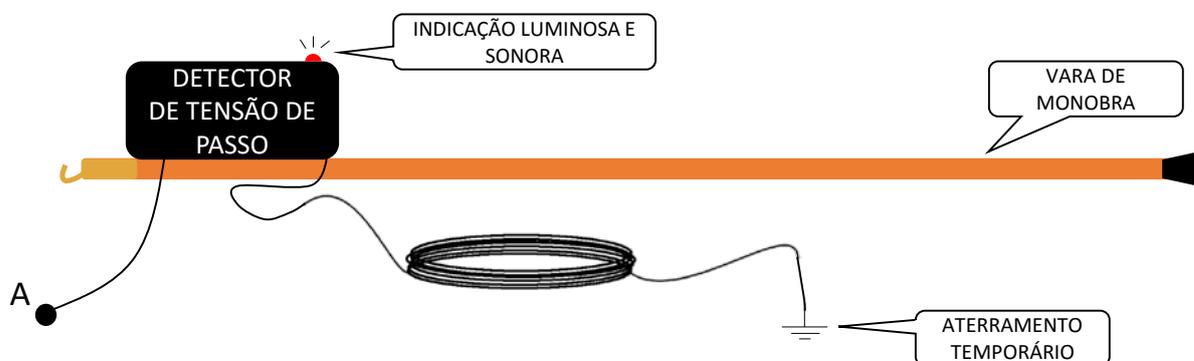
Assim este capítulo apresentou os componentes utilizados no projeto e suas funções básicas para que o leitor possa ter uma compreensão mínima sobre a função geral do dispositivo. Onde cada elemento no circuito tem uma função específica.

### 6.3 Especificações do projeto

A funcionalidade do aparelho especificado neste trabalho será desenvolvida por meio de simulação computacional através de um software específico, muito utilizado pelas grandes universidades nacionais e internacionais denominado de *CircuitMarker* (TEXEIRA, 2018). O funcionamento de cada um dos componentes utilizados neste projeto já foi descrito no item.

Esquemáticamente o aparelho pode ser acoplado a uma vara de manobra e seu terminas ligados conforme a Figura 17. O dispositivo tem dois terminais, o primeiro ligado a um aterramento temporário e o segundo ligado ao ponto de interesse aqui ressaltado como ponto A.

Figura 17 – Ilustração do dispositivo



Fonte: Elaboração dos próprios autores (2018).

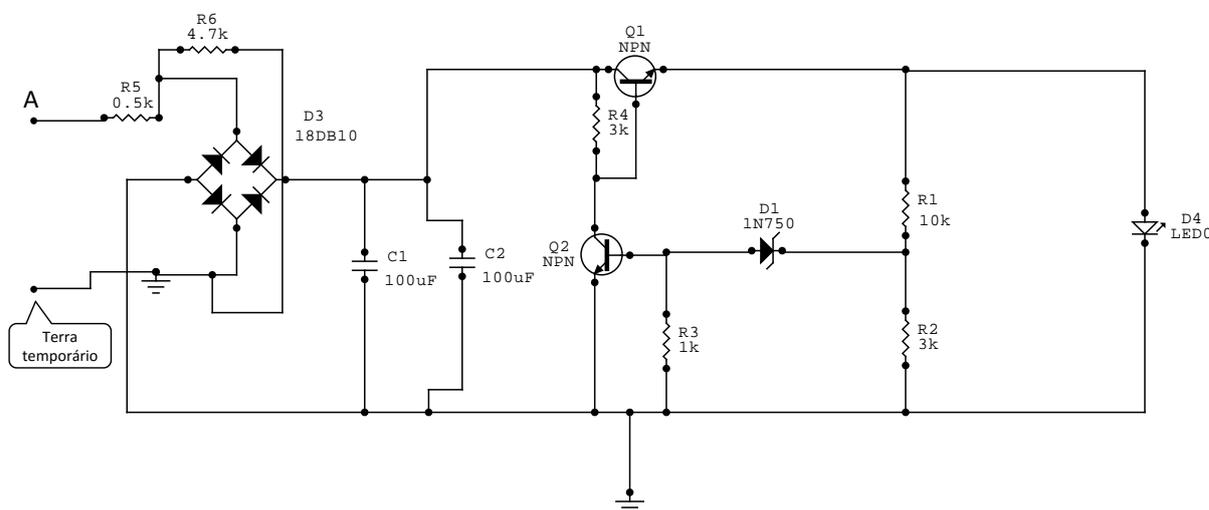
Basicamente, quando detectado uma tensão de passo que possa ser perigosa uma luz indicativa se acende e um aviso sonoro soará.

