

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
PROJETO DE GRADUAÇÃO**

**JEFERSON KHOURY OLIVEIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PORTÁTIL  
DE PROTEÇÃO CONTRA SOBRECARGA E  
FUGA DE CORRENTE**

VITÓRIA – ES  
SETEMBRO/2016

JEFERSON KHOURY OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PORTÁTIL DE  
PROTEÇÃO CONTRA SOBRECARGA E FUGA DE CORRENTE**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Jeferson Khoury Oliveira**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. José Luiz de Freitas Vieira

VITÓRIA – ES  
SETEMBRO/2016

JEFERSON KHOURY OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PORTÁTIL DE  
PROTEÇÃO CONTRA SOBRECARGA E FUGA DE CORRENTE**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno Jeferson Khoury Oliveira, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em 23, de setembro de 2016.

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Dr. José Luiz de Freitas Vieira**  
**Universidade Federal do Espírito Santo**  
**Orientador**

---

**Dra. Tiara Rodrigues Smarssaro de Freitas**  
**Universidade Federal do Espírito Santo**  
**Examinador**

---

**Me. Odair de Barros Junior**  
**Universidade Federal do Espírito Santo**  
**Examinador**

*Dedico este trabalho a minha família e a todos aqueles que me ajudaram nos diversos percalços ao longo da trajetória da formação acadêmica*

Agradeço a minha esposa Camila pelo incentivo e apoio, ao meu amigo Odair pelos bons conselhos e aos meus familiares pela compreensão dos momentos de ausência durante a execução deste trabalho, aos colegas e professores da UFES boa convivência ao longo dos anos de faculdade, ao meu orientador Prof. Dr. Jose Luiz pela proatividade e apoio incondicional, ao Professor do IFES de Linhares, Valdeir Afonso Bonfá, por ter me ajudado e disponibilizado um laboratório para a realização dos testes iniciais. Por fim, mas não menos importante agradeço a todos aqueles que de forma direta ou indireta colaboraram para a realização deste projeto.

## RESUMO

Este trabalho apresenta conceitos relacionados à segurança no uso da energia elétrica bem como a aplicação de tais conceitos nas instalações elétricas. Apresenta-se também estatísticas de acidentes envolvendo eletricidade e baseado em números estatísticos alarmantes propõe-se uma alternativa de proteção, complementar às já existentes, com o objetivo de reduzir o número de acidentes.

Trata-se então do desenvolvimento de um dispositivo para proteção de pessoas contra choques elétricos e para proteção de eletrodomésticos contra sobrecargas. Descreve-se as particularidades desse dispositivo, os seus benefícios em relação às proteções já existentes e como ele pode atuar aumentando a segurança dos usuários e a vida útil da carga a ele conectada.

O dispositivo desenvolvido é capaz de atuar, interrompendo a alimentação na carga, para correntes de fuga superiores a 10mA, assim como é capaz de proteger contra sobrecargas quando a corrente instantânea for superior à corrente nominal em valores a partir de 5%. Quanto maior for a sobrecarga menor será o tempo de atuação do dispositivo. A tensão de funcionamento pode ser 110/127 ou 220V 60Hz e a corrente máxima para atuação por sobrecarga é de 10A eficazes. A indicação da condição de funcionamento é apresentada através de 3 *LEDs* (*Light Emitting Diodes* - diodos emissores de luz), sendo um na cor verde para sinalizar a condição de operação normal, um na cor amarela para sinalizar sobrecargas entre 5 e 20% e um na cor vermelha para sinalizar sobrecargas acima de 20%.

A definição do ponto de atuação de sobrecargas é realizada por um potenciômetro, que opera como um divisor de tensão, o qual é o responsável por informar ao circuito o valor de referência para a atuação por sobrecargas. Quando ocorre atuação do dispositivo para proteção por sobrecarga o *LED* amarelo passará a piscar e quando houver atuação do dispositivo devido a fuga de corrente o *LED* vermelho piscará. Na ocorrência de uma anomalia, os relés permanecem abertos, eliminando a alimentação nos dois polos da tomada, até que seja pressionado o botão de reconhecimento de falhas. Pressionado este botão, o circuito habilita novamente a alimentação nos dois polos da tomada através da energização dos relés e todo o monitoramento da condição de funcionamento é reiniciado de forma a atuar em caso de ocorrência de uma nova anomalia.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplos de contato direto e contato indireto. ....	21
Figura 2 – Diagrama representativo do conceito de funcionamento do dispositivo DR. ....	31
Figura 3 – Exemplos de dispositivos DR. ....	32
Figura 4 – Dispositivo “ <i>Clamper Energia 2</i> ”. ....	37
Figura 5 – Temporizador Digital. ....	38
Figura 6 – Placa do microcontrolador Arduino Nano. ....	39
Figura 7 – Sensor de corrente de fuga. ....	39
Figura 8 – Placa contendo o CI de efeito Hall ACS-712 de 30A. ....	40
Figura 9 – Placa de dois canais com os relés de 10A acionados por um sinal 5V. ....	40
Figura 10 – Foto da parte interna do dispositivo. ....	40
Figura 11 – Foto da parte externa do dispositivo. ....	41
Figura 12 – Diagrama simplificado do microcontrolador Arduino Nano. ....	42
Figura 13 – Diagrama completo do protótipo implementado. ....	47
Figura 14 – Ponteira de corrente utilizada para acoplamento direto no osciloscópio. ....	48
Figura 15 – Resistores utilizados para o ensaio de sobrecarga. ....	48
Figura 16 – Diagrama de ligação dos resistores ....	48
Figura 17 – Gráfico de atuação da proteção por sobrecargas ....	49
Figura 18 – Conjunto usado para simular a atuação por fuga de corrente. ....	50
Figura 19 – Gráfico de atuação por fuga de corrente ....	51
Figura 20 - Atuação da proteção contra fuga de corrente com pulso digital ....	51

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Mortes por choque elétrico no Brasil. ....	12
Gráfico 2 – Mortes por choque elétrico separadas por faixa etária no ano de 2013.....	17
Gráfico 3 – Choques fatais x local de ocorrência no Brasil no ano de 2013. ....	18
Gráfico 4 – Zonas de tempo x corrente e os efeitos sobre as pessoas. ....	25
Gráfico 5 – Atuação por sobrecarga ao comutar a velocidade de ventilador .....	52
Gráfico 6 – Atuação por sobrecarga ao ligar ferro de passar roupas e ventilador.....	53
Gráfico 7 – Atuação por fuga de corrente .....	53



## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Efeitos do choque elétrico. ....	22
Quadro 2 – Vantagens e desvantagens do uso do dispositivo DR.....	36

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>A ELETRICIDADE E SEUS RISCOS.....</b>	<b>17</b>
2.1	Por que estudar a eletricidade e seus riscos .....	17
2.2	Estudo sobre o choque elétrico.....	19
2.2.1	Tipos de choque elétrico.....	20
2.3	Efeitos da Corrente Elétrica no Corpo Humano .....	21
2.3.1	Tetanização.....	22
2.3.2	Parada Respiratória.....	23
2.3.3	Queimadura .....	23
2.3.4	Fibrilação Ventricular.....	23
<b>3</b>	<b>PROTEÇÃO PARA GARANTIR A SEGURANÇA CONTRA CHOQUES ELÉTRICOS .....</b>	<b>27</b>
3.1	Proteção básica .....	27
3.1.1	Proteção por Isolação das Partes Vivas .....	27
3.1.2	Proteção por Meio de Barreiras ou Invólucros.....	28
3.1.3	Proteção Parcial por meio de Obstáculos .....	28
3.1.4	Proteção Parcial por Colocação fora de Alcance .....	28
3.2	Proteção Supletiva .....	29
3.2.1	Proteção Supletiva por Dispositivos DR de alta Sensibilidade para seccionamento automático da alimentação. ....	29
3.2.1.1	Conceito de funcionamento do dispositivo DR.....	30
3.2.1.2	Tipos de dispositivo DR quanto aos tipos de corrente detectados .....	31
3.2.1.3	Tipos de dispositivo DR quanto à função.....	32
<b>4</b>	<b>PROJETO DO DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO CONTRA CHOQUES ELÉTRICOS E SOBRECARGAS.....</b>	<b>33</b>
4.1	Dispositivos portáteis .....	36
4.2	Descrição geral do dispositivo implementado.....	38
4.3	Função de proteção contra choques elétricos para correntes menores do que 30mA. ....	42
4.4	Função de proteção contra sobrecargas .....	43
<b>5</b>	<b>RESULTADOS EXPERIMENTAIS .....</b>	<b>47</b>

5.1 Atuação da proteção por sobrecarga.....	47
5.2 Atuação da proteção contra fuga de corrente .....	50
5.3 Aquisição de dados pela comunicação serial do Arduino .....	52
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>55</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>57</b>
<b>APÊNDICE A – CÓDIGO DO PROGRAMA EM LINGUAGEM ARDUINO.....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO A – COMPONENTES INTERNOS DO DISPOSITIVO DR.....</b>	<b>64</b>

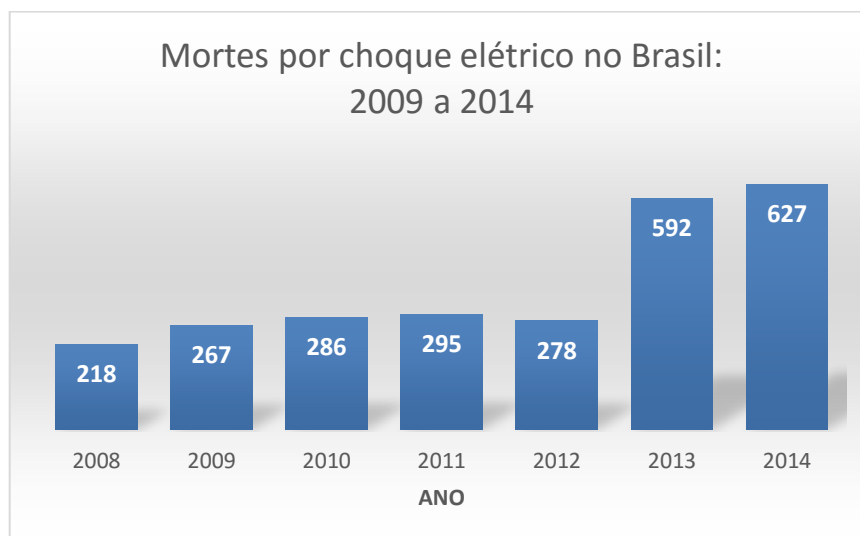
## 1 INTRODUÇÃO

Indispensável para a qualidade de vida na sociedade moderna, a energia elétrica está presente em quase todos os lugares onde o homem atua ou habita, sendo uma grande aliada para o progresso da humanidade. Assim como outras formas de energia, a energia elétrica, se usada de forma incorreta, pode ser perigosa e por isso devem haver alguns cuidados do processo de geração até a utilização. Muitas pessoas desconhecem os riscos aos quais estão expostas pois a eletricidade é invisível e silenciosa, apresentando assim um grande potencial para acidentes que quase sempre deixam sequelas cujos efeitos variam de queimaduras até a morte. É de extrema importância conhecer os riscos e consequências dos acidentes gerados pelas ocorrências não desejáveis envolvendo energia elétrica, de forma que seja possível adotar as medidas de proteção necessárias, visando a proteção da vida contra os efeitos fisiológicos dos choques elétricos (FARIAS; SENA, 2016).

Dentre as medidas adotadas atualmente para a redução do número de ocorrências não desejáveis envolvendo a eletricidade pode-se citar: o uso de disjuntores corretamente dimensionados, o de fios e cabos de diâmetros apropriados para as suas aplicações, de um bom aterramento, dentre outros. Apesar de todas essas medidas, que atuam como forma de proteção, ainda assim acidentes envolvendo eletricidade continuam acontecendo no Brasil e no mundo.

Dados estatísticos da ABRACOPEL - Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade mostram que nos anos de 2013 e 2014 os acidentes residenciais envolvendo eletricidade cresceram expressivamente em relação aos anos anteriores (ABRACOPEL, 2016). Esse aumento se deve basicamente ao aumento no número de ocorrências e ao aumento no número de fontes consultadas e na melhoria dos critérios de pesquisa, que são aperfeiçoados a cada ano. No gráfico 1 são mostrados os números obtidos pela ABRACOPEL ao pesquisar notícias usando palavras chave como: Choque elétrico, Eletrocutado, Eletroplessão (morte causada por descarga elétrica), Curto Circuito, Incêndio, dentre outros. Eles refletem somente uma parcela dos acidentes de origem elétrica que acontecem no Brasil. A ABRACOPEL estima que o número possa ser de 4 a 5 vezes maior do que o apresentado.

Gráfico 1 – Mortes por choque elétrico no Brasil.



Fonte: Adaptado de Abracopel, 2016

Mesmo com as tecnologias de proteção existentes (Disjuntores Termomagnéticos, Disjuntores/Interruptores de Proteção Diferencial Residual “DR”, e Dispositivos de Proteção contra Surtos “DPS”) e a conscientização feita por diversos meios, pessoas de diversas faixas etárias, regiões e escolaridade ainda se acidentam dentro de suas casas por falta de informação e por usarem instalações em desacordo com a ABNT NBR 5410 (Instalações Elétricas de Baixa Tensão). Conforme Cunha (2009), em Pernambuco, a cada três dias uma pessoa morre vítima de choque elétrico dentro das residências do estado, conforme pesquisa realizada entre os anos de 2005 e 2007, pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) em parceria com a Celpe, concessionária de energia do Estado.

Além de acidentes com lesão às pessoas existem também aqueles cujas consequências se dão através de danos materiais, como quando ocorre a queima do motor de um eletrodoméstico devido a uma sobrecarga, por exemplo.

Apesar da ABNT NBR 5410 exigir, desde 1997, o uso do Disjuntor Diferencial Residual (DR) em áreas molhadas (cozinha, banheiro, lavanderia), sabe-se que, em especial nas instalações antigas (prediais, domésticas e comerciais) e nas de áreas mais carentes, os DRs ainda são dispositivos de proteção ausentes. Uma pesquisa realizada em 2008 pelo Programa Casa Segura constatou que de 30 edifícios com mais de 15 anos, nenhum contava com o dispositivo (CUNHA, 2009).

Como a obrigatoriedade exigida em norma para a presença dos dispositivos DR se deu a partir de 1997, sendo que desde 1980 o seu uso era apenas recomendado, é natural que grande parte das instalações feitas antes deste ano não contem com a presença de um dispositivo de proteção contra correntes de fuga. A situação se torna ainda mais grave na autoconstrução, em residências unifamiliares, como as casas, em que na maioria das vezes o DR não é incluído no projeto (CUNHA, 2009).

Diante deste cenário, o propósito deste trabalho é prover uma solução que permita o aumento da segurança do usuário e que possa proteger contra sobrecargas um equipamento que esteja conectado ao dispositivo projetado, tendo as vantagens de ser portátil e de fácil instalação. Seu uso poderá ser realizado em moradias alugadas, pousadas, albergues, salas comerciais, ambientes externos, entre outros.