Tecnicamente o circuito esquemático simulado no *CircuitMaker* é apresentado na Figura 18. O circuito funciona da seguinte forma: a fonte V1 à esquerda do circuito da Figura 18 simula a tensão gerada sobre o solo com a queda do cabo, onde são gerados 8kV de tensão de pico, em seguida a tensão é dividida pelo divisor de tensão que aparece logo em seguida. A tensão no ponto de conexão da ponte de diodo foi calculada como descrito pela equação x onde  $V_p$  representa a tensão de contato com a ponte e  $V_T$  representa a tensão da fonte.

$$V_p = \frac{4.7k\Omega}{4.7kV + 0.5k\Omega} \cdot V_T \quad (12)$$

Em seguida, uma ponte de diodo foi montada para retificar a tensão. Dois capacitores de 100 $\mu$ F foram inseridos em paralelo para que se alcançasse a capacitância de 200 $\mu$ F para que a tensão seja mantida em um nível DC estável de 1000 $\mu$ F, respeitando o limite mínimo da constante de tempo do sistema RC.

Figura 18 – Ilustração do circuito do detector de tensão elaborado a partir do *CircuitMaker*



Fonte: Elaboração dos próprios autores (2018).

A próxima etapa é a construção do circuito regulador de tensão montado a partir de dois transistores e mais os resistores que têm a função de polarizar os transistores, o circuito termina com a inserção de um LED para a sinalização do equipamento, tal LED funciona em uma faixa de tensão até 4V, desta forma, se uma tensão com potencial superior a 300V for detectada, o LED se acenderá.

A comprovação de seu funcionamento é apresentada utilizando-se três cenários: o primeiro com uma tensão plena (tensão máxima sobre o solo, 8kV), e o segundo com uma tensão menor de apenas 300V, uma tensão de passo neste patamar não representa risco para uma situação de salvamento de vítimas em dias sem chuva e com o equipamento adequado.

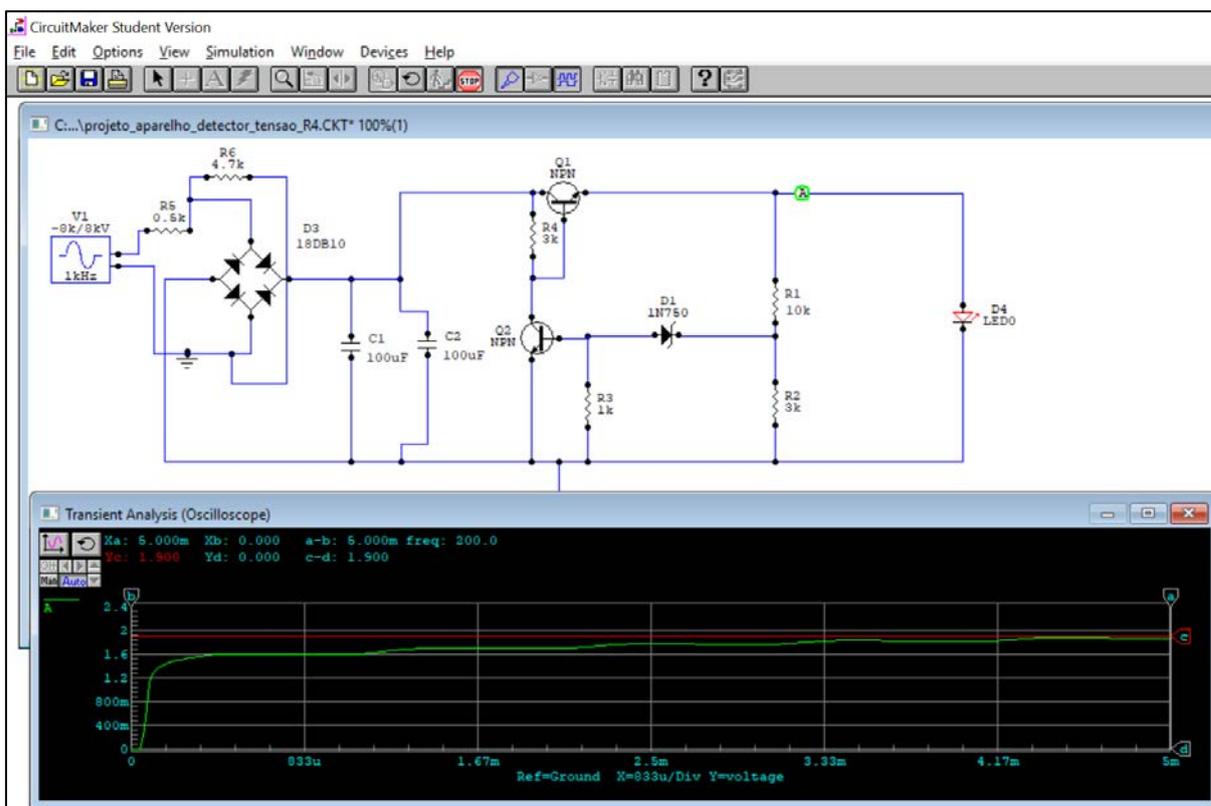
É importante ressaltar que este aparelho serve especificamente para medir tensão de passo, o que significa uma grande vantagem quando comparados aos simples detectores de tensão que são monopolares e por isso não podem necessariamente medir a tensão de passo que é a grandeza que realmente importa em situações como a ilustrada neste trabalho.