A praticidade na instalação e no uso, assim como a portabilidade, tendem a ser fatores para motivar a aceitação deste dispositivo, o que poderá colaborar para a redução do número de acidentes residenciais envolvendo eletricidade, em especial nos acidentes que ocorrem devido ao uso de equipamentos com isolamento comprometida, fios expostos ou em condições de risco. A função de proteção contra sobrecargas, ao interromper a alimentação da carga sempre que há desvios nos valores da corrente instantânea em relação à corrente nominal, é uma aliada para o aumento da vida útil de aparelhos eletrodomésticos movidos a motor, uma vez que irá prevenir o sobreaquecimento que gradativamente compromete o isolamento elétrico das espiras do motor e conseqüentemente pode provocar a queima do mesmo, além de poder provocar choques elétricos por contato indireto.

Os disjuntores disponíveis no mercado são projetados para proteger o circuito elétrico (fios e cabos). Os valores da corrente elétrica para os quais ocorre a atuação do disjuntor são bem maiores do que as correntes de operação de eletrodomésticos de forma que, quando um eletrodoméstico apresenta uma sobrecarga, o aumento da corrente pode estar dentro da faixa de não atuação do disjuntor, porém para o eletrodoméstico essa corrente pode ser prejudicial. Dependendo da sua intensidade e do tempo de ocorrência esse aumento de corrente pode vir a danificar permanentemente o eletrodoméstico. Como consequência secundária é possível que ocorram eventos danosos como incêndios ou até mesmo choques elétricos.

Atualmente, a única forma de se garantir a integridade de um eletrodoméstico é o cumprimento das recomendações do manual. Ainda assim, o funcionamento pode ser prejudicado por falta de conhecimento e dados que orientem o usuário. Como não há um circuito de monitoramento integrado ao eletrodoméstico e estando este sujeito a uso fora dos padrões para os quais foi projetado, há a possibilidade de danos ao equipamento e ocorrência de acidentes. Muitas vezes o usuário acha que está usando o aparelho corretamente porém ele pode estar, sem saber, sobrecarregando o motor do eletrodoméstico.

A potência do aparelho eletrodoméstico, informada pelo fabricante no manual de instruções e geralmente informada também em uma etiqueta, costuma ser utilizada pelo usuário apenas como referência de eficiência. Tal informação é utilizada para comparar modelos de aparelhos de forma que o usuário, ao ver um aparelho com potência maior do que o outro, associa essa informação à qualidade, sem saber exatamente o que significa aquela informação do ponto de vista técnico.

Para eletrodomésticos movido a motor, um aumento da corrente nas bobinas acima do valor para a qual o motor foi projetado para operar (que é função da sua potência) pode provocar uma diminuição na vida útil da isolação que, uma vez comprometida, pode culminar na queima do motor. A utilização de um dispositivo de proteção contra sobrecargas onde a atuação da proteção se dá em função da potência do equipamento poderia, por exemplo, evitar tal ocorrência.

Quando um eletrodoméstico falha, além dos transtornos que a sua indisponibilidade momentânea causa, temos também os impactos gerados ao meio ambiente quando o usuário opta pela compra de um novo aparelho, colaborando para o aumento da poluição com o descarte do aparelho antigo e com as embalagens do novo aparelho. Como ainda não temos no Brasil uma política pública de descarte e coleta seletiva muitas vezes esses materiais são jogados no lixo comum e acabam no meio ambiente, em aterros sanitários, onde levarão centenas de anos para se decompor.

Diante do exposto, o desenvolvimento de um dispositivo capaz de proteger usuários contra choques elétricos e ao mesmo tempo capaz de garantir o aumento da vida útil de eletrodomésticos se mostra uma solução para a redução do número de acidentes envolvendo

eletricidade em ambientes residenciais. Além disso, o uso desse dispositivo pode ser um aliado para as questões ambientais, pois colabora para a redução do descarte prematuro de aparelhos eletrodomésticos.

O trabalho, a seguir, está organizado da seguinte forma: no Capítulo 2 trata-se da importância de se estudar os riscos da eletricidade, quais são os termos relacionados ao choque elétrico, da influência da passagem da corrente elétrica no corpo humano e dos fatores que colaboram para definir a resistência do corpo a uma passagem de corrente. O Capítulo 3 aborda as formas de proteção ativas e passivas para a proteção contra choques elétricos por contatos diretos e indiretos. O Capítulo 4 trata do projeto e implementação do dispositivo objeto deste trabalho, onde serão descritas as suas funções, os elementos que compõe o protótipo e a programação utilizada para a leitura das variáveis e a atuação das saídas. O capítulo 5 apresenta os resultados obtidos com os testes em bancada do protótipo, onde serão apresentados gráficos de atuação do mesmo quando da ocorrência de sobrecargas e de fugas de corrente.

As conclusões e as considerações finais bem como as sugestões de melhoria para projetos futuros são apresentadas no Capítulo 6.





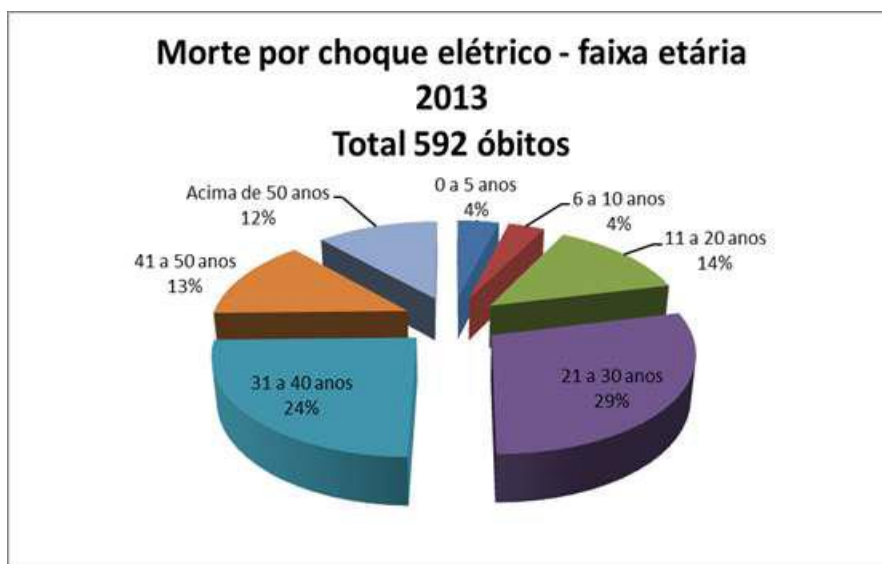
## 2 A ELETRICIDADE E SEUS RISCOS

### 2.1 Por que estudar a eletricidade e seus riscos

A energia elétrica tornou-se algo indispensável a quase todos os processos de lazer e trabalho na vida moderna, mas mesmo sendo um elemento fundamental ao progresso, crescimento e conforto dos lares ela pode ser causadora de acidentes graves e, até mesmo, fatais, além de provocar grandes danos materiais e financeiros (FEITOSA, 2015). A ausência de dados sobre os acidentes causados pela eletricidade no Brasil levou à criação da ABRACOPEL, uma entidade sem nenhuma ligação com qualquer organização do setor público, que surgiu da iniciativa de profissionais do setor preocupados com os inúmeros acidentes ocorridos e a pouca importância dada aos perigos da eletricidade.

No gráfico 2 são apresentados a quantidade de mortes por choque elétrico separado por faixa etária no ano de 2013 e no gráfico 3 estão relacionados o número de ocorrências de choque elétrico com o local de ocorrência, no Brasil no ano de 2013.

Gráfico 2 – Mortes por choque elétrico separadas por faixa etária no ano de 2013.

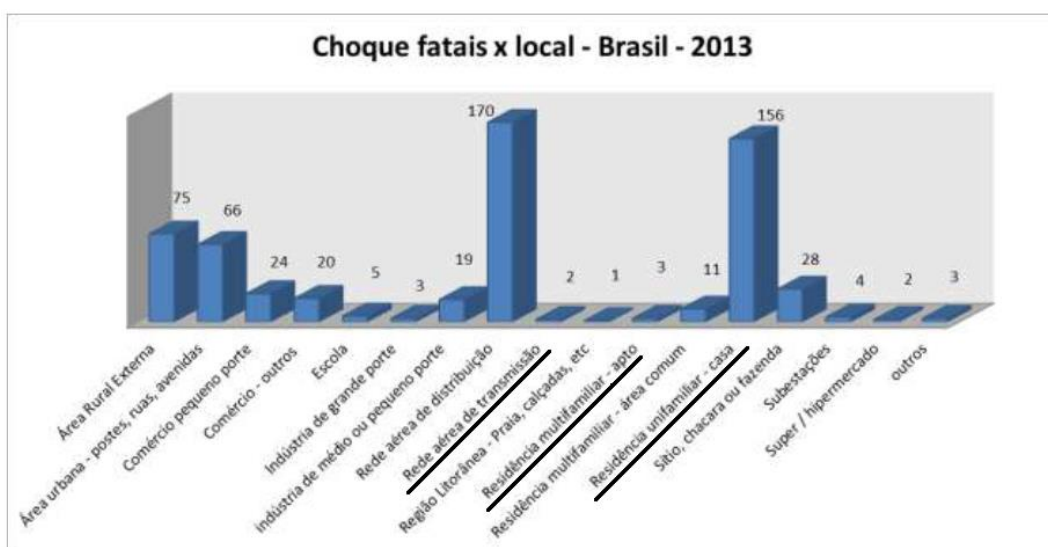


Fonte: Abracopel

É possível observar que no ano de 2013 53% dos acidentes aconteceram com pessoas na faixa de 21 a 40 anos. Este é um dado interessante pois mostra que mesmo pessoas que já possuem idade para ter conhecimento perigos envolvidos no uso ou trabalho com energia elétrica acabam por vir a óbito em virtude de acidentes desta natureza. Em paralelo, verifica-se que 8% das

ocorrências foram com crianças de até 10 anos e 12% das ocorrências foram com pessoas de mais de 50 anos, o que prova que todas as faixas etárias estão expostas aos riscos e que as medidas de proteção e controle, assim como as políticas de conscientização, devem abranger todas as faixas etárias.

Gráfico 3 – Choques fatais x local de ocorrência no Brasil no ano de 2013.



Fonte: Abracopel

Observa-se que, para o ano de 2013, a maioria dos acidentes ocorreram primeiramente em rede aérea de distribuição, com 170 casos, e em segundo lugar na “Residência Unifamiliar – Casa”, com 156 ocorrências. Pode-se perceber que houve um número bem menor de ocorrências em apartamentos, onde ocorreram três choques fatais em 2013. Tal fato ocorre principalmente pois os apartamentos via de regra são projetados por profissionais técnicos responsáveis e as obras são executadas e fiscalizadas de forma que estejam de acordo com as normas aplicáveis ao passo que para a construção de casas o cenário pode mudar pois, em especial para áreas mais carentes, muitas moradias são feitas sem projeto e estando portanto em desacordo com a ABNT NBR 5410, não sendo raro encontrar mesmo para construções novas residências nas quais não foram instalados dispositivos de proteção contra choques elétricos e o aterramento necessário.

Estudar a eletricidade e seus riscos se faz extremamente necessário, pois sabendo das formas como os perigos se manifestam é possível tomar ações preventivas e implantar barreiras para a mitigação do risco ou a redução dos seus efeitos. Isso torna a convivência do homem com a energia elétrica a mais harmoniosa possível, colaborando assim para uma drástica redução do

número de acidentes envolvendo eletricidade, seja em ambientes residenciais, comerciais ou industriais.

É necessário que o termo “acidente” passe a contabilizar apenas eventos imprevisíveis e inevitáveis que ocorreram por uma fatalidade, em um cenário no qual o usuário da instalação não poderia ter qualquer tipo de controle de forma a evitar a ocorrência. O que se vê hoje é que grande parte dos eventos não são acidentes, mas sim resultados da falta de conscientização, orientação e cumprimento das normas aplicáveis. Caso um número cada vez maior de pessoas passe a tomar conhecimento dos perigos inerentes ao uso da energia elétrica é possível que essas passem a agir com segurança, saibam identificar antecipadamente os riscos e com isso possam adotar as medidas mitigadoras dos mesmos. Conforme Farias e Sena (2016), muitas pessoas ainda possuem a ideia de que choques ocorrem sempre por causa de contato com a “tomada” ou por causa de um aparelho velho e que ao colocar uma sandália de borracha não será sentido nenhum choque elétrico.

## **2.2 Estudo sobre o choque elétrico**

O choque elétrico é um conjunto de perturbações de natureza e efeitos diversos, que se manifesta no organismo humano ou animal quando ocorre a passagem de uma corrente elétrica através do corpo. Como consequência, da passagem da corrente, pode ocorrer desde uma ligeira contração superficial até uma violenta contração muscular, a qual pode provocar a morte (COTRIM, 2003). A passagem da corrente elétrica se dá no momento em que o corpo é submetido a uma tensão elétrica, sendo que a intensidade da corrente vai depender da impedância do corpo e esta, por sua vez, depende de vários fatores.

Toda atividade biológica é originada de impulsos de corrente elétrica. Se a corrente fisiológica for acrescentada uma outra corrente externa ocorrerão no organismo alterações das funções vitais normais. A depender da intensidade da corrente elétrica à qual o corpo é submetido pode ocorrer lesão muscular ou até mesmo a paralisação do coração e do sistema respiratório. Vários fatores, como área de contato do corpo, pressão de contato, diferença de potencial, umidade da superfície de contato, duração do contato e até mesmo fatores psicológicos definem a intensidade da corrente que irá circular pelo corpo e conseqüentemente a gravidade do choque elétrico. (MAIA JÚNIOR; SILVA, 2004).

Outros fatores determinantes para a gravidade do choque elétrico são o percurso e o tempo de duração do choque. As correntes mais perigosas são as que atravessam o corpo de mão a mão, da mão esquerda para os pés ou da cabeça para os pés pois em todos esses casos o coração é diretamente afetado. Os efeitos podem ser agravados, complicando ainda mais os efeitos do choque, caso a superfície de contato do corpo esteja úmida ou suada e os pés molhados.