O primeiro cenário está ilustrado na Figura 19, situação de tensão plena, onde percebe-se que apesar de a tensão de solo ter um nível igual a 8kV (representada pela tensão do gerador de função do circuito), a tensão de pico na saída do dispositivo é de apenas 1.9V, suficiente para acionar o LED de segurança como

ilustrado na Figura 19, no qual verifica-se a leitura do osciloscópio da tensão de pico de saída.

O segundo cenário é realizado com o auxílio da Figura 20, na qual se tem uma situação semelhante à anterior, mas agora a tensão sobre o gerador de função é igual a 2kVPP, mesmo com uma tensão mais baixa a leitura do osciloscópio permanece no mesmo patamar de tensão de saída.

Figura 19 – Ilustração da simulação do detector de tensão, com uma tensão de 8kVPP



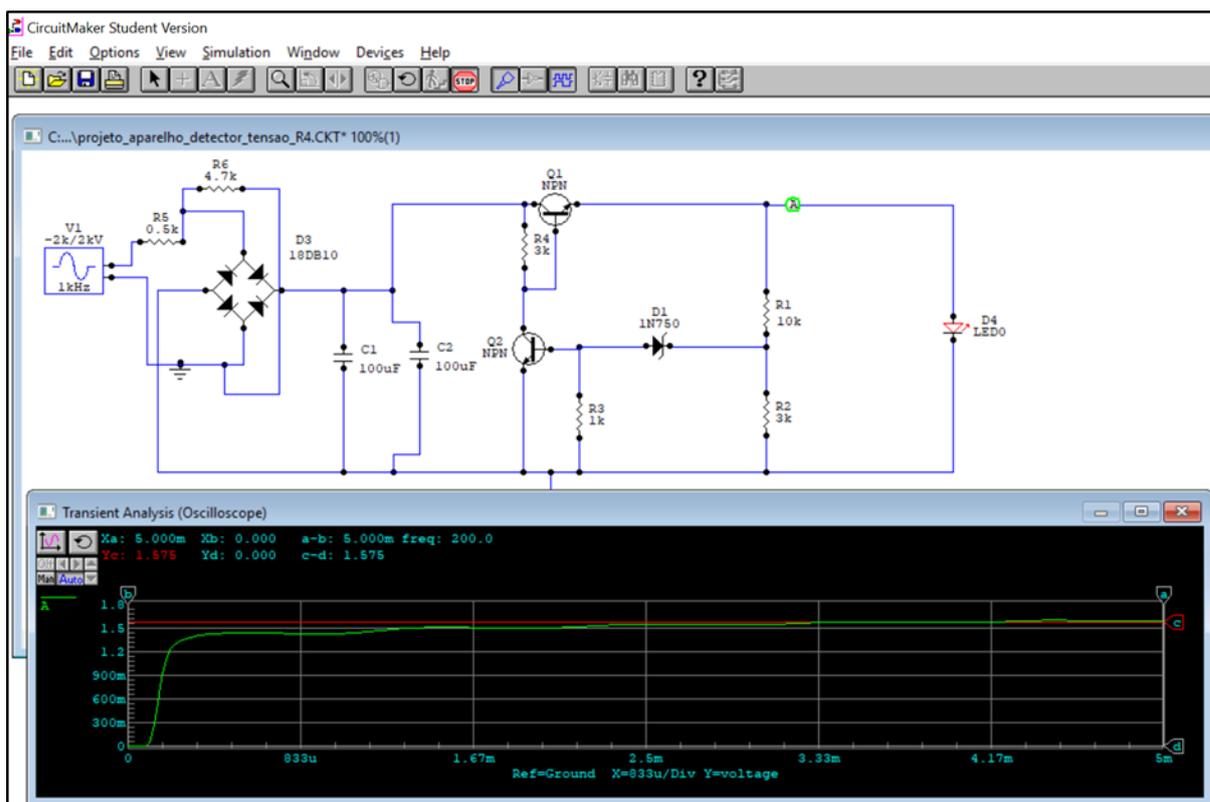
Fonte: Elaboração dos próprios autores (2018).