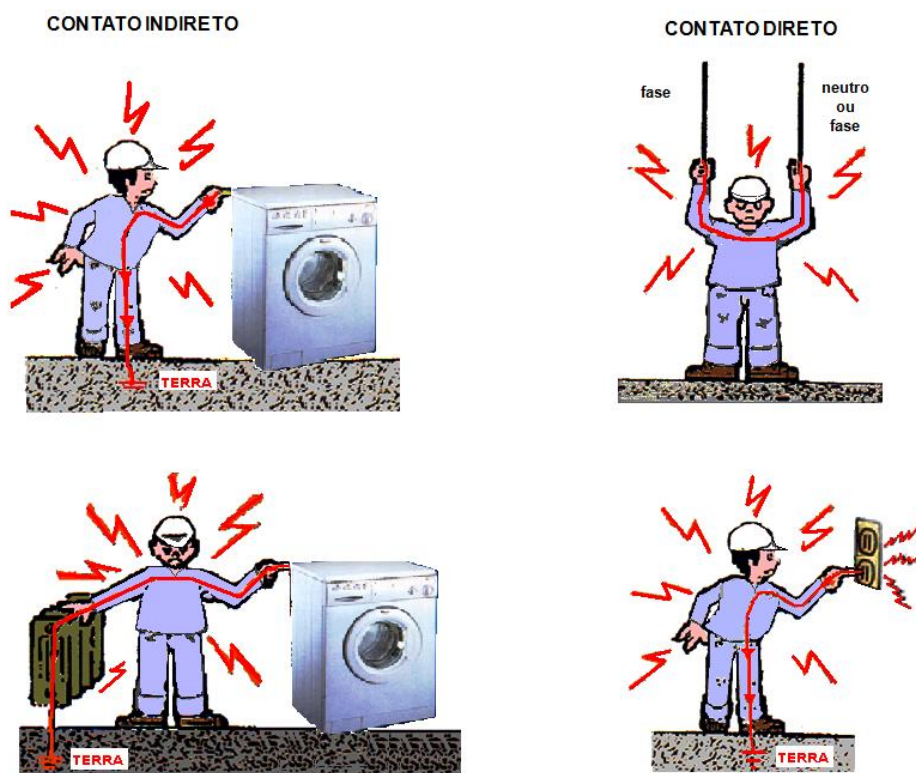
### **2.2.1 Tipos de choque elétrico**

O choque elétrico pode ocorrer de duas formas: por meio do contato direto ou pelo contato indireto. O contato direto ocorre quando a pessoa toca diretamente em condutores energizados de uma instalação elétrica devido a isolação comprometida, remoção indevida de partes isolantes ou então por atitude imprudente com uma parte elétrica normalmente energizada (CAVALIN, 2006). São comuns os casos em que ocorre o choque por contato direto quando os reparos em instalações elétricas de baixa tensão, em especial em ambientes residenciais ou comerciais, são realizados sem que se desligue o disjuntor. Assim, se assume o risco de ocorrer o choque por contato direto.

A simples troca de uma lâmpada, tarefa comumente executada por pessoas não treinadas para serviços em eletricidade, pode gerar um choque por contato direto. Tal fato pode provocar lesões ou até mesmo a morte, seja pelas consequências diretas do choque seja por causa de uma possível queda decorrente do desequilíbrio da vítima, ao estar usando uma escada e sofrer um choque elétrico.

O contato indireto, por sua vez, ocorre quando o usuário da instalação entra em contato com uma parte metálica que fica desenergizada em condições normais de operação porém, devido a uma falha de isolamento ou algum defeito interno, ficou energizada antes do contato. Nesse caso, o usuário não sabe do risco e é verdadeiramente surpreendido pelo choque elétrico (CAVALIN, 2006). Tais situações podem acontecer quando há uma falha de isolação interna em geladeiras, máquinas de lavar, gabinetes de computadores, fornos de micro-ondas, fogões, entre outros. A Figura 1 exemplifica contatos diretos e indiretos.

Figura 1 – Exemplos de contato direto e contato indireto.



Fonte: (FARIAS; SENA, 2016)

### 2.3 Efeitos da Corrente Elétrica no Corpo Humano

Conforme Maia Júnior e Silva (2004), ao passar pelo corpo, a corrente elétrica danifica os tecidos e lesa os tecidos nervosos e cerebrais, provoca coágulos nos vasos sanguíneos e pode paralisar a respiração e os músculos cardíacos. Ela pode matar instantaneamente ou pode colocar a pessoa inconsciente, fazendo os músculos se contraírem a 60 ciclos por segundo (frequência da corrente alternada). A sensibilidade do organismo à passagem de corrente elétrica inicia em um ponto conhecido como Limiar de Sensação e que ocorre com uma intensidade de corrente de 1mA para corrente alternada e 5mA para corrente contínua. No Quadro 1 são apresentados os efeitos do choque elétrico em pessoas adultas, jovens e saudáveis.

Quadro 1 – Efeitos do choque elétrico.

Tabela 2 – Efeitos do choque elétrico em pessoas adultas, jovens e sadias.				
Intensidade ( mA )	Perturbações prováveis	Estado após o choque	Salvamento	Resultado Final
1	Nenhuma	Normal	-----	Normal
1 – 9	Sensação cada vez mais desagradável à medida que a intensidade aumenta. Contrações musculares.	Normal	Desnecessário	Normal
9 – 20	Sensação dolorosa, contrações violentas, perturbações circulatórias,	Morte aparente	Respiração artificial	Restabelecimento
20 – 100	Sensação insuportável, contrações violentas, asfixia, perturbações circulatórias graves inclusive fibrilação ventricular,	Morte aparente	Respiração artificial	Restabelecimento ou morte
>100	Asfixia imediata, fibrilação ventricular.	Morte aparente	Muito difícil	Morte
Vários Ampéres	Asfixia imediata, queimaduras graves,	Morte aparente ou imediata	Praticamente impossível	Morte

Fonte: NISKIER, 2008

### 2.3.1 Tetanização

Chama-se de tetanização o fenômeno que ocorre quando há uma paralisia do músculo durante a ocorrência de um choque elétrico. O processo ocorre quando o músculo contrai ao receber um impulso elétrico e antes que ele possa relaxar e voltar ao seu estado original outro impulso elétrico faz com que haja uma nova contração muscular. Durante a ocorrência da tetanização o músculo tenta voltar ao seu estado de repouso, mas não consegue. De nada vale neste momento a consciência do indivíduo e a sua vontade de se livrar do contato com o elemento energizado e por isso mesmo, para pequenos valores de corrente, há um grande risco, já que a impedância do corpo diminui com a duração do contato (MAIA JÚNIOR; SILVA, 2004).

### **2.3.2 Parada Respiratória**

Nos casos em que o choque elétrico é de longa duração é possível que ocorram sinais de asfixia devido à tetanização do diafragma (músculo responsável pelos movimentos de contração e relaxamento que promovem o enchimento de ar dos pulmões) ou à paralisia dos centros nervosos que são responsáveis por comandar a função respiratória.

Caso o indivíduo permaneça nesta condição, ocorrerá a perda de consciência e é possível que morra sufocado. Portanto, é de fundamental importância um rápido socorro às vítimas através da respiração artificial durante o tempo necessário para o restabelecimento das condições normais da vítima. Para corrente alternada de 50/60 Hz há uma diferença no que diz respeito ao limiar de corrente onde é possível soltar um eletrodo quando os músculos estão completamente estimulados pela corrente. Em média o “limite de largar” é de 10mA para mulheres e 16mA para homens (MAIA JÚNIOR; SILVA, 2004).

### **2.3.3 Queimadura**

Quando há o contato do corpo humano com um elemento energizado sob determinada tensão surge uma corrente elétrica que é diretamente proporcional à tensão e inversamente proporcional à resistência do corpo humano, conforme determina a Lei de Ohm. A partir do momento que o corpo humano é visto como uma resistência, a passagem de corrente elétrica gera calor por Efeito Joule, podendo produzir queimaduras em todos os graus. Nos pontos de contato direto (entrada e saída da corrente) a situação é mais crítica pois as queimaduras produzidas pela corrente são profundas e de cura mais difícil (MAIA JÚNIOR; SILVA, 2004).

### **2.3.4 Fibrilação Ventricular**

A contração muscular que faz o músculo cardíaco funcionar é produzida por impulsos elétricos. Quando ocorre um choque elétrico há uma corrente elétrica de ordem bem maior que se sobrepõe à corrente biológica fazendo com que as fibras do coração passem a receber sinais elétricos excessivos e irregulares. Isso acarreta um comportamento caótico das fibras ventriculares, as quais passam a se contrair de maneira desordenada, culminando em movimentos irregulares e não coordenados dos ventrículos do coração, que a partir de então, deixa de exercer a sua função. Esse processo é chamado de fibrilação ventricular, sendo esta a grande causa de morte em acidentes com eletricidade, pois a pressão arterial cai, tendendo a

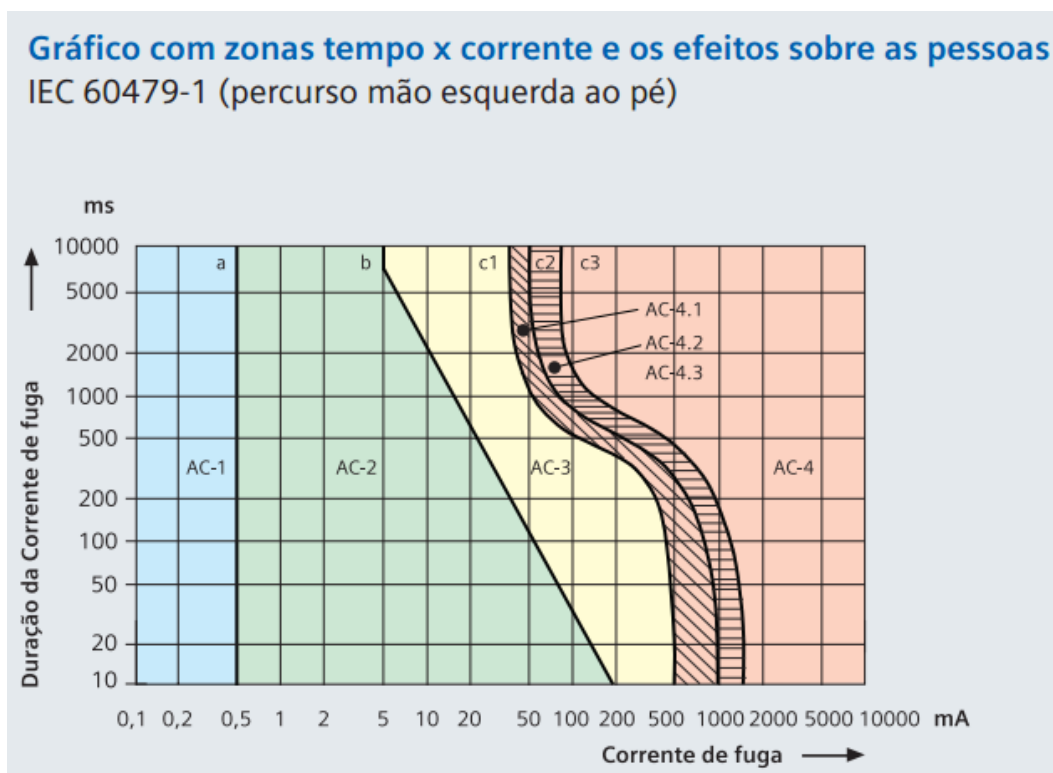


zero, e nessa condição não há irrigação sanguínea. Tal fato faz com que a pessoa desmaie e fique em estado de morte aparente (MAIA JÚNIOR; SILVA, 2004).

Para frequências industriais (50 - 60Hz), desde que a intensidade não exceda o valor de 9mA, o choque não produz consequências graves. Quando a corrente ultrapassa 9mA, as contrações musculares tornam-se mais intensas e podem fazer com que ocorra a tetanização. Se a região torácica for atingida poderão ocorrer asfixia e morte aparente, caso em que a vítima morre se não for socorrida a tempo. Correntes de valor superior a 20mA são muito perigosas, mesmo quando atuam durante curto espaço de tempo. As correntes da ordem de 100mA, quando atingem a zona do coração, produzem fibrilação ventricular em apenas 2 ou 3 segundos, e a morte é praticamente certa. Correntes de alguns ampères, além de asfixia pela paralisação do sistema respiratório, produzem queimaduras extremamente graves, com necrose dos tecidos. Nesta faixa de corrente não é possível o salvamento, e a morte é instantânea (MAIA JÚNIOR; SILVA, 2004).

De um modo geral, pode-se citar outros efeitos como: eletrólise no sangue, problemas renais, prolapso em órgãos ou músculos, perda da coordenação motora, perda da sensibilidade, danos à visão e ao cérebro e perturbação no sistema nervoso. O Gráfico 4 apresenta os efeitos da corrente elétrica no corpo humano, relacionando a intensidade da corrente com o tempo de duração da mesma conforme a IEC 60479-1 (MAIA JÚNIOR; SILVA, 2004).

Gráfico 4 – Zonas de tempo x corrente e os efeitos sobre as pessoas.



Zonas	Límites	Efeitos Fisiológicos
AC-1	Até 0,5 mA - Curva a	Percepção possível, mas geralmente não causa reação.
AC-2	0,5 mA até curva b	Provável percepção e contrações musculares involuntárias, porém sem causar efeitos fisiológicos.
AC-3	A partir da curva b para cima	Fortes contrações musculares involuntárias, dificuldade respiratória e disfunções cardíacas reversíveis. Podem ocorrer imobilizações e os efeitos aumentam com o crescimento da corrente elétrica, normalmente os efeitos prejudiciais podem ser revertidos.
AC-4	Acima da curva c1	Efeitos patológicos graves podem ocorrer inclusive paradas cardíacas, paradas respiratórias e queimaduras ou outros danos nas células. A probabilidade de fibrilação ventricular aumenta com a intensidade da corrente e do tempo.
	c1-c2	AC-4.1 Probabilidade de fibrilação ventricular aumentada até aproximadamente 5%
	c2-c3	AC-4.2 Probabilidade de fibrilação ventricular de aproximadamente 50%
	Além da curva c3	AC-4.3 Probabilidade de fibrilação ventricular acima de 50%

Fonte: Siemens, 2016



### **3 PROTEÇÃO PARA GARANTIR A SEGURANÇA CONTRA CHOQUES ELÉTRICOS**

Medidas adequadas de segurança e proteção devem ser adotadas em qualquer instalação elétrica, caso contrário, são grandes os riscos de eletroplessão. A ABNT NBR 5410 estabelece três tipos de proteção contra choques elétricos: proteção básica, proteção supletiva e proteção adicional. São abordadas nesse capítulo as proteções básica e supletiva.

O princípio que fundamenta as medidas de proteção contra choques especificados na ABNT NBR 5410 pode ser assim resumido:

- partes vivas perigosas não devem ser acessíveis;
- massas ou partes condutivas acessíveis não devem oferecer perigo, seja em condições normais, seja, em particular, em caso de alguma falha que as tornem acidentalmente vivas.

#### **3.1 Proteção básica**

Conforme a ABNT NBR 5410, a proteção básica trata-se de um meio destinado a impedir contato com partes vivas perigosas em condições normais. Dentre os métodos de proteção básica, tem-se: proteção por isolamento das partes vivas, proteção por meio de barreiras ou invólucros, proteção parcial por meio de obstáculos e proteção parcial por colocação fora de alcance.

##### **3.1.1 Proteção por Isolamento das Partes Vivas**

Este tipo de proteção é destinado a impedir todo contato com partes vivas da instalação elétrica. As partes vivas devem ser completamente recobertas por uma isolamento cuja remoção só deve ser possível mediante a destruição da mesma. Um exemplo clássico desse tipo de proteção ocorre quando se passa fita isolante sobre uma emenda de cabos de forma a isolar a parte viva de um possível contato acidental. A própria isolamento presente em fios e cabos se enquadra nesse tipo de proteção. O material vem de fábrica todo revestido (protegido) e a remoção da proteção deve se dar de forma voluntária, com a remoção da parte isolante para que sejam feitas conexões, emendas, etc.

### **3.1.2 Proteção por Meio de Barreiras ou Invólucros**

As barreiras ou invólucros servem para impedir todo contato com as partes vivas da instalação elétrica. Um exemplo é o uso das barreiras dentro do quadro de disjuntores, de forma que apenas a manopla dos disjuntores fique acessível ao usuário, de forma que ele não fique exposto ao barramento interno do quadro de disjuntores, quando necessita fazer uma manobra de desligar ou religar algum circuito. Outro exemplo ocorre quando é instalado um interruptor ou tomada, onde existe a parte central do elemento, que cumpre a função proposta. Entretanto, há em seu entorno, uma moldura plástica, a qual evita que o usuário entre em contato com a parte viva (energizada) que está na parte mais central, ou seja, os contatos de união da fiação com os interruptores ou tomadas. Um outro exemplo pode ser verificado em linhas de transmissão de energia elétrica, quando ao invés de serem instaladas em postes, utilizam dutos subterrâneos.

### **3.1.3 Proteção Parcial por meio de Obstáculos**

Os obstáculos têm por função impedir os contatos acidentais com partes vivas. Entretanto, não são eficazes contra os contatos voluntários, vistos que estes ocorrem por uma tentativa deliberada de contorno do obstáculo. Um exemplo clássico de proteção por meio de obstáculos é quando uma área que contém elementos energizados é cercada por meio de muros, paredes, grades ou cercas (subestações elétricas por exemplo). A presença dos obstáculos impede que uma pessoa inadvertida, entre em contato acidentalmente com uma parte energizada da instalação. Porém, caso uma pessoa ou animal contorne essa proteção (salte o muro, arrombe a cerca, etc.), ela de nada servirá para evitar um contato com alguma parte energizada.

### **3.1.4 Proteção Parcial por Colocação fora de Alcance**

A colocação fora de alcance é somente destinada a impedir os contatos acidentais com as partes vivas. Um exemplo são as linhas transmissão e distribuição de energia elétrica, onde se tem conectores e cabos sem isolação, os quais não representam risco ao usuário em relação ao contato acidental, pois a presença das partes vivas está fora de alcance, ou seja, em local alto. Outro exemplo é a instalação de cercas elétricas sobre muros altos. Infelizmente quando apenas esse tipo de proteção está presente acidentes podem acontecer com pessoas inadvertidas. Por exemplo, quando uma criança pula um muro, ou quando se solta pipa próximo à rede elétrica de alta tensão e acidentalmente a linha da pipa pode vir a encostar no condutor energizado, provocando um choque elétrico a criança muitas vezes fatal.

Acidentes com linhas de transmissão energizadas podem ocorrer também quando usuários, mesmo cientes dos riscos, resolvem fazer ligações clandestinas na rede elétrica. Fato que além de crime, representa risco não só no momento da instalação como também às pessoas que passam a usar a instalação, visto que esta é executada sem nenhum critério técnico, dimensionamento ou instalação de dispositivos de proteção.

### **3.2 Proteção Supletiva**

Conforme a ABNT NBR 5410, trata-se de um meio destinado a suprir a proteção contra choques elétricos quando massas ou partes condutivas acessíveis tornam-se acidentalmente vivas. A proteção supletiva deve ser assegurada, conjuntamente, por meio da equipotencialização e pelo seccionamento automático da alimentação. Como exemplos da proteção supletiva tem-se:

- equipotencialização e seccionamento automático da alimentação;
- isolamento suplementar;
- separação elétrica.

#### **3.2.1 Proteção Supletiva por Dispositivos DR de alta Sensibilidade para seccionamento automático da alimentação.**

Devido ao elevado número de acidentes originados no sistema elétrico foram desenvolvidos novos métodos e dispositivos que permitem o uso seguro e adequado da eletricidade. Com isso, pode-se reduzir o risco às pessoas, além de perdas de energia e danos às instalações elétricas. A queima de equipamentos e incêndios é muitas vezes causada por correntes de fuga à terra em instalações mal executadas, subdimensionadas, com má conservação ou devido ao envelhecimento.

As correntes de fuga provocam riscos às pessoas, aumento do consumo de energia, aquecimento indevido e deterioração da isolamento, o que pode até ocasionar incêndios. Isso pode ser evitado pelo uso de um Interruptor DR, Módulo DR ou Disjuntor DR. Os dispositivos DR, cujos detalhes estão mostrados no ANEXO A, protegem contra os efeitos nocivos das correntes de fuga à terra garantindo uma proteção eficaz tanto à vida dos usuários quanto aos equipamentos.

A relevância dessa proteção faz com que a Norma Brasileira de Instalações Elétricas – ABNT NBR 5410, defina claramente a proteção a pessoas contra os perigos dos choques elétricos por

meio do uso do dispositivo DR de alta sensibilidade, ou seja, aqueles cuja corrente nominal de atuação é menor ou igual a 30mA. (SIEMENS, 2016).

Conforme a ABNT NBR 5410, no item 3.2.5, o dispositivo de proteção a corrente diferencial-residual (formas abreviadas: dispositivo a corrente diferencial-residual, dispositivo diferencial, dispositivo DR) apresenta seccionamento mecânico ou associação de dispositivos destinada a provocar a abertura de contatos quando a corrente diferencial residual atinge um valor dado em condições especificadas.

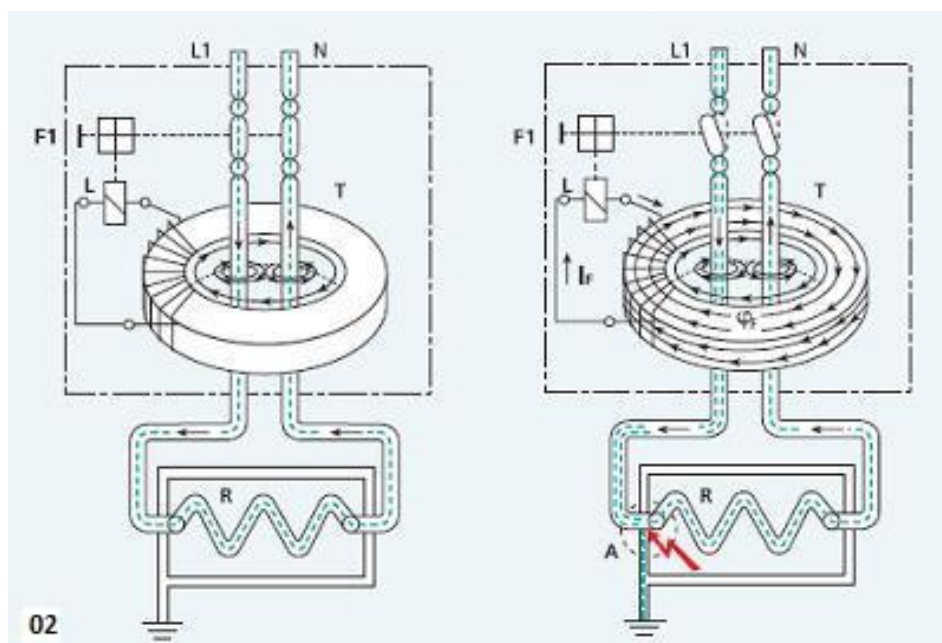
O dispositivo DR é fabricado com diversas correntes nominais de atuação. Os dispositivos DR de corrente nominal residual até 30mA, são destinados fundamentalmente à proteção de pessoas. Os dispositivos de correntes nominais residuais de 100mA, 300mA, 500mA, 1000mA ou superiores, são destinados apenas a proteção patrimonial contra os efeitos causados pelas correntes de fuga à terra, tais como consumo excessivo de energia elétrica ou incêndios. (SIEMENS).

### **3.2.1.1 Conceito de funcionamento do dispositivo DR**

Conforme a Figura 2, onde é apresentado o diagrama representativo do conceito de funcionamento do dispositivo DR, em condições normais de operação a somatória vetorial das correntes que passam pelos condutores ativos no núcleo toroidal é praticamente igual à zero. Quando houver uma corrente de fuga à terra a somatória das correntes que passam pelo núcleo toroidal será diferente de zero (Lei Circuital de Ampère), o que irá induzir neste núcleo um campo magnético em função da corrente residual alternada. Este campo eletromagnético variável irá provocar, por sua vez, uma tensão induzida nas espiras do núcleo toroidal (Lei de Faraday-Lenz da Indução), sendo que esta tensão irá provocar o disparo do relé que irá prover a abertura dos contatos, interrompendo a alimentação na carga.

Para que o sistema atue é necessário que a corrente de fuga possua um valor mínimo capaz de magnetizar o núcleo e provocar a tensão necessária para a atuação do dispositivo. Conforme estabelece a norma ABNT NBR NM 61008 o dispositivo DR deve operar entre 50% e 100% da corrente nominal residual (SIEMENS, 2016).

Figura 2 – Diagrama representativo do conceito de funcionamento do dispositivo DR.



Fonte: Siemens, 2016

F1 – Dispositivo DR de proteção contra a correntes de fuga à terra

T – Transformador diferencial toroidal

L – Disparador eletromagnético

R – Carga

A – Fuga à terra por falha da isolação

$jF$  – Fluxo magnético da corrente residual

$IF$  – Corrente secundária residual induzida

### 3.2.1.2 Tipos de dispositivo DR quanto aos tipos de corrente detectados

Os dispositivos DR são categorizados em três tipos, a saber: Tipo AC, Tipo A e Tipo B (SIEMENS, 2016).

- Tipo AC: detecta correntes residuais alternadas e são normalmente utilizados em instalações elétricas residenciais, comerciais e prediais, como também em instalações elétricas industriais de características similares;
- Tipo A: detecta correntes residuais alternadas e contínuas pulsantes. Este tipo de dispositivo é aplicável em circuitos que contenham recursos eletrônicos que alterem a forma de onda senoidal;



Tipo B: detecta correntes residuais alternadas, contínuas pulsantes e contínuas puras. Este tipo de dispositivo é aplicável em circuitos de corrente alternada normalmente trifásicos que possuam, em sua forma de onda, partes senoidais, meia-onda ou ainda formas de ondas de corrente contínua, geradas por cargas como: equipamentos médicos, entre outros.

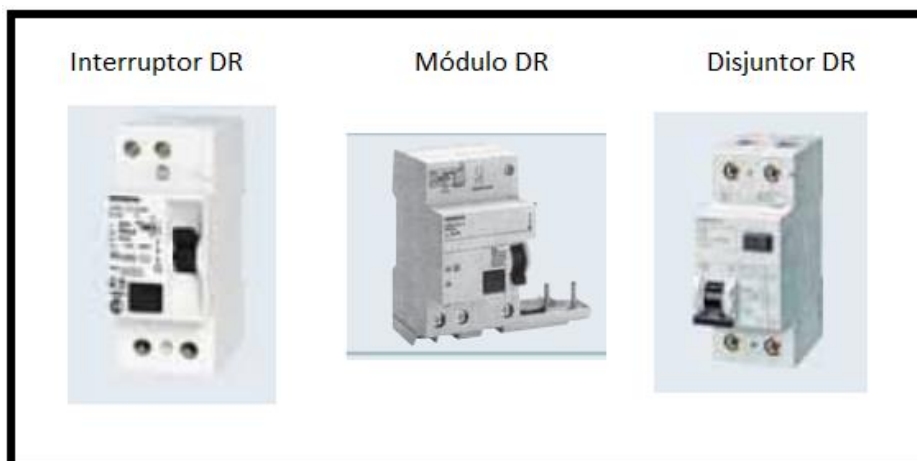
### 3.2.1.3 Tipos de dispositivo DR quanto à função

Dispositivo DR ou Interruptor DR: dispositivo de seccionamento mecânico destinado a provocar a abertura dos próprios contatos quando ocorrer uma corrente de fuga à terra. O circuito protegido por este dispositivo necessita ainda de uma proteção contra sobrecarga e curto circuito que pode ser realizada por disjuntor ou fusível, devidamente coordenado com o dispositivo DR (SIEMENS, 2016).

Disjuntor DR: dispositivo de seccionamento mecânico destinado a provocar a abertura dos próprios contatos quando ocorrer uma sobrecarga, curto circuito ou corrente de fuga à terra. Recomendado nos casos onde existe a limitação de espaço (SIEMENS, 2016).

Módulos DR: dispositivo destinado a ser associado a um disjuntor termomagnético adicionando a este a proteção diferencial residual, ou seja, esta associação permite a atuação do disjuntor quando ocorrer uma sobrecarga, curto circuito ou corrente de fuga à terra. Recomendado para instalações onde a corrente de curto circuito for elevada. A Figura 3 apresenta alguns exemplos de dispositivos DR (SIEMENS, 2016).

Figura 3 – Exemplos de dispositivos DR.



Fonte: Adaptado de Siemens

#### **4 PROJETO DO DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO CONTRA CHOQUES ELÉTRICOS E SOBRECARGAS.**

Mesmo com a existência de técnicas, normas e dispositivos que objetivam a proteção da vida humana e a integridade das instalações e equipamentos, muitas ocorrências não desejáveis envolvendo a eletricidade continuam acontecendo. Tais eventos ocorrem em diferentes locais e podem envolver pessoas de diversas faixas etárias e com distintos graus de instrução. A principal forma de se evitar a ocorrência de um choque elétrico, como já descrito, é utilizando um dispositivo DR juntamente com um aterramento adequado. Tais condições, não estão presentes na maioria das instalações elétricas do Brasil, principalmente em construções mais antigas (anteriores a 1997, ano a partir do qual o uso do DR passou a ser obrigatório por norma), bem como em construções de pessoas mais carentes.

De acordo com o item 5.1.3.2.2 da norma ABNT NBR 5410, o dispositivo DR é obrigatório nos seguintes casos:

- em circuitos que sirvam a pontos de utilização situados em locais que contenham chuveiro ou banheira;
- em circuitos que alimentam tomadas situadas em áreas externas à edificação;
- em circuitos que alimentam tomadas situadas em áreas internas que possam vir a alimentar equipamentos na área externa;
- em circuitos que sirvam a pontos de utilização situados em cozinhas, copas, lavanderias, áreas de serviço, garagens e demais dependências internas normalmente molhadas ou sujeitas a lavagens.

Pode-se então inferir que a norma permite, até mesmo para uma instalação realizada a partir de 1997, que existam uma ou mais tomadas em uma sala de estar ou em um quarto sem que necessariamente esta tomada esteja protegida por um dispositivo DR. Fato esse que torna tais pontos de alimentação inseguros para crianças, animais ou pessoas inadvertidas. Caso o dispositivo DR esteja instalado logo após o disjuntor geral no quadro de disjuntores de uma residência, todos os circuitos após este dispositivo estarão protegidos contra fugas de corrente. Porém, em caso de sua atuação, toda a instalação ficará desenergizada, o que pode causar transtornos para os usuários.