O objetivo do segundo cenário é mostrar que o dispositivo consegue uma tensão de saída estável com uma variação residual pequena o suficiente para alimentar um LED. A variação da tensão na comparação dos dois cenários é de 6kV, uma condição crítica para qualquer regulador de tensão tradicional, o que acaba por revelar a robustez do dispositivo aqui projetado.

Um terceiro cenário é adicionado para mostrar que tensões inferiores a 300V como ilustrado na Figura 21 não é suficiente para acionar o aparelho, demonstrando a acurácia deste dispositivo. A tensão de entrada (do gerador de

função) é de apenas 20V e a tensão de saída é próxima de zero, aproximadamente 120nV.

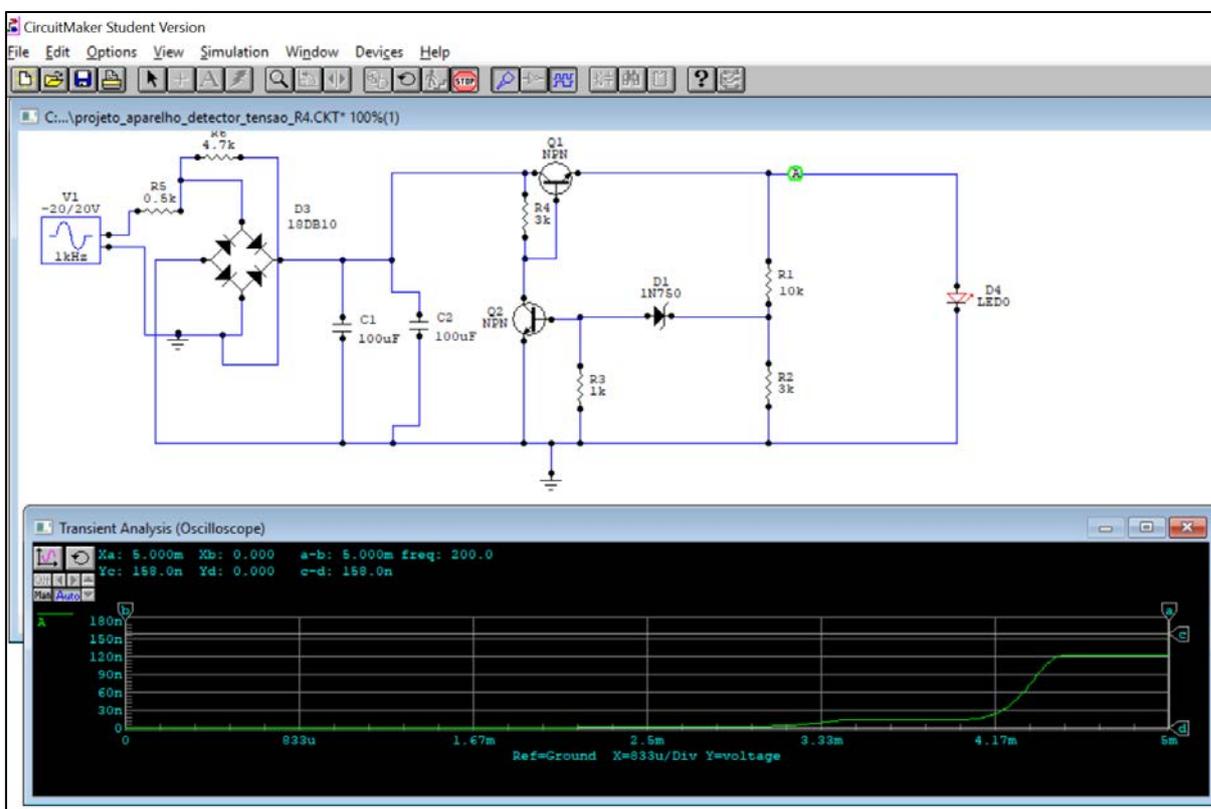
Figura 20 – Ilustração da simulação do detector de tensão, com uma tensão de 2KVPP