Mesmo no caso da instalação de diversos dispositivos DR para proteção dos circuitos da instalação elétrica, invariavelmente algum circuito vai estar desprotegido pois não se enquadraria nas condições exigidas pela norma. Assim, caso ocorra contato direto através em alguma tomada pertencente ao circuito sem o dispositivo DR, ou em algum aparelho ligado a uma tomada de tal circuito, o usuário estará desprotegido contra um choque elétrico. Nesse caso a instalação elétrica está atendendo à norma, mas mesmo assim ocorre uma condição de risco de choque elétrico.

No gráfico 4 mostrou-se que os efeitos fisiológicos da corrente elétrica dependem não só da intensidade da corrente como também do tempo de duração do choque elétrico, ou seja, do tempo de exposição do usuário à corrente elétrica. Desta forma, uma corrente de 10mA, suficiente para provocar a tetanização e impedir que o usuário consiga se soltar da parte viva, se aplicada por mais de 2 segundos passa de uma condição de “não perigosa” para uma condição “um pouco mais perigosa”. Tal intensidade de corrente no tempo considerado pode provocar fortes contrações musculares involuntárias, dificuldade respiratória e disfunções cardíacas reversíveis. Sem um dispositivo de interrupção automática da alimentação no caso de fuga de corrente, o usuário passa a depender unicamente de seus reflexos para se soltar da parte viva da instalação elétrica cessando o choque elétrico. Entretanto, nem sempre é possível, seja devido à tetanização ou as demais complicações decorrentes do choque elétrico.

Dentre os alguns dos possíveis cenários acidentais envolvendo eletricidade pode-se citar, a título de exemplo:

- uma criança enfia a mão sob a geladeira para pegar um brinquedo e ao encostar em um fio desencapado ou em um borne de conexão pode sofrer uma descarga elétrica;
- uma criança enfia um prego ou um grampo de cabelo em um dos pinos de uma tomada onde está conectado um fio energizado;
- uma criança ao engatinhar passa por cima de uma extensão onde um dos fios está com a isolação comprometida ou desencapado;
- um animal de estimação (cachorro, gato, etc.) mastiga a fiação de um aparelho (ventilador, televisão, fonte de alimentação de *notebook*, etc.) e sofre uma descarga elétrica quando os seus dentes rompem a isolação de um fio energizado;

- uma pessoa, ao usar uma máquina de lavar roupas, sujeita a falhas devido a vibração quando em funcionamento, leva um choque pois encosta na carcaça da máquina enquanto está com os pés descalços;
- uma pessoa vai abrir uma geladeira e ao encostar na parte metálica sofre um choque elétrico;
- uma pessoa ao utilizar um secador de cabelos ou chapinha com a isolação comprometida, muitas vezes com o corpo molhado, pode sofrer uma descarga elétrica, podendo ser fatal em alguns casos;
- uma pessoa está passando roupas e pode encostar em um fio que está com a isolação comprometida, devido a uma possível queda do ferro elétrico, ou mesmo por ele ter ficado sobre a fiação por algum tempo.

É muito difícil esgotar aqui todos os possíveis cenários acidentais. Mesmo assim, pode-se inferir que mesmo atendendo a ABNT NBR 5410, no caso do circuito da tomada que alimenta algum aparelho eletrônico ou eletrodoméstico não esteja protegido por um dispositivo DR, o usuário não estará protegido, e sofrerá um choque elétrico, podendo inclusive vir a óbito.

Em diversos casos, o usuário tem conhecimento que não possui a proteção por dispositivo DR instalado em casa, nem conta com um aterramento adequado, mas mesmo assim convive com este cenário. Situação comum quando o imóvel é alugado, ou quando o custo da adequação da instalação elétrica é significativo. Assim, prefere conviver com a exposição ao risco.

Mesmo para um usuário que tenha a instalação elétrica de sua residência de acordo com a norma, não há garantia de que em outros locais que ele frequenta ou que venha a frequentar as instalações elétricas esteja protegida adequadamente. Nesse caso o usuário não tem a garantia da segurança definida pela norma ABNT NBR 5410.

Mesmo com a presença do dispositivo DR, uma vez que este também pode ser sujeito a falhas, o usuário deverá estar sempre atento antes e durante o uso de um equipamento elétrico ou um eletrodoméstico. A atenção deve ser dada principalmente na verificação das condições de integridade (isolamento) dos cabos e nas condições dos *plugs*, tomadas e dos aparelhos em geral, interrompendo o uso e solicitando o reparo o quanto antes caso constate qualquer sinal de avaria.

Existe uma pequena parcela de pessoas cientes dos perigos mas que os desconsideram e mesmo visualizando uma condição de risco, como um cabo com isolamento comprometida ou até mesmo fios expostos, prosseguem com o uso do equipamento apenas tomando cuidado para não encostar no fio, aumentando assim o potencial de risco de choque elétrico por contato direto.

Para crianças que estão engatinhado, na fase de descobrir coisas novas, onde tudo desperta curiosidade, por não possuir a consciência dos perigos da eletricidade a ausência do dispositivo DR pode provocar uma fatalidade. Inclui-se também o caso de animais domésticos, que naturalmente correm risco quando as instalações elétricas apresentam condições inseguras.

O Quadro 2 resume as vantagens e desvantagens do uso do dispositivo DR (seja interruptor, disjuntor ou módulo DR):

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens do uso do dispositivo DR.

<b>Vantagens do uso do dispositivo DR</b>	<b>Desvantagens do uso do dispositivo DR</b>
Garantia de proteção contra fugas de corrente, atuando na prevenção contra incêndios.	Irà proteger somente o circuito onde foi instalado. A instalação é fixa e o custo de aquisição ainda é relativamente alto.
Garantia de atendimento à ABNT NBR 5410 para instalações construídas após 1997, resguardando o projetista e o dono do imóvel de sanções legais.	A atuação do dispositivo DR interrompe um circuito ou toda a alimentação elétrica de uma instalação, a depender do modo como a instalação foi feita.
Quando usado juntamente com um aterramento adequado evita choques por contato indireto com carcaças metálicas aterradas.	Caso a instalação seja antiga e possua correntes de fuga inerentes o circuito irá desarmar constantemente.

Fonte: Produção do próprio autor.

#### **4.1 Dispositivos portáteis**

O uso de dispositivos portáteis é prático já que sua instalação pode ser realizada pelo próprio usuário, não dependendo de terceiros, basta conectá-lo na tomada e ele já estará operacional. Para um dispositivo portátil com função de proteção contrachoque elétricos, essa praticidade pode se tornar um atrativo para pessoas que moram, trabalham, estudam ou se hospedam em

lugares onde não há um dispositivo DR instalado no quadro de distribuição. Podendo assim, garantir a sua segurança no caso de um contato direto acidental com algum equipamento energizado.

Já há disponível no mercado alguns dispositivos que seguem a mesma linha, ou seja, oferecem ao usuário uma função, seja de proteção de equipamentos ou temporização, onde basta que o usuário conecte o dispositivo na tomada e depois conecte no dispositivo o equipamento que deseje utilizar.

A empresa Clamper fabrica um dispositivo portátil com função de proteção contra surtos de tensão (mostrado na Figura 4). Tal dispositivo consegue prover, de forma similar a um DPS (Dispositivo de Proteção contra Surto), a proteção de equipamentos e eles conectados contra surtos elétricos, mesmo sem a presença do condutor específico de terra. Além disso, ele apresenta alta capacidade de dreno de corrente de surto, entre outras vantagens que podem ser verificadas no *site* do fabricante (<http://www.clamper.com.br>).

Figura 4 – Dispositivo “Clamper Energia 2”.



Fonte: Clamper

Os temporizadores são outro exemplo de dispositivos portáteis, e podem ser analógicos ou digitais. O temporizador digital (mostrado na Figura 5) pode ser utilizado em residências ou estabelecimentos comerciais com o propósito de aumentar a segurança contra roubo (quando usados como simuladores de presença) ou para economia de energia, seja quando usado para a eliminação do consumo de equipamentos em *stand-by* ou para desligar de forma automática equipamentos que o seu uso não se faz necessário.

O temporizador digital apresenta uma programação bem versátil, a qual pode ser realizada em função de cada dia da semana ou por grupos de dias.

Figura 5 – Temporizador Digital.



Fonte: Produção do próprio autor.

#### 4.2 Descrição geral do dispositivo implementado

Com o objetivo de reduzir o número de ocorrências de choque elétrico, letais ou não, provendo ao usuário uma proteção mais efetiva, foi projetado e implementado um dispositivo do tipo DR que apresenta diversos diferenciais em relação aos existentes no mercado. Esse dispositivo apresenta as seguintes partes e características:

- um conector de tomada macho, para ser ligado através de uma tomada à rede elétrica;
- um conector fêmea, para ser usado para a alimentação de cargas (eletrodomésticos, etc.);
- uma interface com o usuário composta por:
  - um *LED* na cor verde;
  - um *LED* na cor amarela;
  - um *LED* na cor vermelha;
  - um potenciômetro para ajuste do valor de atuação do circuito por sobrecorrente;
  - um botão de *reset* para reestabelecimento do funcionamento após uma atuação por fuga de corrente ou por sobre corrente na carga;

- um conector mini USB onde é feita a alimentação do protótipo por uma fonte independente ou pelo computador e através da qual é feita a programação da placa Arduino. Preferiu-se usar esse tipo de alimentação, em vez de uma fonte 5V embutida interna pois durante toda a fase de testes e melhoria do código de programação do microcontrolador seria necessário ter uma interface de programação de fácil acesso. Em uma versão comercial do produto esse conector USB será desnecessário pois a alimentação da placa Arduino Nano e demais componentes poderá ser proveniente de uma fonte 5V embutida.

Na parte interna o dispositivo apresenta uma placa com o microcontrolador Arduino Nano (mostrada na Figura 6). Conta também com um sensor de corrente diferencial baseado em um núcleo toroidal idêntico ao utilizado nos dispositivos DR (mostrado na Figura 7). Apresenta uma placa com o circuito integrado de efeito Hall ACS-712, da Allegro Microsystems (mostrada na Figura 8). Possui ainda uma placa com dois relés de 10A/250V acionados por um sinal de 5V (mostrada na Figura 9). As Figuras 10 e 11 apresentam respectivamente a construção interna e a construção externa do dispositivo, que foi montado em uma caixa plástica de 8,5 x 12cm.

Figura 6 – Placa do microcontrolador Arduino Nano.



Fonte: Arduino.cc

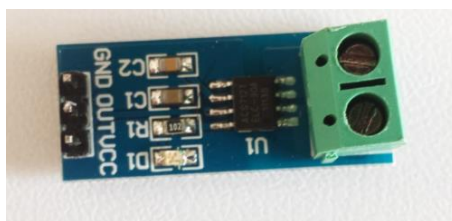
Figura 7 – Sensor de corrente de fuga.



Fonte: Produção do próprio autor.



Figura 8 – Placa contendo o CI de efeito Hall ACS-712 de 30A.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 9 – Placa de dois canais com os relés de 10A acionados por um sinal 5V.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 10 – Foto da parte interna do dispositivo.



Fonte: Produção do próprio autor.

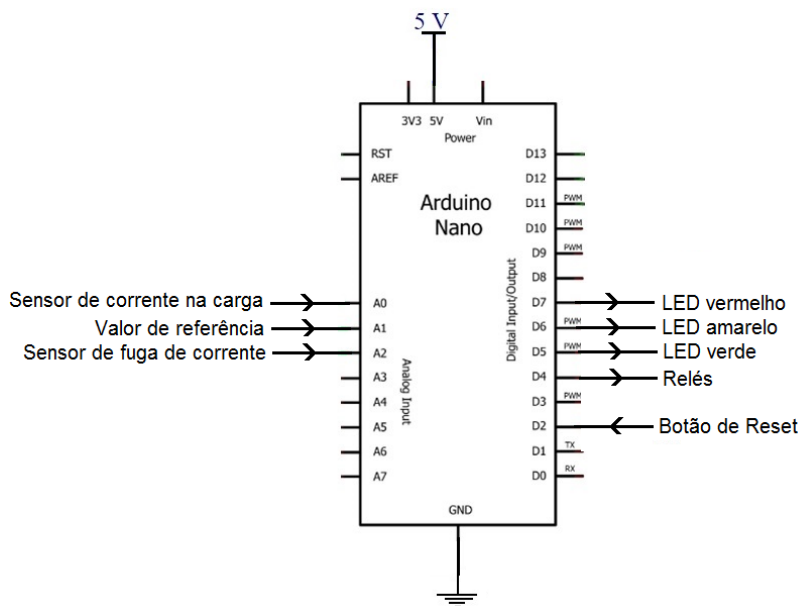
Figura 11 – Foto da parte externa do dispositivo.



Fonte: Produção do próprio autor.

Quando o circuito é ligado na tomada (e com a fonte de alimentação 5V conectada) a placa Arduino Nano é inicializada e faz com que seja colocado nível lógico baixo (0V) no pino de saída nº4, fazendo assim com que os relés liguem. A partir deste ponto e com base no programa elaborado em linguagem Arduino e que consta no APÊNDICE A, são monitoradas as entradas analógicas A0 (sensor de corrente na carga), A1 (referência para sobrecargas) e A2 (sensor de corrente de fuga), assim como é monitorada a entrada digital D2 (botão de *reset*). Em caso de ocorrência de alguma anomalia, haverá interrupção da alimentação na carga, através da escrita de nível lógico alto na saída digital de número 4 (relés). Caso haja atuação por sobrecarga o *LED* amarelo ficará piscando e caso haja atuação por fuga de corrente o *LED* vermelho ficará piscando. A atuação por sobrecarga ocorre de forma temporizada ao passo que a atuação por fuga de corrente ocorre de forma instantânea. Os *LEDs* verde, amarelo e vermelho são conectados respectivamente às saídas digitais D5, D6 e D7. A Figura 12 mostra o diagrama simplificado com as ligações do microcontrolador Arduino Nano.

Figura 12 – Diagrama simplificado do microcontrolador Arduino Nano.



Fonte: Produção do próprio autor.

### 4.3 Função de proteção contra choques elétricos para correntes menores do que 30mA.

A proteção contra choques elétricos ocorre da seguinte forma: a partir do momento em que o dispositivo for conectado à tomada o programa instalado no microcontrolador Arduino é inicializado e com isso a todo momento é realizada a leitura do sinal da entrada analógica A2, na qual está conectado o sensor de fuga de corrente. Em condições normais de funcionamento, esta entrada apresenta valor igual a zero, já que nenhuma fuga de corrente é detectada. Essa leitura ocorre em intervalos, mas com tempo suficientemente curto, em torno de 50ms, para garantir que haverá a proteção do usuário contra choques elétricos em tempo hábil.

Quando ocorre uma fuga de corrente é gerado um sinal alternado de tensão nos terminais do sensor de corrente de fuga. Assim, se realiza uma a leitura desse sinal analógico, convertendo-o para um sinal digital com resolução de 10 bits.

Variáveis digitais com resolução de 10 bits permitem números de zero a 1023 (1024 níveis lógicos possíveis). O valor de tensão zero corresponde ao nível lógico 0 e o valor de tensão de alimentação  $V_{CC}$ , no caso 5V, corresponde ao nível de tensão 1023. Como cada nível de tensão representa  $5/1024 = 4,88\text{mV}$ , o valor digital 1023 representa a faixa de 4,995 V a 5 V.

Após a leitura do sinal analógico referente à corrente de fuga, é realizado pelo programa a comparação desse sinal com um valor de referência (equiparado à sensibilidade do dispositivo DR, mas que no caso pode ser escolhido livremente). Caso o valor resultante da comparação seja maior do que o de referência a execução do programa passa a seguir outro fluxo, de forma que o *LED* vermelho passe a piscar e a condição normal de funcionamento só seja reestabelecida após o usuário pressionar o botão de reconhecimento de falhas “reset”. Nesta situação a alimentação na carga fica interrompida visto que os relés são desligados.

#### 4.4 Função de proteção contra sobrecargas

A proteção contra sobrecargas ocorre da seguinte forma: a partir do momento que o dispositivo for conectado à tomada o programa instalado no microcontrolador Arduino é inicializado e passa a atuar. Com isso, a todo instante é realizada a leitura do sinal da entrada analógica A0, onde está conectada a saída do sensor de efeito Hall ACS-712, responsável por gerar um sinal de tensão proporcional à corrente na carga. Quando não há carga conectada, a saída do sensor de corrente é igual a  $V_{CC}/2$ , ou seja, 2,5 V, o que corresponde a um valor discretizado igual a 511, valor este obtido quando se faz a conversão usando a função “*analogRead*” do microcontrolador Arduino. A partir do momento em que uma carga é conectada a tensão na entrada analógica A0, oscila com amplitude diretamente proporcional ao valor da corrente de carga, com um *offset* em torno de 2,5V (2500mV). Durante cada ciclo de execução do programa são feitas 150 leituras do valor da entrada analógica A0 e o valor máximo obtido, já discretizado devido ao uso da função “*analogRead*” é armazenado em uma variável chamada “máximo”.

Para o sensor utilizado a sensibilidade é de 66mV/A, ou seja, para uma carga conectada que apresente uma corrente eficaz de 10A (limite para comutação segura dos relés usados e limite de corrente para tomadas de uso geral), corresponde a uma corrente de pico igual a:

$$I_{m\acute{a}x} = I_{ef} \times \sqrt{2} = 10 \times 1,414 = 14,14 A \quad (1)$$

Uma corrente de 14,14A de valor de pico produz uma onda senoidal de tensão na saída do sensor de corrente com valor de pico igual a:

$$V_p = (66 \times 14,14) + 2500mV = 933mV + 2500mV = 3433 mV = 3,43V \quad (2)$$

Desta forma, para uma corrente eficaz na carga de 10A, a saída do sensor de efeito Hall apresenta um sinal de tensão senoidal de amplitude igual a 933mV sobreposto a uma componente contínua de 2500mV. Como o algoritmo armazena o valor máximo da tensão dentro do intervalo de 150 leituras a cada ciclo (*loop*) do programa, o valor discretizado resultante, correspondente a corrente eficaz de 10A, é igual a:

$$T = 3,43V \times (1024 \div 5V) = 702 \quad (3)$$

Descontando o *offset* de tensão da saída do sensor, de forma a se ter um valor discretizado que represente diretamente a corrente na carga, para a corrente eficaz de 10A, tem-se:

$$V = 702 - 511 = 191 \quad (4)$$

Como, para o maior valor de corrente na carga, se tem um sinal discretizado igual a 191, pode-se realizar uma interpolação para a faixa de valores possíveis de tensões a serem selecionadas através do potenciômetro. Com isso, pode-se realizar uma comparação e para verificar se o valor instantâneo da corrente na carga está acima ou abaixo do valor selecionado no potenciômetro. Dada a necessidade de igualar a faixa de seleção de valores de referência, obtidos na entrada analógica A2 (potenciômetro) de forma a se fazer uma comparação com o valor proveniente do sensor de corrente na carga, faz-se a divisão da variável lida na entrada A2 pela constante 6 e esse novo valor de referência passa a ser usado como nova base. A constante 6 foi escolhida pois como a leitura original varia de 0 a 1023, a leitura já dividida por 6 passará a variar de 0 a 170, o que cobre uma boa faixa possível de atuação.

Caso a carga conectada ao dispositivo apresente uma corrente muito baixa o programa não realiza nenhuma operação já que para baixas correntes há oscilações naturais na leitura do sensor de corrente. O valor discretizado assumido como “corrente baixa”, já subtraindo o *offset* foi de 6. Em tais condições, todos os *LEDs* indicativos da condição da corrente na carga permanecem desligados.

No caso do valor da corrente instantânea na carga seja menor do que o a referência definida pelo potenciômetro, o *LED* verde será ligado, sinalizando uma condição de normalidade da corrente na carga. Se a corrente na carga aumentar mas ficar dentro de uma faixa entre 5 e 20% acima da referência definida pelo potenciômetro, o *LED* verde será desligado e o *LED* amarelo é que será ligado, sinalizando ao usuário uma condição que exige atenção, pois se está tendo uma sobrecarga. Caso tal sobrecarga não seja interrompida dentro de um tempo de tolerância definido, ocorrerá o desligamento do circuito.

Quando a corrente ultrapassar a 20% do valor nominal o circuito será desligado em alguns segundos, de forma a proteger a carga. Após isso, o *LED* vermelho irá piscar, indicando a ocorrência de falha uma falha. Para o reestabelecimento da alimentação da carga se faz necessário que o usuário pressione o botão de *reset*. O tempo de atuação para interrupção da alimentação por sobrecarga varia em função da sobrecarga percentual.

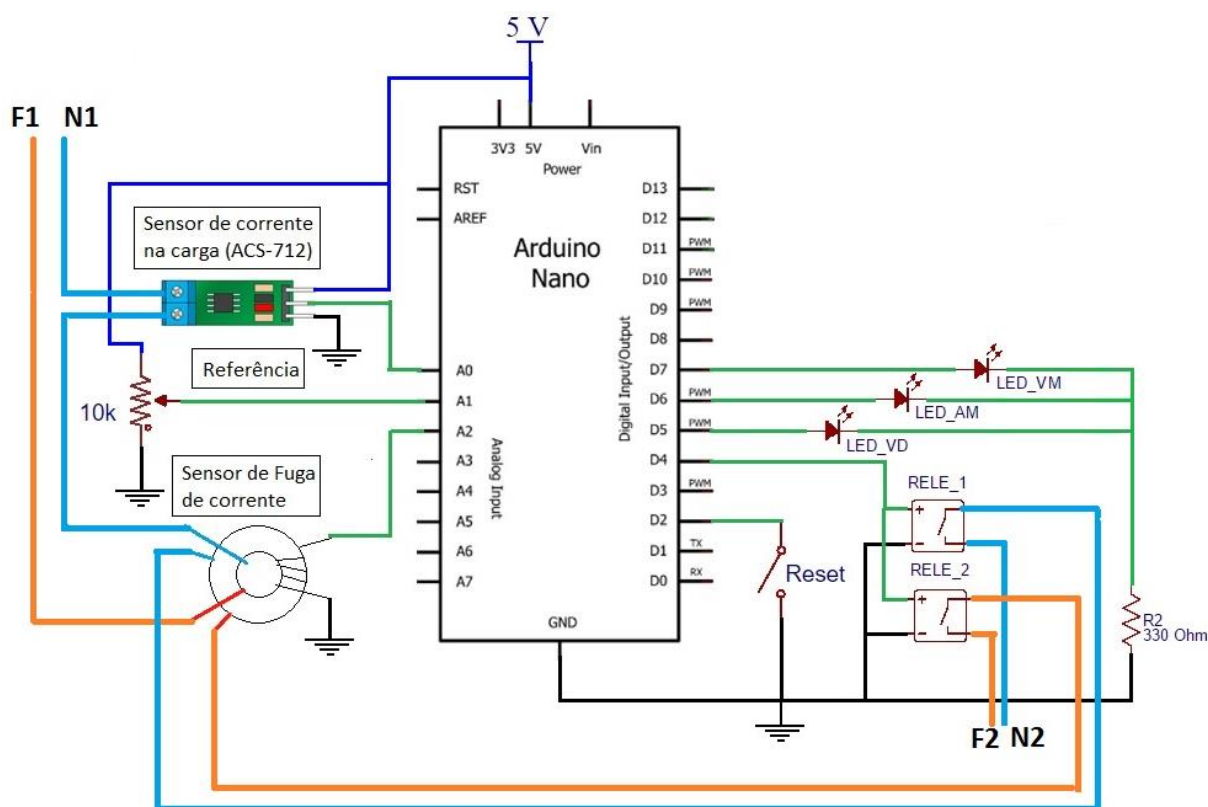


## 5 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

O dispositivo projetado é capaz de atuar interrompendo a alimentação na carga para correntes de fuga superiores a 10mA. Além disso, é capaz de proteger contra sobrecargas quando a corrente instantânea for superior à corrente nominal em valores a partir de 5%. Quanto maior for a sobrecarga menor será o tempo de atuação do dispositivo. A tensão de funcionamento pode ser 110/127 ou 220V na frequência da rede de 60Hz, e a corrente máxima para atuação por sobrecarga é de 10A eficazes.

A Figura 13 mostra o diagrama esquemático detalhado das ligações elétricas do protótipo implementado, incluindo as entradas e saídas do microcontrolador Arduino Nano.

Figura 13 – Diagrama completo do protótipo implementado.



Fonte: Produção do próprio autor.

### 5.1 Atuação da proteção por sobrecarga

Para a realização das medições e aquisição de formas de onda utilizou-se um osciloscópio digital de quatro canais isolados de 200Mhz modelo TPS2024B e uma ponteira de medição de



corrente da Tektronix modelo A622, mostrada na Figura 14, a qual apresenta em sua saída uma tensão que é função da corrente medida. O fator de conversão utilizado foi de 100mV/A. Na Figura 15 mostra-se os três resistores que foram utilizados para a realização do ensaio de atuação da proteção por sobrecarga. O diagrama de ligação dos resistores é mostrado na Figura 16.

Figura 14 – Ponteira de corrente utilizada para acoplamento direto no osciloscópio.



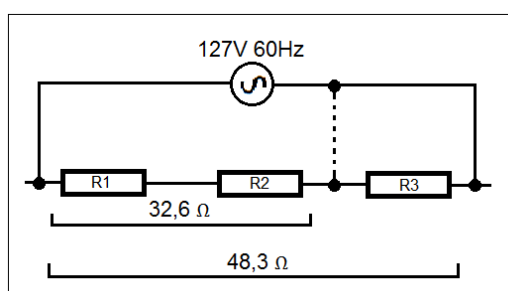
Fonte: Site “Pares Eletrônica”

Figura 15 – Resistores utilizados para o ensaio de sobrecarga.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 16 – Diagrama de ligação dos resistores



Fonte: Produção do próprio autor.

A tensão de alimentação dos resistores, mostrados na Figura 15, foi proveniente dos relés do dispositivo implementado. Os relés, estando com os contatos fechados, possibilitaram que os resistores (carga) fossem alimentados com a tensão da rede elétrica. Na condição de

alimentação dos três resistores ligados em série, o potenciômetro foi ajustado para que a condição de operação fosse normal. A corrente nominal de operação na carga com os três resistores ligados em série foi de 2,63A eficazes, condição que mantinha apenas o *LED* verde aceso.

Ao efetuar-se o “*by-pass*” de um dos resistores, no caso o resistor R3, foi efetivado uma diminuição da resistência equivalente e conseqüentemente um aumento na corrente de carga, de 2,63A para 3,9A. Nessa condição, o *LED* vermelho acendeu, sinalizando uma sobrecarga superior a 20% e logo a proteção atuou e o *LED* amarelo começou a piscar, como era previsto.

A Figura 17 mostra o momento em que ocorre o aumento da corrente na carga e após aproximadamente 6 ciclos de onda, a alimentação na carga é interrompida através da abertura dos contatos dos relés. Para que fosse possível a visualização no osciloscópio, colocou-se a variável que controla o tempo de atuação da proteção contra sobrecargas em seu valor mínimo, de forma que a atuação pudesse ser a mais rápida possível, permitindo assim uma melhor visualização.

Figura 17 – Gráfico de atuação da proteção por sobrecargas



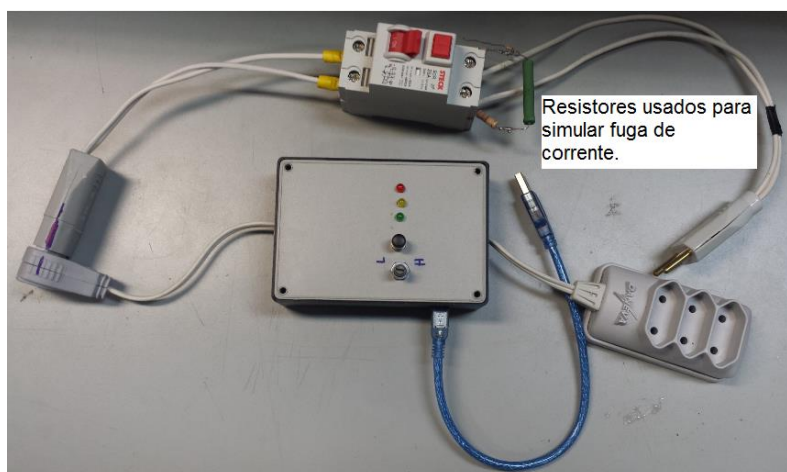
Fonte: Produção do próprio autor.

## 5.2 Atuação da proteção contra fuga de corrente

Para a realização do ensaio de atuação da proteção contra fuga de corrente optou-se por utilizar uma ponteira de medição de tensão de forma a obter o sinal proveniente do sensor toroidal de fugas de corrente.

Para a simulação de uma fuga de corrente, utilizou-se um cabo do tipo “banana-jacaré” onde um dos terminais foi inserido em um dos polos da tomada de saída do protótipo e o outro terminal ficou em aberto. Na entrada do disjuntor DR utilizado para a alimentação do protótipo foi inserido em um dos bornes, dois resistores, sendo um deles de  $3,3\text{K}\Omega$  e o outro de  $8,2\text{K}\Omega$ . Ao encostar o terminal do cabo aberto no terminal do resistor de  $8,2\text{K}\Omega$ , como mostrado na Figura 18, ocorreu uma corrente de fuga de  $11,04\text{mA}$  eficazes.