Fonte: Elaboração dos próprios autores (2018).

Os três cenários apresentados anteriormente demonstram que o aparelho foi adequadamente dimensionado e suficientemente calibrado.

Figura 21 – Ilustração da simulação do detector de tensão, com uma tensão de 20VPP



Fonte: Elaboração dos próprios autores (2018).

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do desenvolvimento do trabalho foi possível compreender de forma clara e objetiva o quanto pode ser perigoso a tensão de passo, para a vida do ser humano, e principalmente para a vida do bombeiro militar.

Nesta perspectiva, notou-se a necessidade do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Maranhão possuir um dispositivo que acuse esse tipo de tensão, auxiliando o bombeiro militar em ocorrências que possam envolver cabos energizados em contato com o solo. Pois, o determinado protótipo possibilitará maior segurança para o bombeiro em situações com possíveis potenciais danosos, devido a resposta luminosa e sonora do dispositivo.

Diante do que foi exposto na fundamentação, observou-se a existência de detectores de tensão no mercado, porém verificou-se que esses aparelhos são ineficientes quando deseja-se medir tensões de passo. É importante salientar também, que o aparelho sugerido trabalhará com tensões de pico e não com a tensão eficaz, proporcionando uma leitura de tensões bem maiores.

Além disso, não haverá a necessidade do bombeiro adentrar na área de influência, gerada pelo ponto em que o cabo toca o chão. Sua medição será feita a uma distância segura, com auxílio de uma vara de manobra, pela diferença de potencial elétrico existente entre o terminal ligado a haste de aterramento temporário e o ponto em que cabo rompido toca o solo. Todos os dois pontos estão interligados ao detector de tensão que estará acoplado a vara de manobra.

O simulador *CircuitMaker* mostrou de forma concreta a eficiência do aparelho em detectar tensões prejudiciais à saúde humana. Utilizando três tipos de tensões de entrada o mesmo comprovou a eficácia do aparelho, dessa forma alcançando o objetivo da pesquisa em obter um aparelho que propicie um perímetro de segurança para o bombeiro.

Diante dos fatos apresentados obteve-se êxito na confecção de mecanismos que auxiliem o bombeiro em ocorrências com cabo energizado ao chão, onde o detector de tensão de passo fará a leitura do potencial existente de forma clara e precisa, alcançando a meta principal do aparelho, que é contribuir com a redução do tempo de atendimento a vítimas, com o dispositivo consegue-se decidir com mais rapidez, segurança e assertividade.

## 8 TRABALHOS FUTUROS

Dada a importância deste aparelho em ocorrências desta magnitude é fundamental a construção de um protótipo. Imagina-se que seu custo possa ser baixo em função de seus componentes simples, perante sua eficácia mostra a viabilidade de se construir um protótipo do mesmo e posteriormente com melhorias equipar cada guarnição de serviço com um modelo do aparelho.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11854**: Bastão isolante para trabalho em redes energizadas de distribuição. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 7117**: Medição da resistividade e determinação da estratificação do solo. Rio de Janeiro, 2012.