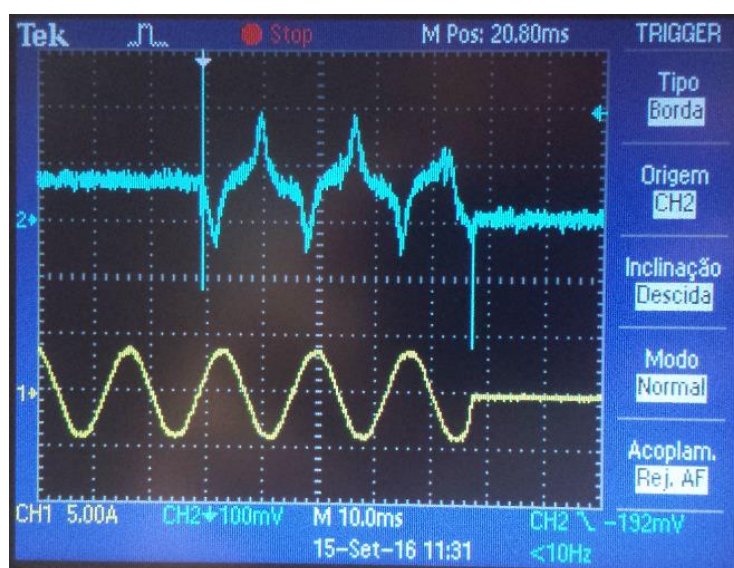
Figura 18 – Conjunto usado para simular a atuação por fuga de corrente.



Fonte: Produção do próprio autor.

A Figura 19 mostra que, uma vez provocada a fuga de corrente com valor eficaz de  $11,04\text{mA}$  o dispositivo atuou conforme esperado, interrompendo a alimentação da carga em aproximadamente  $50\text{ms}$ , garantindo assim a proteção do usuário contra choque elétricos.

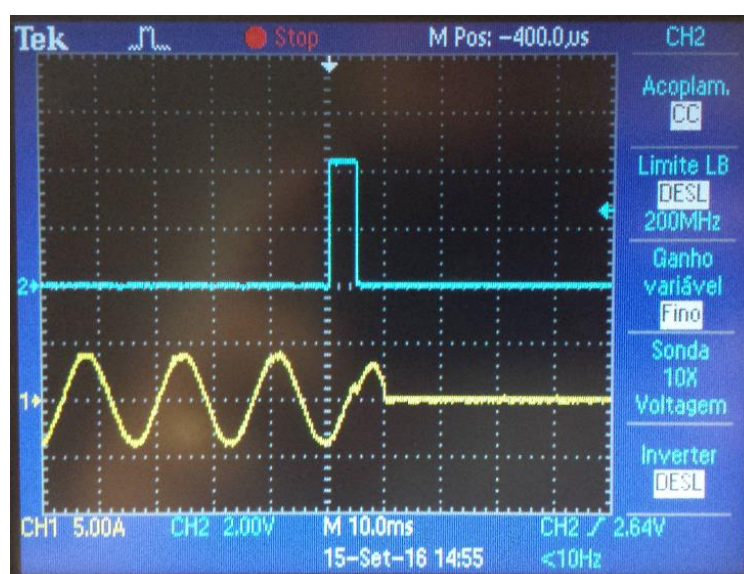
Figura 19 – Gráfico de atuação por fuga de corrente



Fonte: Produção do próprio autor.

A Figura 20 mostra a mesma função de proteção contra fuga de corrente porém, em vez de se medir o sinal de tensão na saída do sensor de fuga de corrente, fez-se uma programação na qual a porta digital nº 8 do microcontrolador Arduino Nano foi utilizada como uma saída digital. Tal saída apresenta nível lógico 0 (zero) até que haja uma fuga de corrente, situação na qual é gerado um pulso com 5ms de duração quando ocorre, via *software*, o comando de desenergização dos relés e conseqüentemente interrupção da alimentação na carga.

Figura 20 - Atuação da proteção contra fuga de corrente com pulso digital



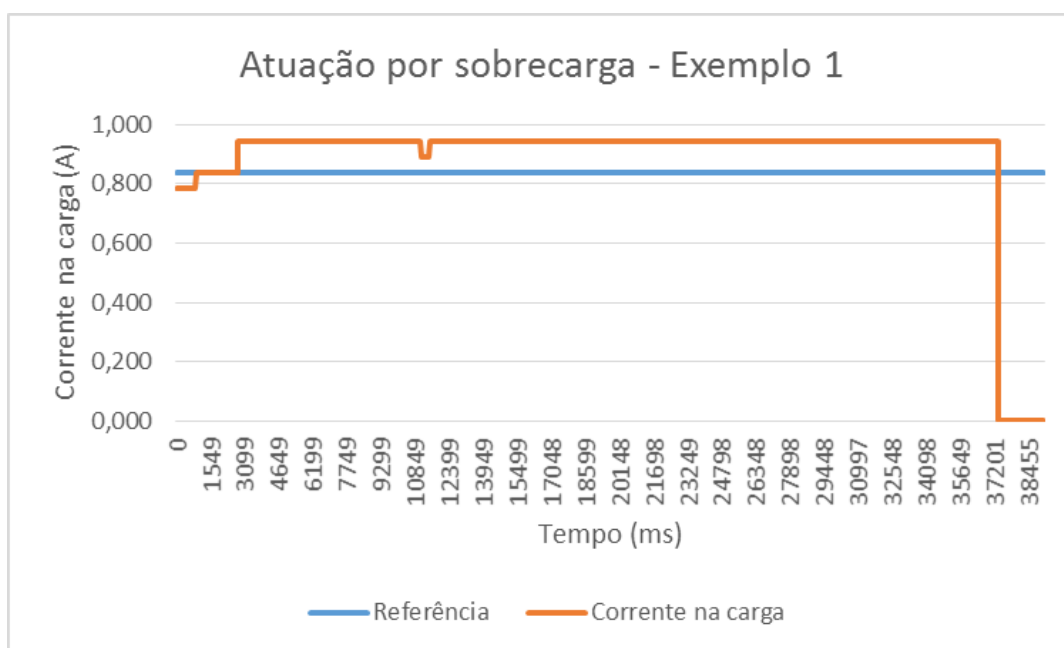
Fonte: Produção do próprio autor.

### 5.3 Aquisição de dados pela comunicação serial do Arduino

A interface de programação do Arduino, IDE, possui uma função de comunicação Serial. Com isso, foi possível simular, usando a aquisição de dados pela comunicação serial, a atuação do dispositivo para correntes de fuga e para sobrecargas. Isso foi realizado através da aquisição, tratamento e conversão dos dados usando o *Microsoft Excel*.

Para a primeira simulação de atuação por sobrecarga utilizou-se um ventilador tipo torre que possui 3 velocidades. Assim, foi possível provocar uma variação na corrente da carga e com isso, verificar a atuação da proteção contra sobrecargas. O Gráfico 5 mostra o resultado da atuação da proteção por sobrecarga que mostra atuação em 34,55s. Os valores do Gráfico 5 se referem a corrente de pico na carga, uma vez que esta é a corrente medida e processada pelo *software* implementado.

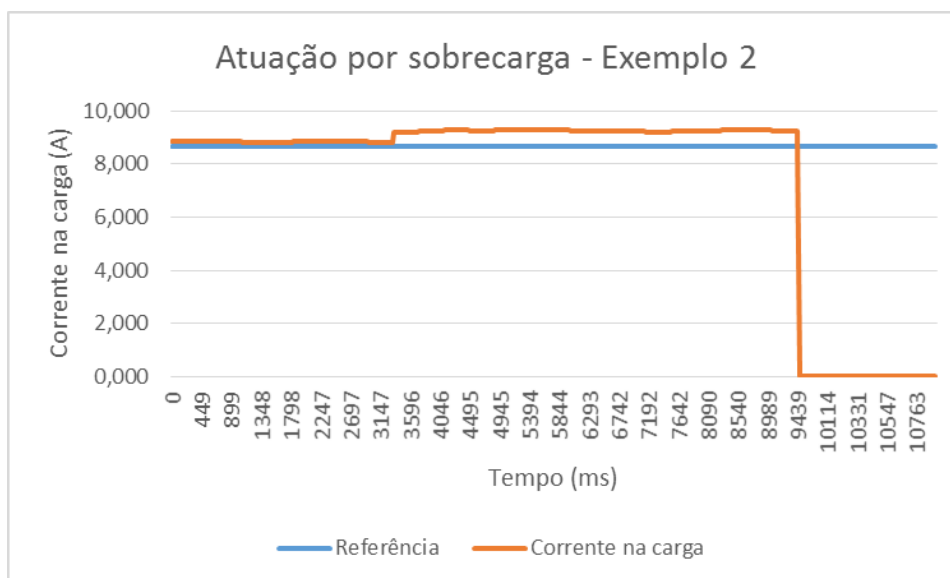
Gráfico 5 – Atuação por sobrecarga ao comutar a velocidade de ventilador



Fonte: Produção do próprio autor.

Para o segundo ensaio de proteção por sobrecargas utilizou-se um ferro elétrico ligado em uma das tomadas de saída do protótipo. Ao ligar o ventilador, conectado a outra tomada de saída, houve uma sobrecarga e com isso a proteção atuou em 6,08s.

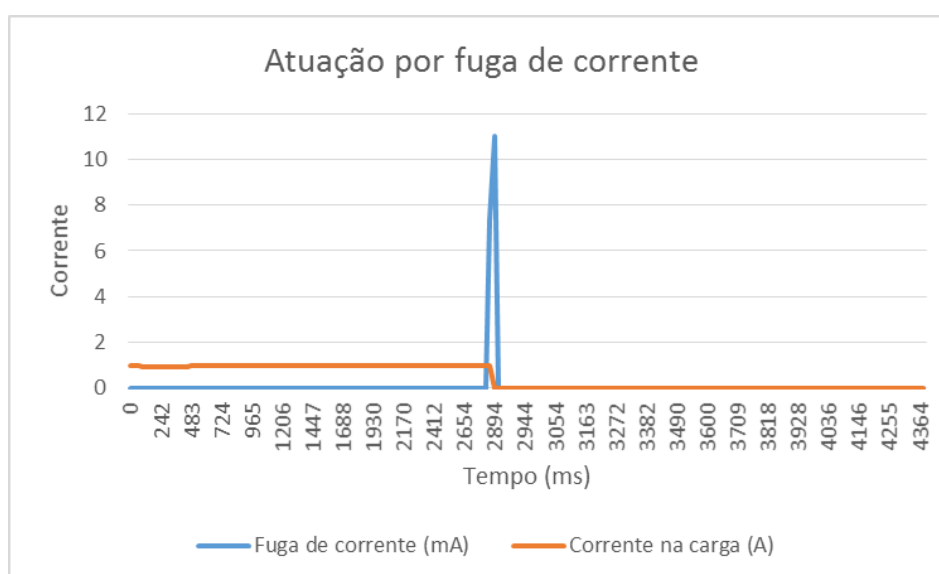
Gráfico 6 – Atuação por sobrecarga ao ligar ferro de passar roupas e ventilador.



Fonte: Produção do próprio autor.

Para o ensaio da atuação por proteção contra fuga de corrente, utilizou-se a mesma montagem do item 5.2, e os resultados são mostrados no Gráfico 7. Neste caso, ocorreu o desligamento da carga em 69ms. Esse tempo foi maior do que o obtido no item 5.2 já que o código de execução do Arduino, quando se habilita a função de aquisição de dados via comunicação serial, e a função que interrompe a impressão dos dados se dá após 100 leituras depois da ocorrência de alguma anomalia, fato que permite uma melhor visualização.

Gráfico 7 – Atuação por fuga de corrente



Fonte: Produção do próprio autor.





## 6 CONCLUSÕES

Essencial para o progresso e o desenvolvimento da humanidade, a energia elétrica possibilita inúmeros benefícios aos seus usuários, como conforto, acesso a informação, preparo de refeições, conservação de alimentos, transporte, sinalização, entre outros. Assim como toda forma de energia, a energia elétrica também apresenta seus perigos e cabe aos profissionais do setor garantir que os usuários possam usufruir da mesma com o máximo de conforto, praticidade e segurança.

Diante de um cenário onde, mesmo com a existência de normas, equipamentos e dispositivos de proteção, ainda ocorrem muitas mortes por choques elétricos dentro de residências, de pessoas de diversas faixas etárias e diversos graus de instrução, foi pensado e descrito neste trabalho uma nova forma de proteção que atua protegendo o usuário e os equipamentos conectados. Essa nova filosofia visa popularizar os conceitos de proteção contra choques elétricos e sobrecargas de forma que esse tema tenha a maior abrangência possível. O usuário terá a possibilidade de adquirir um produto que por ele mesmo possa ser instalado, tendo a vantagem de ser um produto portátil e que oferece uma forma inovadora de proteção contra choques elétricos, visando diminuir a exposição ao risco.

As simulações práticas em bancada do dispositivo projetado apresentaram resultados experimentais adequados, com a proteção de corrente de fuga atuando com um valor de 11mA. Cabe destacar que o valor de proteção da fuga de corrente pode ser facilmente reduzido via *software*, aumentando ainda mais a segurança dos usuários. Quanto à proteção contra sobrecarga os resultados práticos obtidos foram adequados e de acordo com os valores de referência ajustados no potenciômetro.

Como proposta de continuidade deste trabalho, é possível agregar outras funções ao dispositivo, com aproveitamento de interfaces analógicas e digitais que não foram utilizadas de forma a tornar o dispositivo ainda mais atrativo para o usuário. Assim, poderia se ter em um único equipamento, a proteção contrachoque elétricos, a proteção de eletrodomésticos contra sobrecargas, a inserção da proteção de aparelhos eletrônicos contra surtos e distúrbios de tensão e ao mesmo tempo agregar uma função de temporização de forma a obter um menor consumo de energia.



Sugere-se também estudos de otimização da montagem de forma a reduzir o tamanho e o peso do dispositivo, tornando o produto ainda mais atrativo. Neste trabalho utilizou-se um sensor toroidal obtido de um disjuntor DR, visto que estes são feitos com um material específico para detectar correntes de fuga muito pequenas e de baixa frequência. Uma outra proposição é a da medição da fuga de corrente utilizando sensores de efeito Hall modelo ACS-712, de forma que quando haja uma diferença entre o sinal de saída de cada um dos sensores o circuito processe essa informação e atue na comutação dos relés, interrompendo a alimentação na carga. Elimina-se assim a necessidade de se usar um sensor de fuga toroidal.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão - Março 2005.

ABRACOPEL: Estatísticas. Disponível em: <<http://abracopel.org/ESTATISTICAS/>>. Acesso em: 16 jun. 2016.

ATHOS Electronics: **Ligando lâmpada com Arduino**. Disponível em: <<http://athoselectronics.info/>>. Acesso em: 02 jun. 2016.

BARKOKEBAS JÚNIOR, Beda et al. **Estudo dos Riscos Elétricos: Análise dos Sistemas de Proteção de Acidentes com Terceiros na Região Metropolitana do Recife**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/biblioteca/citenel2007/pdf/ptr24.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2016.

CAVALIN, Geraldo; CERVELIN, Severino. **Instalações Elétricas Predias**. 14. ed. São Paulo: Érica, 2006. 413 p.

COTRIM, A. A. M. B. **Instalações Elétricas**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003.

CUNHA, Lívia. **Radiografia - DR: uma questão de proteção**. Disponível em: <<http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-revista/edicoes/142-radiografia-dr-uma-questao-de-protacao.html>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

FARIAS, Alice Gabriela Alves de Sales ; SENA, Lunardo Alves de. **PROTEÇÃO CONTRA CHOQUES ELÉTRICOS E EFEITOS TÉRMICOS**. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ocs/index.php/congic/ix/paper/viewFile/1022/296>>. Acesso em: 05 jun. 2016.