ABRACOPEL. **Pesquisa Lançada pelo Procobre em Parceria com a Abracopel Mostra a Realidade das Instalações Elétricas Brasileiras**. 2017. Disponível em: <<http://abracopel.org/noticias/pesquisa-lancada-pelo-procobre-em-parceria-com-abracopel-mostra-realidade-das-instalacoes-eletricas-brasileiras/>>. Acesso em: 1 jun. 2018.

AFONSO, A. Pereira; FILONI, Enio. **Circuitos elétricos**. São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011. Coleção Técnica Interativa. Série Eletrônica, v. 1.

BOYLESTAD, L. Robert. **Introdução à análise de circuitos**. 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2012.

\_\_\_\_\_. **Dispositivos eletrônicos**. 11. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2013.

BRASIL. **Constituição** (1988). **Constituição** da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado **Federal**: Centro Gráfico, 1988.

\_\_\_\_\_. Ministério Do Trabalho e Emprego. **NR 06**: Equipamento de Proteção Individual. Brasília: Ministério Do Trabalho e Emprego, 1978a.

\_\_\_\_\_. Ministério Do Trabalho e Emprego. **NR 10**: Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Brasília: Ministério Do Trabalho e Emprego, 1978b.

\_\_\_\_\_. Secretária de Inspeção do Trabalho. **Portaria nº25 de 15 de outubro**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2001.

\_\_\_\_\_. Ministério do trabalho. **Normas Regulamentadoras (Português)**. 2015. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras>>. Acesso 07 outubro 2017.

BRIGADÃO, G. **Aplicação de eletricidade e potencial elétrico**. 2016. Disponível em: <<https://descomplica.com.br/blog/fisica/lista-eletricidade-potencial-eletrico>>. Acesso em 26 fevereiro 2018.

CAPUANO, Francisco Gabriel; MARINO, Maria Aparecida Mendes. **Laboratório de Eletricidade e Eletrônica**. 24. ed. São Paulo: Érica, 2007.

CARVALHO et al. **Manual Básico de Combate a Incêndio do Distrito Federal**. Brasília: CBM-DF, 2006.

COMERCIAL GONÇALVES. **Detector de alta tensão sem contato ezHv**. 2010.

Disponível em:

<<http://www.comercialgoncalves.com.br/Eshop.Admin/Imagens/comercialgoncalves/Detector-EzHv.pdf>> Acesso em: 01 maio 2018.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia. **NTC 890900**: Aterramento temporário. Curitiba: COPEL, 2015.

\_\_\_\_\_. **NTC 1034**: Detector de Tensão por contato. Curitiba: COPEL, 2016.

COTRIM, Ademaro A. M. B. **Instalações Elétricas**. 5. ed. Revisão e adaptação técnica de José Aquiles Baesso Gromoni e Hilton Moreno. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

\_\_\_\_\_. **Instalações elétricas**. 4. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2009.

FARIAS, M. Leonel; SELLITO A. Miguel. Uso da energia ao longo da história. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 12, n. 17, p. 01-106, jan./jun. 2011.

FOWLER, Richard. **Fundamentos de Eletricidade**: corrente alternada e instrumentos de medição. 7. ed. Tradução de Rafael Silva Alípio. Revisão técnica de Antonio Pertence Júnior. Porto Alegre: AMGH, 2013. 2 v.

FREDERICO, C. Mônica. **Ruptura Dielétrica**. Unicamp, 2010. Disponível em: <[https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530\\_F590\\_F690\\_F809\\_F895/F809/F809\\_sem\\_1\\_2010ate100715/FredericoC-Monica-Ref2.pdf](https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem_1_2010ate100715/FredericoC-Monica-Ref2.pdf)>. Acesso em: 26 fevereiro 2018.

FRENZEL JR., L. E. **Eletrônica moderna**: fundamentos, dispositivos, circuitos e sistemas. Porto Alegre: AMGH, 2015.