FEITOSA, Cristiane Maria de Oliveira . **A ELETRICIDADE E SEUS RISCOS: Uma Perspectiva Reflexiva para o Ensino de Física**. 2015. 43 f. Monografia (Programa de especialização em Ensino de Ciências e Matemática)- Universidade Federal de Minas Gerais, Sete Lagoas, 2015. Disponível em: <[http://labfww.cecimig.fae.ufmg.br/images/monografias/ENCI/2014/Cristiane%20Feitosa\\_Final%20UFMG.pdf](http://labfww.cecimig.fae.ufmg.br/images/monografias/ENCI/2014/Cristiane%20Feitosa_Final%20UFMG.pdf)>. Acesso em: 14 jun. 2016.

MAIA JÚNIOR, Carlos Alberto Freire ; SILVA , Noemi Souza Alves da. **MINIMIZAÇÃO DE RISCOS DE CHOQUE ELÉTRICO E DANOS A EQUIPAMENTOS POR MEIO DE ATERRAMENTO ADEQUADO**. 2004. 104 f. Monografia (Relatório de Estágio Supervisionado II)- Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2015. Disponível em: <<http://www.gsep.ene.unb.br/osem/leandro/PESQUISA/Projeto%20Final.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2016.

NISKIER, Julio; A J Macintyre. **Instalações elétricas**. 5ª edição. Rio de Janeiro, LTC: 2008.

SIEMENS. BRASIL. **Proteção contra choques elétricos e incêndios**. Disponível em: <<http://w3.siemens.com.br/buildingtechnologies/br/pt/produtos-baixa-tensao/protecao-eletrica/saiba-mais/Documents/Cat%C3%83%C2%A1logo%20Dispositivos%20DR%20.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2016.

## APÊNDICE A – CÓDIGO DO PROGRAMA EM LINGUAGEM ARDUINO

```

/* Projeto de Graduação. UFES: Universidade Federal do Espírito Santo
 * Curso: Engenharia Elétrica
 * Aluno: Jeferson Khoury Oliveira
 * Orientador: Prof. Dr. Jose Luiz Vieira de Freitas
 * Título: dispositivo portátil de proteção contra sobrecargas e fugas de
corrente.
 */
int ACSPin = A0; //Sinal sensor de corrente alternada (Alternating
Current Sensor.
int POTPin = A1; // Sinal que vem do potenciômetro, : Referência de
corrente para disparo por sobrecarga.
int FugaPin = A2; // Sinal do sensor de fuga de corrente.
int pushButton = 2; // Botão que tem por função fazer o reconhecimento de
falhas.
int reles = 4; // O sinal de acionamento dos relés é obtido na saída
digital 04.
int led_verde = 5; // Liga quando há uma carga conectada em condições
normais.
int led_amarelo = 6; // Liga quando há uma sobrecarga superior a 5% e
inferior a 20%
int led_vermelho = 7; // ligaquando há uma sobrecarga superior a 20%
int pulso = 8; // ligaquando há uma sobrecarga superior a 20%
int button_State; // variável usada para gravar o estado do botão de
reset.
int Rele_State; // variável usada para gravar o estado dos relés.
int Valor_Fuga; // Variável que armazena o valor instantâneo da fuga
de corrente
int referencia_0= 160; // relação entre o valor instantâneo da
corrente na carga e o valor de referência setado,
//sem ajuste de sensibilidade.
int referencia= 50; // relação entre o valor instantâneo da corrente na
carga e o valor de referência setado,
// já com o ajuste de sensibilidade.
int diferenca; // diferenca entre a corrente instantanea e o
setpoint
int fator_1; // fator de sobrecarga maior que 5%
int fator_2; // fator de sobrecarga maior que 20%
int fator_3; // fator de multiplicação proporcional à relação
entre diferenca e referencia.
int val_pico; // variável que armazena os valores de pico da saída
do sensor de corrente ACS-712.
int maximo = 0; // armazena a variável "val_pico" sem o offset de 2,5
V.
int cont = 0; // variável usada para fazer temporização de forma a
atuar o relé por sobre carga. Val máximo é 65.535
int cont_3 = 0; // variável usada pra interromper a impressão após 25
ciclos em caso de anomalia.
int soma_fuga; // valor da média da fuga de corrente em 150 leituras,
de forma a desprezar erros de interferência.
unsigned long timer_1; // variável usada para funções de temporização.
unsigned long timer_2 = 0; // variável usada para funções de temporização.
unsigned long timer_3;
unsigned long intervalo = 300; //intervalor On ou Off de piscagem dos Leds
amarelo ou vermelho em caso de anomalia.
int tipo=0; // variável de estado.

```

```

void setup() {
// Serial.begin(9600);           //inicia a comunicação serial com a
IDE.
  pinMode(reles, OUTPUT);       //define o pino digital 4 da placa
Arduíno como saída.
  pinMode(led_verde, OUTPUT);   //define o pino digital 5 da placa
Arduíno como saída.
  pinMode(led_amarelo, OUTPUT); //define o pino digital 6 da placa
Arduíno como saída.
  pinMode(led_vermelho, OUTPUT); //define o pino digital 7 da placa
Arduíno como saída.
  pinMode(pulso, OUTPUT);       //Variável usada para sinalizar quando
o relé de fuga atua
  pinMode(pushButton, INPUT_PULLUP); //define o pino digital 2 da placa
Arduíno como entrada
  digitalWrite (reles, LOW);    //Define o valor inicial dos relés
como "Ligado".
  digitalWrite (pulso, LOW);    //
}

void loop(){

  /* Verifica-se se os relés estão ligados. Caso positivo, inicia a rotina
de verificação
  * e monitoramento das variáveis "corrente na carga", "valor de
referência" e "corrente de fuga"
  */

  if (Rele_State == LOW){
    val_pico =0; // inicia o valor de pico como zero.
    soma_fuga =0; // inicia o valor máximo da corrente de fuga como zero.
    for (int i=0; i <= 150; i++){ // a cada "for" são feitas 150 leituras
      int corrente = analogRead (ACSPin);
      val_pico = max (val_pico , corrente); //armazena-se o valor máximo
lido na saída do sensor de corrente na carga
      Valor_Fuga = analogRead(FugaPin); // Faz a leitura do sinal de tensão
enviado pelo sensor de corrente de fuga.
      soma_fuga += Valor_Fuga; // soma os valores de corrente de fuga de
forma a tirar média posteriormente.
    }
    soma_fuga = soma_fuga/50;
    if (soma_fuga > 7 && referencia > 40){ // caso media_fuga seja maior
do que 5 e referencia maior do que 20, atua a proteção.
      digitalWrite (reles, HIGH);
      Rele_State = HIGH; // é enviado sinal de nível lógico alto para
os relés, eliminando a alimentação nos
// 2 polos da tomada
      digitalWrite (pulso, HIGH); //
      delay (5);
      digitalWrite (pulso, LOW); //
      tipo = 1; // a variável de estado "tipo" é colocada em 1 para
sinalizar que a proteção por fuga de corrente atuou.
    }
    else { //caso não tenha ocorrido fuga de corrente no ciclo anterior, o
código continua a executar.
      maximo = val_pico - 512; // elimina-se o valor correspondente à tensão
offset dc da leitura do valor de pico.
      referencia_0 = analogRead (POTPin)/6; //faz-se a leitura da saída do
divisor de tensão obtido

```

```

// com o uso do potenciômetro
de forma a ler o valor de referência.
// Divide-se por 6 como forma
de ajuste de escala em relação aos valores
// de pico lidos na saída do
sensor de corrente na carga e ao mesmo
// tempo como forma de reduzir
oscilações na leitura.
// Abaixo será feito um ajuste de sensibilidade de forma que, para
cargas de baixa potência o usuário consiga ter um
// ajuste fino no potenciômetro e para cargas de alta potência o
ajuste com intervalos maiores.
// O sinal proveniente da saída do potenciômetro, após a divisão por
6, passa a variar entre 0 e 169.
// Será usada a função "map ()" de forma a interpolar os valores em
diferentes faixas de ajuste, de forma que o valor
// realmente lido pela placa seja diferente do valor enviado pelo
sensor mas mesmo assim cobrindo toda a faixa de leitura.
if (referencia_0 < 100){
  referencia = map (referencia_0, 0, 100, 0, 20);
}
else {
  referencia = map (referencia_0, 101, 169, 21, 169);
}
diferenca = maximo - referencia; // calcula a diferença entre o valor
real e o valor setado.
fator_1 = 5*referencia; // é definido o fator 1 como 5%
de sobrecarga
fator_2 = 20*referencia; //é definido o fator 1 como 20%
de sobrecarga
fator_3 = 10*maximo / referencia - 10; // fator de multiplicação
para a redução do tempo de atuação para sobrecargas maiores.

}

if (maximo <7){ // Se não há carga ligada os 3 leds ficam apagados
digitalWrite (led_verde, LOW);
digitalWrite (led_amarelo, LOW);
digitalWrite (led_vermelho, LOW);
}

else if (100*diferenca > fator_2){ //se ocorrer uma sobrecarga maior que
20% liga o led vermelho
digitalWrite (led_verde, LOW);
digitalWrite (led_amarelo, LOW);
digitalWrite (led_vermelho, HIGH);
cont = cont + fator_3*diferenca; // incrementa rapidament um contador
usado para disparo por sobrecarga

}
else if (100*diferenca > fator_1){ //se ocorrer uma sobrecarga entre 5
e 20%
digitalWrite (led_verde, LOW);
digitalWrite (led_amarelo, HIGH);
digitalWrite (led_vermelho, LOW);
cont = cont + diferenca; // incrementa o contador de forma
proporcional à sobrecarga.
}
else { // Se a sobrecarga é menor que 5% o led verde fica aceso.
digitalWrite (led_verde, HIGH);

```

```

    digitalWrite (led_amarelo, LOW);
    digitalWrite (led_vermelho, LOW);
    if (cont>0){ // enquanto o contador for maior que 0 vai decrementando
        // caso não haja sobrecarga (diferença negativa) ou
        // incrementa lentamente para sobrecargas entre 0 e 5%.
        cont = cont + diferenca;
    }
}

    if (cont > 6000){ /* se o contador atingir o valor estipulado, os relés
serão desligados, cortando a alimentação na carga e só serão ligados
novamente caso seja pressionado o botão de reconhecimento de falhas.O valor
está diretamente relacionado ao tempo de atuação da proteção.*/
    digitalWrite (reles, HIGH);
    Rele_State = HIGH;
    cont = 0; // o contador é zerado.
    diferenca = 0;
    tipo = 2; // variável de estado é alterada para 2, sinalizando que
    houve falha por sobrecarga.
}

}

/* É verificado se o botão de reconhecimento de falhas foi pressionado.
Caso positivo,
* a variável de estado é colocada em "zero" e o funcionamento dos relés é
reabilitado.
* após a ocorrência de alguma anomalia
*/
button_State = digitalRead (pushButton);
if (button_State == LOW){
    tipo = 0;
    digitalWrite (reles, LOW); // os relés são ligados
    Rele_State = LOW;
}

/* A função switch é usada para verificar o estado de funcionamento (normal
ou em falha) e com
* com isso sinalizar através dos LEDs. Caso tenha ocorrido falha por fuga
de corrente o LED vermelho
* irá piscar e caso tenha ocorrido falha por sobrecarga o LED amarelo irá
piscar.
*/

switch (tipo){
    case 0:
        cont_3 = 0;
        break;
    case 1:
        timer_1 = millis ();
        if (timer_1 - timer_2 > intervalo){
            timer_2 = timer_1;
            digitalWrite (led_vermelho, !digitalRead(led_vermelho));
            digitalWrite (led_verde, LOW);
            digitalWrite (led_amarelo, LOW);
        }
        break;
    case 2:
        timer_1 = millis ();
        if (timer_1 - timer_2 > intervalo){

```

```
    timer_2 = timer_1;
    digitalWrite (led_amarelo, !digitalRead(led_amarelo));
    digitalWrite (led_verde, LOW);
    digitalWrite (led_vermelho, LOW);

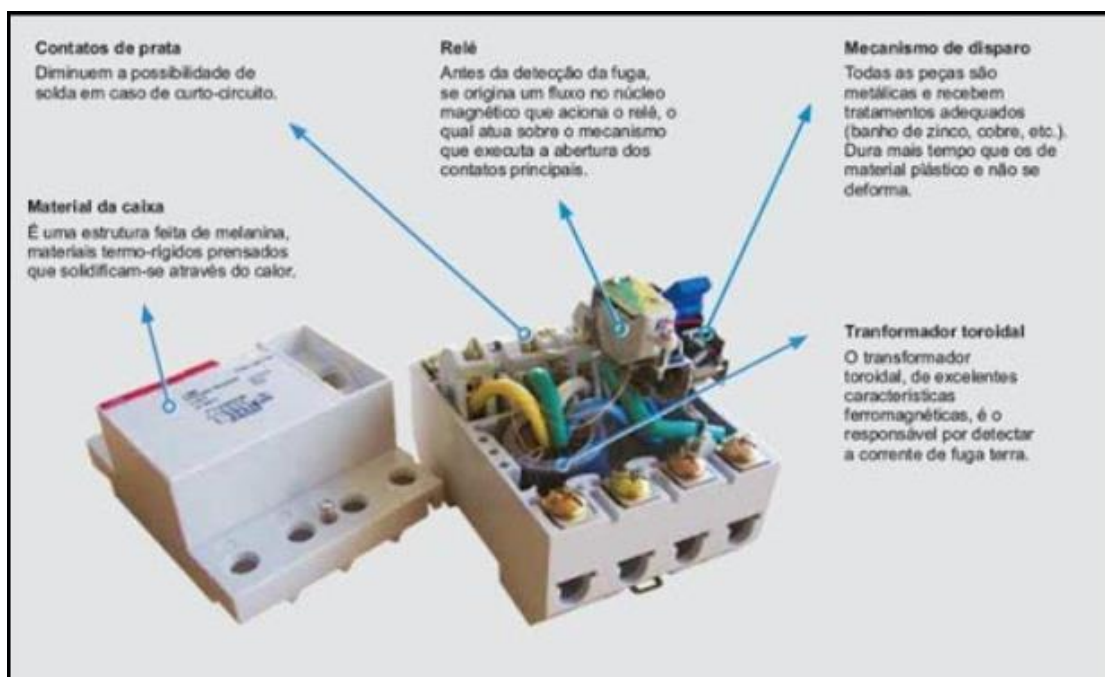
    }
    break;
    }
// caso se queira habilitar a obtenção de dados através da comunicação
serial basta
// remover o comentário do trecho de código abaixo.

/*
if (cont_3 < 100){
  if (tipo != 0) {
    cont_3 = cont_3 +1;
  }

  Serial.print (referencia);
  Serial.print (",");
  Serial.print (maximo);
  Serial.print (",");
  Serial.print (soma_fuga);
  Serial.print (",");
  Serial.println (millis());
} */
}
```



## ANEXO A – COMPONENTES INTERNOS DO DISPOSITIVO DR



Fonte: Steck