GIL. **Como elaborar projeto de pesquisa**. 4ª São Paulo: Atlas. 2002.

HALLIDAY R, David. **Fundamentos da Física**. 8. ed. Eletromagnetismo. Rio de Janeiro: Performa, 2009. 3 v

IEC - INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 61243-1**: Live working - Voltage detectors - Part 1: Capacitive type to be used for voltages exceeding 1 kV a.c. 2003. Disponível em: <<https://webstore.iec.ch/publication/4975>>. Acesso em 28 maio 2018.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Raios de polaridade negativa**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/rindat/menu/desc.atm/>>. Acesso em: 23 maio 2018.

JÚNIOR, Dilzair Alvimar de Oliveira. **Faltas de alta impedância**: detecção e localização de rompimento de condutores em circuito primário de redes aéreas de distribuição baseado em desequilíbrio de tensão. 2006. 174f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica. Belo Horizonte, 2006.

KILDERMANN, G. **Choque elétrico**. Porto Alegre: Sagra, 1995.

MALVINO. **Eletrônica**. 4ª. ed. [S.l.]: [s.n.], 1995.

MARANHÃO. **Lei 10.230 de 23 de abril de 2015**. Lei de Organização Básica do Corpo de Bombeiros Militar do Maranhão. Disponível em: <<http://www.stc.ma.gov.br/legisla-documento/?id=3868>>. Acesso em 01 junho 2018.

MARKUS, Otávio. **Circuitos elétricos**: corrente contínua e corrente alternada. 9. ed. São José dos Campos-SP: Editora Érica, 2004.

MATTOS, Ubirajara Aluizio de Oliveira; MÁSCULO, Francisco Soares. **Higiene e Segurança do Trabalho**. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2011.

MELLIS, Fernando. **Choque elétrico mata dois brasileiros por dia**. Portal R7, 2017. Disponível em: <<http://noticias.r7.com/cidades/choque-eletrico-mata-em-media-dois-brasileiros-por-dia-04052017>>. Acesso em: 21 setembro 2017.

MODENA, Jobson; SUETA, Hélio. Aterramento temporário. **Revista O setor elétrico**, n. v., 2011.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física**. 1. ed. São Paulo: Edigard Blucher, 1997.

ORTUNHO, V. Tiago. **Eletricidade 2**. Curso: técnico em automação industrial. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. Campus de Presidente Epitácio, 2015.

RITZ SP COMERCIAL. **detector de tensão sem contato**. 2018. Disponível em: <<https://www.ritzspcomercial.com.br/ct-10-40sb>>. Acesso em: 01 maio 2018.

RODRIGUES, R. F.; CUNHA, S. L. S. **Arduino para físicos**: uma ferramenta prática para aquisição de dados automáticos. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2014. Disponível em: <[https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/rodrigues\\_v25\\_n4.pdf](https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/rodrigues_v25_n4.pdf)>. Acesso em 03 janeiro de 2018.

SANTOS F, José. **Associação de resistores**. 2015. Disponível em:<<http://educaçao.globo.com/fisica/assunto/eletromagnetismo/associação-resistores>>. Acesso em 11 abril 2018.

SANTOS, V. D.; CANDELORO, R. J. **Trabalhos Acadêmicos: Uma orientação para a pesquisa e normas técnicas**. Porto Alegre/RS: AGE Ltda, 2006. 149 p.

SERAPIONI, Mauro. **Métodos qualitativos e quantitativos na pesquisa social em saúde: Ciência e saúde coletiva**. Vol 5, Rio de Janeiro.2000.

TELLO, Marcos. **Aterramento elétrico**. Porto alegre: Edipucrs, 2007.

TEXEIRA, Leonardo. **Instalador do CircuitMaker Student**: Software para simulação de circuitos analógicos e digitais gratuito. 2018. Disponível em:<<http://docente.ifrn.edu.br/leonardoteixeira/links/instalador-do-circuitmaker-student/view>>. Acesso em 02 Jun 2018.

WENDLING, Alexandre. **Diodo semicondutor**,2011.

ZANELLA, Cesar. **Fisiologia Humana**. 1. ed. Revisão de conteúdo de Luci Armada Dias. Rio de Janeiro: SESES, 2015.